

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENE CIVIL

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE

FILIERE : GENE CIVIL

OPTION : MATERIAUX EN GENIE CIVIL

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique
Par : Beddar Abd Elhamid
Nadji Abd Errahmane

Intitulé

Effet des caractéristiques des granulats
fins sur propriétés du mortier
Auto-plaçant

Encadreur : Dr MAZA Mekki

Co-Encadreur : Dr ZITOUNI Salim

Année Universitaire : 2019/2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

REMERCIEMENT

*Nous tenons à remercier tous d'abord (ALLAH) , qui nous a donné la force
de faire ce modeste travail.*

*Aussi nous tenons à exprimer notre gratitude et profonde reconnaissance à tous
ceux et toutes celles qui nous ont donnés le coup de main à la réalisation de ce
mémoire et on particulier :*

*Notre encadreur : DR. MAZA MEKKI Et DR. Zitouni SALIM pour leur
direction.*

*Tous les enseignants de l'université de Msila, spécialement ceux du département d
Génie Civil, pour les efforts qui nous ont donnés durant notre formation et
spécialement : Toutes les personnes qui nous ont aidés Sans oublier nos collègues ;
les étudiants de 2^{ème} années MASTER Matériaux en Génie civil.*



DEDICACE

Je dédie ce modeste travail à :

Mes chers parents qui m'ont donnés leurs encouragements

, conseils et renforcements.

À nos familles

À nos amis À chaque professeur qui nous a appris les lettres

À tous ceux qui nous connaissent

Et ne nous épargnent pas leurs sourires

À tous sans exception

Avec beaucoup d'amour



Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction général 1

CHAPITRE I : Etude Bibliographique

I.1. Introduction sur le béton	2
I.2.Introduction sur les bétons autoplaçants :.....	3
I.3. Définition des bétons autoplaçants	4
I.4. Avantages des BAP.....	4
I.5. Domaines d'emploi	4
I.6. Les propriétés principales d'un BAP	6
I.6.1. A l'état frais:.....	6
I.6.2. L'état durci	7
I.7. Définition de mortier.....	8
I.7.1. Le rôle d'utilisation de mortier.....	9
I.7.2. Constituant des mortiers	9
I.7.2.1. Le ciment	9
I.7.2.1.2. Les Constituants du ciment	10
I.7.2.2. Le sable	11
I.7.2.3. L'eau de gâchage	12
I.7.2.4. Les additifs	12
I.7.3. Différents types des mortiers	13
I.7.4. Propriétés des mortiers	14
I.8. Définition MAP	15
I.8.1.Structure De MAP	16
I.8.2. Méthodes De Formulation	17
I.8.3. Fluidité Et Déformabilité De MAP	18
I.8.4. Essais Au Cône De Marsh (Essai De Taux De Saturation).....	18
I.8.5. Étalement au Mini cône de pâte	19
I.8.6. Essais De L'étalement Au Mini Cône De Mortier.....	20
I.8.7 Essais De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel).....	20
I.9. Conclusion.....	22

CHAPITRE II : Valorisations des Déchets et Essais sur MAP

PARTIE I : Valorisation des déchets

II.1. Introduction	24
II.2. Les déchets	24
II.2.1. Origine de la production des déchets	24
II.2.2. Classification des déchets	25
II.2.3. Les principaux objectifs d'utilisation des déchets.....	26
II.2.4. Recyclage des déchets.....	26
II.2.5. Les trois grands principes du recyclage	26
II.2.6. Types de recyclage	27
II.2.7. La chaine du recyclage	27
II.3. Les déchets de verre	28
II.3.1. Définitions.....	28
II.3.2. Composition du verre	28
II.3.3. Le recyclage du verre.....	28
II.4. La poudre du marbre.....	29
II.4.1. Définition.....	29
II.4.2. Le recyclage des déchets du marbre.....	29
II.4.3. Utilisation des déchets de marbre dans le bâtiment.....	30
II.4.4. Les avantages de la poudre de marbre.....	30
II.5. Conclusion.....	30

PARTIE 2 : Essai Sur Les Mortiers Auto-Plaçant

II.1. Introduction	31
--------------------------	----

Etude N° 1 : Effet De La Nature Du Sable Et De La Température De Mûrissement Sur Les Propriétés D'un Mortier Auto Plaçant :

II.2. Objectif	31
II.3. Programme expérimental	31
II.3.1. Caractéristiques des matériaux	31
A/ Ciment et filler calcaire	31
B/ Sables.....	32
C/ Adjuvant	33
II.3.2. Compositions préparées.....	33
II.3.3. Méthode d'essai	34

Etude N° 2 : Effet Des Différents Sables Proches De La Région De Mascara Dans La Fabrication Des Mortiers Auto plaçant

II.4. L'objectif.....	35
II.5. Programme expérimental.....	35

II.5.1. Les matériaux utilisés	35
A/ Ciment	35
B/ Sable	36
C/ Adjuvant	39
II.6. Formulation Des Mortiers Auto-plaçant	39
II.7. Conclusion	39

CHAPITRE III : Résultats D'essai

III.1. Introduction	42
---------------------------	----

Etude N° 1 :

III.2. Résultats expérimentaux et analyse	42
III.2.1. Propriétés des mortiers à l'état frais	42
III.2.2. Propriétés des mortiers à l'état durci	43
III.2.2.1. Cas de la conservation sous l'eau	43
A / Variation de la résistance à la compression Rc.....	43
B/ Variation de la résistance à la traction Rt	44
III.2.2.2. Cas de conservation sous l'eau après un traitement thermique à 50°C.....	45
A/ Variation de la résistance à la compression Rc	45
B/Variation de la résistance à la traction Rt	46
III.3. Conclusion	47

Etude N° 2:

III.4. Résultats expérimentaux et analyse	48
III.4.1. Propriétés des mortiers à l'état frais	48
III.4.2. Essai des résistances mécaniques	49
III.5. Analyse et interprétation des résultats	49
III.5.1. La résistance à la compression selon la norme EN 196-1	49
III.5.2. La résistance à la flexion selon la norme EN 196-1	50
III.5.3. Mesure des vitesses ultrasoniques	51
III.5.4. Essai d'absorption	52
III.5.5. Etude de la conductivité thermique	53
III.6 . Conclusion	55

CHAPITRE IV : Conclusion

Conclusion	57
Référence Bibliographique.....	59
Annexe.....	64

Liste Des Tableaux

N° du tableau	Intitulé	N° de Page
Tableau II.1	Propriétés physique du ciment et filler	32
Tableau II.2	Propriétés physiques des Sables	32
Tableau II.3	Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant MEDAFLOW30	33
Tableau II.4	Proportion des sables dans chaque composition (%)	33
Tableau II.5	Compositions des mortiers étudiés	33
Tableau II.6	Caractéristiques physiques du ciment utilisé	36
Tableau II.7	Caractéristiques mécaniques du mortier normal du ciment	36
Tableau II.8	Composition chimique en % du ciment utilisé	36
Tableau II.9	Caractéristiques physiques des sables étudiés	36
Tableau II.10	La composition minéralogique en % des différents sables étudiés	37
Tableau II.11	Les indices granulométriques des différents sables examinés.	37
Tableau II.12	Caractéristiques physico-chimiques du Sika Viscocrete TEMPO 12	39
Tableau II.13	Formulations des différents mortiers après ajustement de la maniabilité	39

Liste Des Figures

N° de la Figure	Intitulé	N° de Page
Chapitre I		
Figure I.1	Constituants du béton	3
Figure I.2	Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP	4
Figure I.3	Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP	6
Figure I.4	Essai d'étalement	7
Figure I.5	Essais d'écoulement à la boîte L-box ou boîte en L	8
Figure I.6	Constituants des mortiers	9
Figure I.7	Microphotographie d'un clinker	11
Figure I.8	Étalement au Mini cône de mortier auto placent	18
Figure I.9	Essais au Cône de Marsh (Essai de taux de saturation)	19
Figure I.10	Essai de l'étalement au Mini cône de pâte	20
Figure I.11	Dimensions de Mini cône à mortier	20
Figure I.12	Essai de l'entonnoir en V	21
Figure I.13	Déroulement de l'essai d'entonnoir en mini v (v funnel)	21
Chapitre II		
Figure II.1	Processus de transformation de déchets de verre	29
Figure II.2	Courbes granulométriques des sables	32
Figure II.3	Les éprouvettes dans l'étuve avant le traitement	34
Figure II.4	Image frontale de l'étuve utilisée	34
Figure II.5	Cycle de traitement adopté	35
Figure II.6	Courbes granulométriques des 6 sables étudiés	37
Figure II.7	Masses volumiques des sables utilisés	38
Figure II.8	Equivalent de sable des différents sables utilisés	38
Chapitre III		
Figure III.1	Variation de l'étalement au mini cône des mortiers MAP	42
Figure III.2	Variation de l'écoulement (la viscosité) au mini-entonnoir V des Mortiers MAP en fonction des compositions	43
Figure III.3	Variation de la résistance à la compression Rc des MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau	44

Figure III.4	Variation de la résistance à la traction R_t des mortiers MAP en fonction des compositions - cas de conservation sous l'eau	45
Figure III.5	Variation de la résistance à la compression R_c des MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau après un traitement à 50°C	46
Figure III.6	Variation de la résistance à la traction R_t des mortiers MAP en fonction des compositions - cas de conservation sous l'eau après traitement à 50°C	47
Figure III.7	Les valeurs de temps d'écoulement au V-Funnel	48
Figure III.8	Etalement du mortier auto plaçant à base de sable de mer	49
Figure III.9	Résistance à la compression des mortiers autoplaçants en fonction du temps de conservation	50
Figure III.10	Résistance à la flexion des mortiers autoplaçants en fonction du temps de conservation	51
Figure III.11	Mesure de la vitesse ultra-sonique	52
Figure III.12	Mesures de la vitesse des ondes longitudinales des mortiers à 56 jours	52
Figure III.13	Influence du type de sable sur l'absorption capillaire des différents mortiers étudiés	53
Figure III.14	Conductivimètre	54
Figure III.15	Evolution de la conductivité thermique des différents mortiers étudiés	54

Résumé

L'utilisation des matériaux de construction pour mortiers et bétons, tels que : les ciments, les sables, les fillers, et autres doivent respecter trois axes principaux à savoir l'aspect économique, l'aspect environnemental et l'aspect technologique afin d'obtenir un produit innovant.

Cette étude expérimentale est une contribution à l'amélioration du comportement rhéologique et mécanique d'un mortier auto-plaçant utilisé généralement dans les travaux de finition des plateformes, d'hangars industriels et la pose de carreaux de dalle de sol et de carrelage.

Dans cette mémoire, nous étudions l'effet du poudre de marbre sur le mortier auto nivelant a base de sable mixte (sable de verre et sable djamaa) ,pour améliorer et de trouver les meilleures propriétés rhéologiques : l'étalement (fluidité), la capacité de remplissage (déformabilité), Elles doivent aussi posséder des meilleures performances mécaniques.

Et aussi nous avons étudié en détail deux articles ayant traité l'influence d'un mélange de sables sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques d'un mortier auto-plaçant ou auto-nivelant.

Abstract

The use of construction materials for mortars and concretes, such as: cements, sands, fillers, and others must respect three main axes namely the economic aspect, the environmental aspect and the technological aspect in order to get an innovative product.

This experimental study is a contribution to the improvement of the rheological and mechanical behavior of a self-compacting mortar generally used in the finishing work of platforms, industrial sheds and the laying of floor slab and tiling tiles.

In this thesis, we study the effect of marble powder on self-leveling mortar made from mixed sand (glass sand and djamaa sand), to improve and find the best rheological properties: spreading (fluidity), filling capacity (deformability), they must also have better mechanical performance.

And also we studied in detail two articles which dealt with the influence of a mixture of sands on the mechanical and rheological characteristics of a self-leveling or self-leveling mortar.



Introduction Général

Introduction Général

Le mortier autoplaçant MAP se caractérise par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage tout en étant stables et garantissant aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité.

Le présent travail est divisé en deux parties , une partie expérimentale se basant sur l'étude expérimentale des différents caractéristiques des matériaux utilisées dans notre travail de recherche, principalement le sable de djamaa, le sable de verre, la poudre de marbre, le ciment CMII.CPJ et l'adjuvant MEDAPLAST 40.

La seconde partie est basée sur une recherche bibliographique concernant notre axe de recherche, nous avons étudié en détail deux articles ayant traité l'influence d'un mélange de sables sur les caractéristiques mécaniques et rhéologiques d'un mortier auto-plaçant ou auto-nivelant.

Connaissions l'importance des mortiers auto-nivelant dans la réalisation des chapes sans défauts facilitant ainsi la pose de dalle de sol, ou la pose des surfaces en EPOXI dans les meilleures conditions.

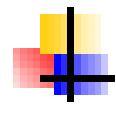
Objectif de l'étude :

L'objectif de ce travail est de formuler un mélange de mortier MAP a base des matériaux naturels ou recyclés comme (sable de djamaa , sable de verre et poudre de marbre) , et étudier les comportements rhéologiques vis-à-vis de l'étalement (la fluidité) du MAP par utilisation d'un adjuvant super plastifiant , et un mélange de sable permettant d'avoir un mortier auto-nivelant sans problème de ressuage ou de ségrégation , en plus de l'étude des caractéristiques mécanique de MAP pour avoir un mortier résistant, performant et durable .

Organisation du mémoire

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

- **Le premier chapitre** : Etude bibliographique consiste à généralité sur BAP et MAP
- **Le deuxième chapitre** : Valorisation des déchets (Déchets de verre et Déchets de marbre) et Essais sur MAP (obtenue à partir une étude d'autre chercheur)
- **Le troisième chapitre** : Résultats d'essai
- **Le quatrième chapitre** : Conclusion, Où il contient une comparaison entre les 2 résultats de chercheur.



Chapitre I :

Etude Bibliographique

I.1. Introduction sur le béton :

Le béton est une suspension concentrée de particules solides (sable, gravillon) dans un liquide visqueux (grains de ciment + eau). Il peut contenir aussi des adjuvants, des additions minérales et éventuellement des fibres. Une fois les éléments mélangés et homogénéisés, on obtient un mélange dont la consistance peut varier, en fonction des besoins, de l'état ferme à l'état fluide. Après quelques heures, ce mélange durcit par des réactions chimiques des composés du ciment avec l'eau (hydratation). **[BENAICHA Mouhcine]**.

Les constituants d'un béton sont généralement disposés de telle sorte qu'une ou plusieurs phases discontinues (granulats) sont incorporées dans une phase continue (pâte de ciment). La phase discontinue est appelée le renfort et la phase continue est la matrice. Les fibres sont ajoutées pour améliorer les propriétés et le comportement du béton. **[BENAICHA Mouhcine]**.

En outre, les nouveaux bétons contiennent beaucoup d'additifs et adjuvants pour améliorer la maniabilité et la résistance. Le volume apparent du béton est occupé par les agrégats (qui occupent environ 75% du volume total), dont les particules solides peuvent varier en taille de 0,1 μm à 30 mm; le diamètre des fibres est généralement compris entre 1 μm à 3 mm avec des longueurs d'environ 1 mm jusqu'à 500 mm. La structure nanométrique et micrométrique de la pâte de ciment durcie dépend fortement du rapport eau/ciment, la composition des grains, la température d'hydratation, la présence d'adjuvants chimiques au moment de l'hydratation et le degré d'hydratation.

De ce fait, le béton est plein de défauts, tels que les pores, les vides d'air et les microfissures provoquées par le retrait et les déformations thermiques. Les paramètres principaux qui influent sur les propriétés du béton durci sont : **[BENAICHA Mouhcine]**

- les propriétés de la pâte de ciment hydraté (la matrice), par exemple porosité et microfissures
- les propriétés des agrégats;
- l'interface entre la pâte de ciment hydraté et les granulats.

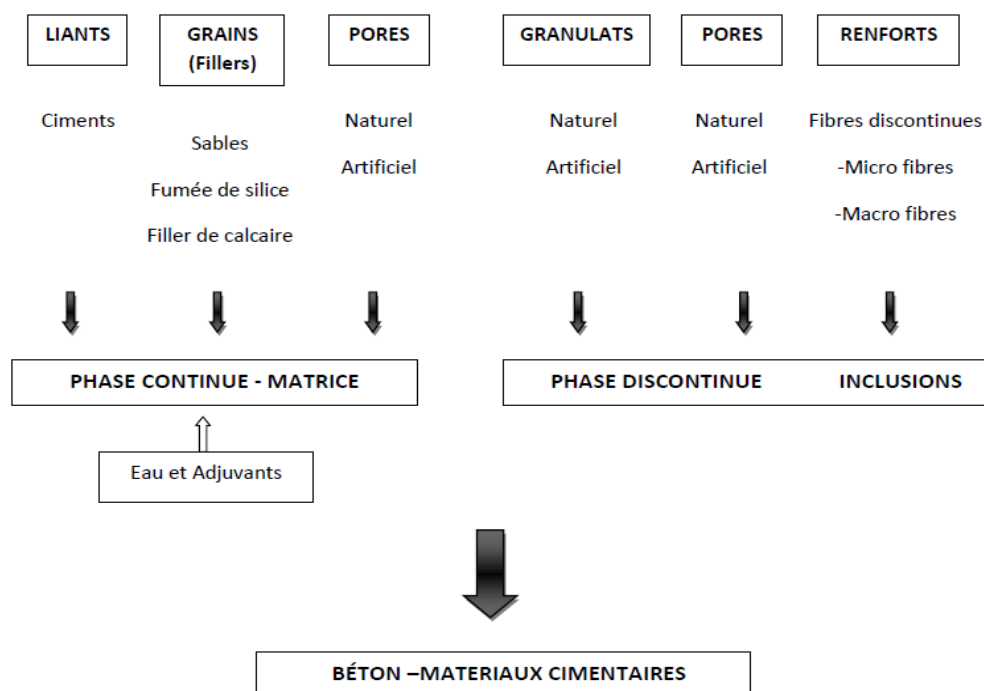


Figure I.1 : Constituants du béton **[Brandt, A.M.]**.

I.2.Introduction sur les bétons autoplaçants :

Les bétons autoplaçants (BAP) ont été découverts pour la première fois par les chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en oeuvre.

Les premières études effectuées sur les BAP sont basées sur les méthodes de la formulation qui répondent à des exigences de fluidité.

Les bétons autoplaçants offrent un grand nombre de possibilités d'utilisations très intéressantes dans de nombreux domaines ; construction, renforcement et réparation d'ouvrage d'art (application de couches minces dans des endroits d'accès difficiles, construction d'éléments préfabriqués à haute résistance, moulage et mise au point de béton pour toute utilisation (bétons coulés sous l'eau pour réparations, bétons confinés pieux etc. Les bétons autoplaçants (BAP) sont reconnus pour leur très grande déformabilité et leur facilité de mise en oeuvre sous l'effet de leur poids propre, sans nécessité de vibration, même en présence de ferraillages très denses. Il peut être intéressant de rappeler que les bétons, de manière générale, sont des fluides à seuil : ils ne s'écoulent que si la contrainte qui leur est appliquée est supérieure à leur seuil d'écoulement. Dans ce cadre, selon Wallevik (2003), un BAP correspond à un béton dont le seuil d'écoulement est inférieur à 200 Pa. D'un point de vue essai empirique, ceci correspond à un étalement de 600 mm. **[HAIFI Mohamed Redha]**

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent donc des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons à vibrer, par leurs propriétés à l'état frais **[AFGC2008],[SEDRAN T, DE LARRARD F]**. Ils sont capables de s'écouler sous leur propre poids, quel que soit le confinement du milieu, et restent homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique). Pour acquérir ces propriétés, les BAP sont formulés différemment des BO. Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau et d'une addition, est privilégiée au détriment des gravillons (figure I.1). En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition qui sert de substitut aux gravillons. Les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.

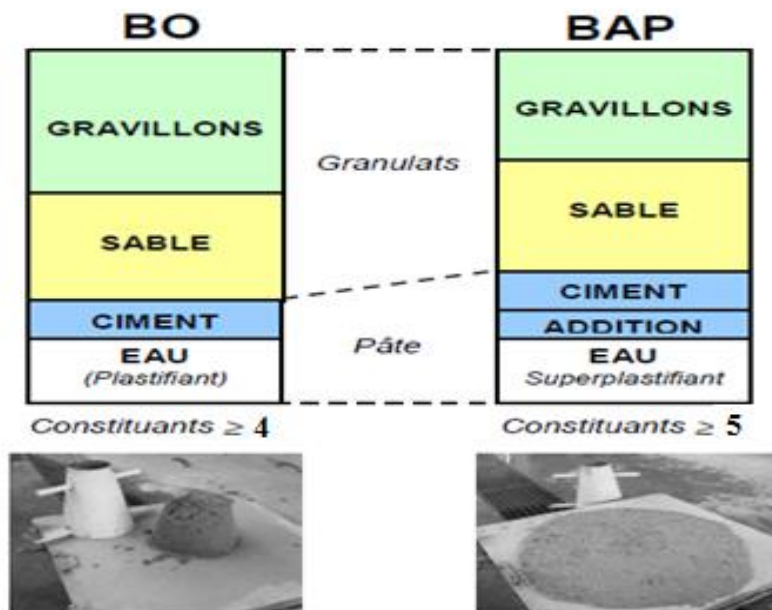


Figure I.2 : Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP **[TURCRY PH]**.

I.3. Définition des bétons autoplaçants :

Les bétons autoplaçants BAP ou en anglais (SCC) self- compacting concrete sont des bétons très fluides, homogènes et stables, mis en place sans vibration. Les BAP ont été développés par le professeur Okamura à la fin des années 1980.

Les bétons autoplaçants se distinguent des bétons ordinaires ou bétons vibrés par leurs propriétés à l'état frais ; qui sont résultants d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à Prior contradictoires : fluidité et une bonne résistance à la ségrégation. [AFGC2008]

I.4. Avantages des BAP :

Les BAP peuvent être considérés comme des matériaux de construction innovants qui offrent beaucoup d'avantages par rapport aux autres bétons, parmi ces avantages on peut citer [OKAMURA H. AND OUCHI M]:

- Très fluides (Classe de consistance S5 au sens de la norme NF EN 206-1)
- Mise en œuvre sans vibration qui réduit les nuisances sonores
- Réduction du coût de la main d'œuvre
- Durée de construction plus courte
- Une diminution de risque de fissuration
- Bétonnage de zones fortement ferraillées et à géométrie complexe
- Une pénibilité réduite pour les maçons
- Coulage de murs verticaux de grande hauteur
- Des aspects de surface d'une bonne régularité

Malgré tous ces avantages, les BAP présentent aussi certains inconvénients :

- Augmentation du coût des matières premières (additions, adjuvants)
- Modifications des outils de fabrication (outils de mise en place)

I.5. Domaines d'emploi :

Les caractéristiques des BAP laissent entrevoir de nombreuses possibilités techniques du fait de leur grande fluidité :

- Possibilité de coulage de zones fortement ferraillées ;
- Possibilité de coulage de zones d'architecture complexe et difficilement accessibles ;
- Obtention de très bonnes qualités de parement.

L'un des avantages majeurs du BAP est de permettre la réalisation de parements de haute qualité. Leur composition, riche en éléments fins, permet d'obtenir une texture de surface plus fine et plus fidèle à la peau coffrant utilisée. Les aspects satinés, lisses ou très structurés recherchés par les architectes sont alors plus facilement réalisables. Des teintes homogènes et régulières peuvent être obtenues si les conditions de mise en œuvre évoquées précédemment sont respectées, notamment du point de vue de la propreté des coffrages.

L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de forme complexe.

Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiment, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc. Walraven[WALRAVEN]précise cependant, que les BAP sont souvent adoptés dans le domaine de la préfabrication grâce aux avantages et aux gains directs qu'ils présentent. Globalement, leur utilisation permet de réduire les coûts de production et, parallèlement, d'améliorer les conditions de travail et la qualité des produits finis. Leur utilisation est plus délicate sur site car les BAP sont particulièrement sensibles aux variations de teneur en eau. Or, bien que la production soit contrôlée, les lots de matériaux peuvent avoir des caractéristiques légèrement différentes.

En effet, la formulation des BAP est particulière : utilisation d'adjuvants et d'additions minérales. Leur sensibilité en ce qui concerne le dosage et la teneur en eau, la qualité et la régularité des composants ainsi que les conditions de malaxage, nécessite donc la mise en place d'un suivi plus important. Nous verrons que les différentes précautions à prendre sur chantier et que la composition même du matériau peuvent entraîner un surcoût.

Par ailleurs, Walraven[WALRAVEN]rappelle à juste titre que la réglementation n'est pas encore adaptée au cas des BAP. En effet, la norme NF EN 206 ne définit que cinq classes de consistance (ferme → fluide). Actuellement, tous les BAP sont donc regroupés dans la classe 5 (fluide).

L'expérience acquise aux Pays-Bas a permis d'étendre la classification en fonction des différences existant entre les BAP et de déterminer différents domaines d'emploi, selon leurs propriétés, comme le montre la figure (fig.I.3).

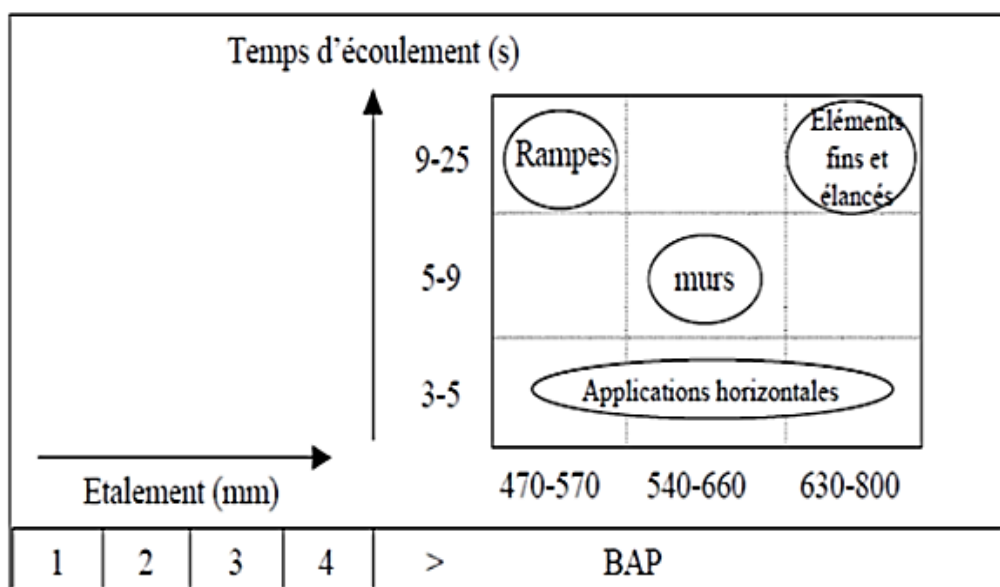


Figure I.3 : Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP [WALRAVEN].

I.6. Les propriétés principales d'un BAP :

I.6.1. A l'état frais :

Les propriétés générales d'un béton autoplaçant frais sont la fluidité et l'homogénéité. Ces propriétés sont étudiées sur plusieurs aspects, et peuvent se diviser en trois critères mesurables par des tests empiriques : le remplissage, la résistance à la ségrégation, et la capacité à passer à travers les obstacles que nous appellerons capacité de passage. [Sandrine Bethmont]

I.6.1.1. Essais de caractérisation rhéologiques des BAP :

Plusieurs essais ont été développés pour déterminer les propriétés rhéologiques tant au point de vue de la fluidité que de la ségrégation (essai à la boîte en L, au tube en U et au cône en V, essai d'étalement, divers rhéomètres, essai d'enfoncement de billes, etc.). Certains essais permettent de qualifier soit la fluidité du béton, soit son comportement rhéologique. Pour évaluer la résistance à la ségrégation statique, on est actuellement contraint de faire des mesures sur béton en cours de durcissement ou durci (sciage et comptage de granulats, ultrasons, etc...) [Sandrine Bethmont]

I.6.1.2. Essai d'étalement :

L'essai le plus courant, car le plus facile à mettre en œuvre, permettant de cet essai est de mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône [AFGC juillet 2000]. Le diamètre de la galette de béton est le paramètre caractérisant de fluidité, plus il est grand, plus le béton est fluide. L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50 cm et 80 cm en fonction de l'utilisation du béton [Okamura .H OZAWA .K], [HAYAKAWA .M, MATSUOKA .Y YOKOTA .K] ceci permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

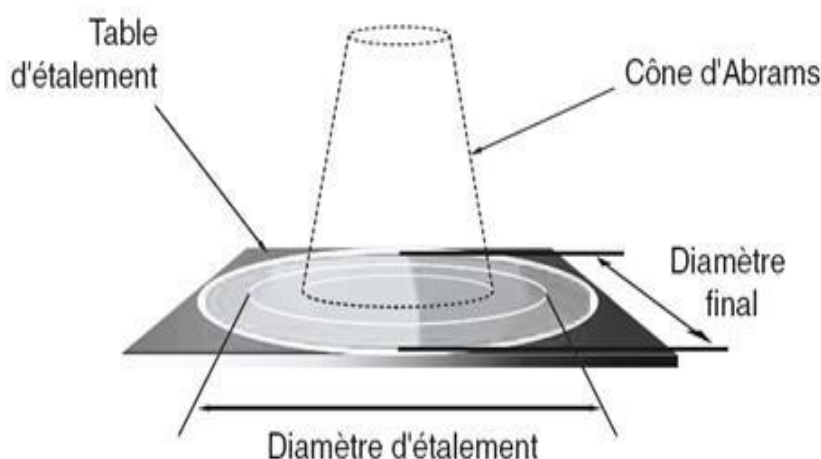


Figure I.4: Essai d'étalement [Sandrine Bethmont]

I.6.1.3. Essai de boîte en L :

La boîte en « L » permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage. 13 litres de béton sont mis dans la partie verticale puis on laisse le béton se reposer pendant 1 minute. La trappe est ensuite levée et le béton s'écoule dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. A la fin de l'écoulement, on mesure les hauteurs H_1 , H_2 et le résultat est exprimé en termes de taux de remplissage H_2/H_1 . Ce rapport permet de caractériser la dénivellation et doit être supérieur à 0,8. [STEPHAN Assie]

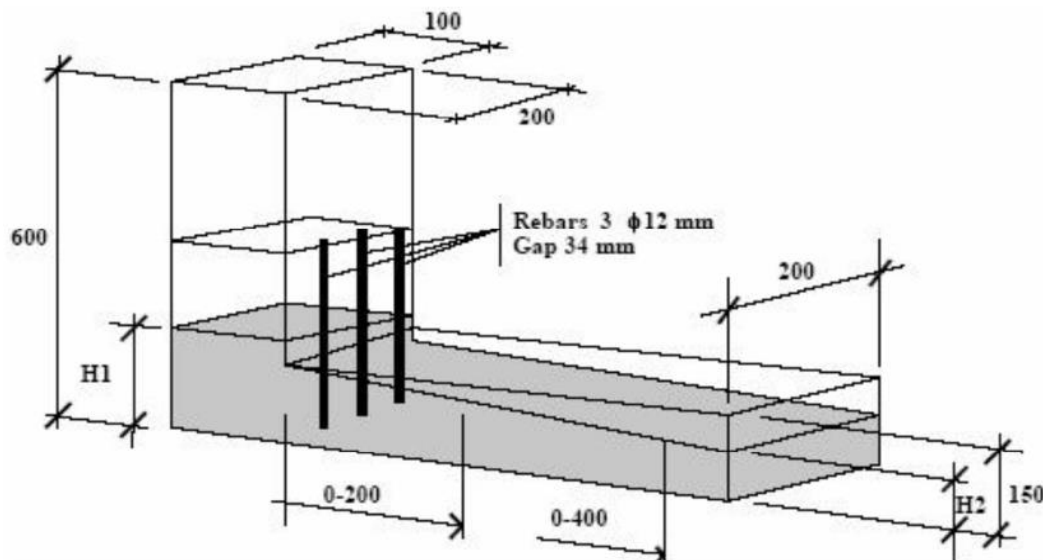


Figure I.5 : Essais d'écoulement à la boîte L-box ou boîte en L [Sandrine Bethmont]

I.6.2. L'état durci :

Le comportement à l'état durci rapporte essentiellement des travaux concernant les performances mécaniques (résistance à la compression, résistance à la traction) et le retrait des bétons autoplaçants

I.6.2.1. Résistance à la compression :

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques. L'utilisation de filler dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique au jeune âge. Les particules fines du filler, lesquelles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite. Zhu et Gibbs ont montré que la résistance de BAP utilisant la poudre de pierre à chaux augmente de 50 à 80 % de celle de référence à 7 j et 20 à 40 % à 28 j, ils ont expliqué cette augmentation par la poudre à pierre à chaux accélère l'hydratation de ciment et augmente la résistance aux jeunes âges. Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence sur l'évolution de la résistance mécanique du béton. Ainsi, l'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges [Lucas, J].

I.6.2.2. Résistance à la traction :

Gibbs 99 ont constatés qu'il n'y aucune différence entre la résistance à la traction des BAP et celle des bétons référence. Par contre, Gibbs 02 ont montrés que la résistance à la traction est plus grande que la résistance des bétons références. En comparant des mélange de BAP ont le même E/C on trouve que le type et la finesse de poudre affecte peu la résistance en traction [Assie .S].

I.6.2.3. Module d'élasticité :

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une baisse quantité de gros granulats si on se réfère à la formule réglementaire du module ($E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3}$), celui-ci ne dépend que de la résistance du béton .Ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré [HanaFares].

I.6.2.4. Retrait :

En dessiccation, les bétons autoplaçant et les bétons ordinaire vibrés possèdent en générale un retrait total équivalent .cependant, les deux types de bétons affichent une élevées (pour les BHP), ou le retrait des BAP est supérieur .En mode endogène, les bétons autoplaçant et les bétons ordinaires présentent un retrait similaire a 28 jours au de la d'un an, les BAP présentent un retrait légèrement supérieur à celui des BO. Il est vraisemblable que les légères différences entre les retraits des deux types de béton sont dues au volume de pate qui est plus important dans les bétons autoplaçant [Assie .S].

I.7. Définition de mortier

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, se diffèrent selon les réalisations et d'adjuvant. Dans ce chapitre, nous présenterons les différents types ainsi que les caractéristiques principales telles que l'ouvrabilité, la prise, le retrait, etc. [BOUALI .K]

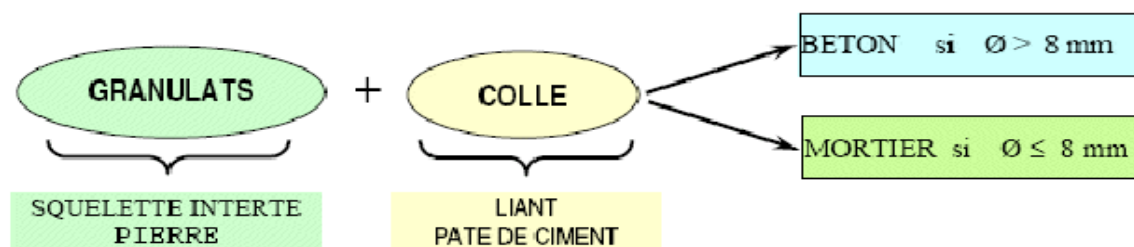


Figure I.6 : Constituants des mortiers.[BOUALI .K]

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier. Les mortiers peuvent être:

- préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- livrés par une centrale: ce sont des mortiers prêts à l'emploi.

Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années; permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers. [EMILE.O]

I.7.1. Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels : [EMILE.O]

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Etre le constituant essentiel du béton
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection.

I.7.2. Constituant des mortiers :

I.7.2.1. Le ciment :

I.7.2.1.1. Définition :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 °C , température de fusion .

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau.

Ce durci ciment est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [Belhocin aida, Nagoudinadja]

I.7.2.1.2. Les Constituants du ciment :

a). Clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (Clink irisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne..). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. **[Belhocin aida, Nagoudinadja]**

Les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants :

- Silicate tricalcique (C_3S) : $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Alite);
- Silicate bicalcique (C_2S) : $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$ (Bélite);
- Aluminate tricalcique (C_3A) : $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$;
- Ferro aluminate calcique (C_4AF) : $4\text{CaO} .\text{Al}_2\text{O}_3 .\text{Fe}_2\text{O}_3$ (Célite).

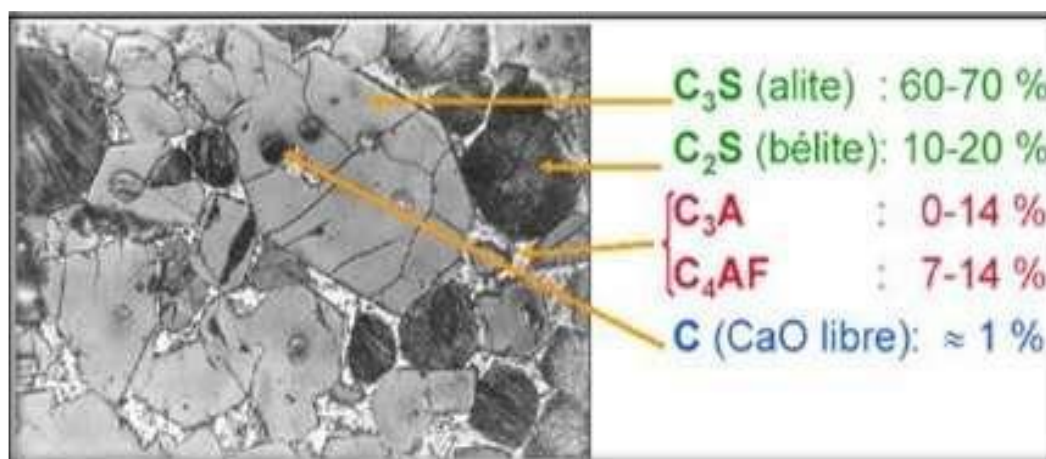


Figure I.7 : Microphotographie d'un clinker. **[Belhocin aida, Nagoudinadja]**

b). Le Gypse(CaSO_4) :

Le sulfate de calcium est un corps composé chimique minéral anhydre, solide de structure ionique, formé simplement d'un anion sulfate et d'un cation de calcium, de formule chimique CaSO_4 et de masse molaire 136,14 g/mol.

Il correspond en réalité le plus souvent à un corps minéral naturel, nommé anhydrite, typique des évaporites, assez abondant, quoique caché car il se dégrade en gonflant à l'eau, en engendrant en surface le plus souvent un composé di hydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, minéral emblématique des roches évaporites, encore plus abondant, connu par les minéralogistes ou géologues sous le nom de « gypse ».

Il peut aussi former le plus souvent par transformation thermique un corps minéral hémihydraté, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, il s'agit de la basanite ou plus communément un des composés majeurs du « plâtre », poudre blanche obtenue par cuisson du gypse et pilage. **[Belhocin aida, Nagoudinadja]**

I.7.2.2. Le sable :

I.7.2.2.1. Définition :

C'est une matière minérale siliceuse ou calcaire qui se présente dans le sol sous la forme de grains ou de poudre, suivant qu'il s'agit de sable grossier ou de sable fin. L'introduction des sables permet de diminuer le retrait du liant (ossature mortier) en augmentant les résistances mécaniques [WILLIAM .D callister .JR].

I.7.2.2.2. Classification des sables :

a). Classification des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit : [AZZOUZ Hocine]

- **Sable de rivière :**

il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

- **Sable de mer :**

il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

- **Sable de carrière :**

il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.

- **Sable artificiel :**

il est obtenu par concassage des roches (calcaire durs, grès...). Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

- **Sable de dune :**

C'est un sable très fin, qu'on retrouve un peu partout au Sahara.

b). Classification des sables selon la granulométrie:

Les sables peuvent être classés selon la granulométrie comme suit : [AZZOUZ Hocine]

- **Sable grossier :**

Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.

- **Sable moyen :**

Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80µm sont compris entre 0,2 et 2mm.

- **Sable fin :**

Plus de 75% des éléments supérieurs à 80 µm, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.

I.7.2.3. L'eau de gâchage :

L'eau joue un rôle important, elle sert à hydrater le ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier, ainsi elle contribue à son ouvrabilité. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé.

Les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers et des bétons sont précisées dans la norme NA-442. Les mortiers devraient contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale..[R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN]

I.7.2.4. Les additifs :

I.7.2.4.1.Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits chimiques que l'on utilise dans le cas des bétons et mortiers. Ils modifient les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés en faible proportion (environ 5% du poids de ciment). Les mortiers peuvent comporter différents types d'adjuvants, Les superplastifiants (haut réducteurs d'eau), les entraîneurs d'air, les modificateurs de prise (retardateurs accélérateurs) et les hydrofuges.[WILLIAM .D callister .JR]

- **Les ajouts**

Les ajouts minéraux sont des matériaux en fines particules qui peuvent être ajoutés en quantités limitées pour influencer certaines propriétés ou obtenir des propriétés particulières. Selon la norme EN 2006, les ajouts minéraux dans le ciment sont classés en actifs et inertes. On distingue quatre classes :

- **Les cendres volantes :**

Selon la norme NF EN 12-620, Les cendres volantes sont des particules très fines récupérées par les systèmes de dépoussiérages des gaz des chaudières des centrales thermiques. L'intérêt des cendres volantes réside dans la faculté qu'elles possèdent à réagir avec l'hydroxyde de calcium pour former des silicates de calcium hydratés qui ont des propriétés pouzzolaniques et hydrauliques (rétention d'eau).

D'une façon générale, l'introduction des cendres volantes dans le béton diminue la porosité. Elle diminue la sensibilité du béton aux eaux agressives, en fixant progressivement la chaux. En plus des propriétés décrites, lorsqu'elles sont utilisées comme une fraction liante, les cendres volantes jouent également d'autres rôles dans le béton tels que l'amélioration de l'ouvrabilité, la diminution de la proportion d'eau pour le béton frais et l'imperméabilité des surfaces [Khelifa R].

- **Le laitier de haut fourneau :**

Selon la norme NF EN 12-620, Le laitier de haut fourneau, ou le laitier broyé est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium CaO, de la silice SiO₂, de l'alumine Al₂O₃ ainsi que la magnésie MgO et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

Le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir été séparé ou après avoir été cobroyé avec le clinker. Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le ciment Portland et craint donc davantage la dessiccation. Par contre il résiste normalement mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. **[Pierre JAVELLE, Paul PONTEVILLE]**

- **La fumée de silice :**

Les fumées de silice sont des poudres de silice extrêmement fines (inférieure au 1 μm). Ce sont des sous-produits de fabrication du silicium et de ses alliages. Les propriétés des fumées de silice sont assez variées. La fumée de silice conforme à la norme (EN 12-263), elles fournissent de très bonnes propriétés aussi bien au niveau de la rhéologie qu'au niveau des propriétés mécaniques et chimiques, tout en améliorant la durabilité du béton **[MESSAOUD FARIH]**.

Selon la norme NF P 18-502 « fumées de silice » : on distingue deux classes A et B les fumées de silice de classe A étant les plus riches en silice et les plus fines. Compte tenu de leur très grande finesse et de leur très grande réactivité avec la portlandite libérée par l'hydratation du ciment, la proportion des fumées de silices est limitée à 10% du poids de ciment. Leur emploi est réservé aux bétons contenant un superplastifiant **[J. BARON ET J. OLLIVIER]**.

- **Les fillers calcaires :**

L'utilisation des fillers calcaires dans l'industrie du ciment et du béton est assez récente. 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). Un filler est dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium. Dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine. Les différents résultats montrent que les fillers calcaires peuvent jouer plusieurs rôles:

- un rôle de remplissage en substitution du ciment dans les éléments fins de la courbe granulométrique (bétons ouvrables retenant mieux l'eau).
- un rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle.
- un rôle chimique et physique conduisant à l'accélération de l'hydratation du C_3S et du C_3A .
- un rôle physique en permettant un arrangement initial différent ce qui réduit l'épaisseur entre la pâte et le granulat. **[P. Billberg],[Gibbs J.C and ZHU W],[Kara-Ali R]**.

I.7.3. Différents types des mortiers :

Les mortiers se partagent en différents types: **[GC1712]**

- **Les mortiers de ciment**

Les mortiers de ciment, très résistants, prennent et durcissent rapidement. De plus un dosage en ciment suffisant les rend pratiquement imperméables Les dosages courants sont de l'ordre de 300 à 400 kg de ciment pour 1 m^3 de sable.

- **Les mortiers de chaux**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment, surtout lorsque la chaux est calcique.

- **Les mortiers bâtards**

Le mélange de ciment et de chaux permet d'obtenir conjointement les qualités de ces deux liants. Généralement on utilise la chaux et le ciment par parties égales; mais on mettra une quantité plus ou moins grande l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

- **Mortier réfractaire**

Il est fabriqué avec du ciment fondu qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues.

- **Mortier rapide**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements.

- **Mortier industriel**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation.

I.7.4. Propriétés des mortiers :

Les propriétés principales d'une pâte d'un mortier sont : **[A. KOMAR]**

- **La fluidité :**

Une pâte de mortier peut avoir, suivant les composants, des consistances différentes, depuis sèche jusqu'à fluide. Les mortiers de maçonnerie, de travaux de finissage des bâtiments et autres se font suffisamment fluides. On exprime la fluidité d'une pâte d'un mortier par la profondeur d'enfoncement dans la pâte d'un cône métallique pesant 300g et ayant un angle au sommet de 30°.

- **La maniabilité :**

Elle est déterminée par la fluidité c'est-à-dire : le pouvoir de se poser sur une surface, avec une dépense minimale d'énergie, sous forme d'une couche de densité uniforme fortement adhérent à la surface de base. Une composition préparée à un ciment portland seul contient peu de pâte de ciment ; une telle composition est sèche et peu maniable.

- **Le pouvoir de retenir l'eau :**

Cette caractéristique est caractérisée par la propriété de la pâte de ne pas se stratifier pendant le transport et de conserver assez d'eau dans la couche fine sur une base poreuse. Une pâte de mortier à l'hydrophile basse se stratifie au cours du transport et lorsqu'on la pose sur une surface poreuse (brique d'argile, béton, bois), elle lui restitue rapidement l'eau. La dessiccation du mortier peut être si importante qu'il n'y aura plus suffisamment d'eau pour le durcissement du mortier qui ne pourra pas atteindre la résistance requise. Le pouvoir de retenir de l'eau peut être augmenté par l'introduction des plastifiants minéraux et organiques.

- **La résistance mécanique d'un mortier :**

Après durcissement, la résistance mécanique du mortier dépend de l'activité du liant et du rapport ciment-eau. La formule empirique suivante proposée par le professeur N. Popov [A. KOMAR] exprime la résistance des mortiers à ciments portland :

$$R_m = 0.25 R_c (C/E - 0.4)$$

R_c : l'activité du ciment en Pa.

C/E : le rapport ciment-eau.

Cette formule est valable pour les mortiers posés sur une base compacte ; si la base est poreuse, elle aspire l'eau du mortier en le rendant compact ; la résistance croît de 1.5 fois à peu près. La résistance mécanique des mortiers dépend aussi de la consommation du ciment et de la qualité de sable.

I.8. Définition MAP :

Le mortier auto-compactant (MAP) est un type de mortier très fluide qui a tendance à passer, à remplir et à suivre la forme désirée pour réparer et réhabiliter les structures. La résistance à la compression des cubes de béton par différentes méthodes de durcissement des mortiers auto plaçant confirme l'importance et la résistance de ces mortiers. [James T, Malachi A, Gadzama E W]

I.8.1. Structure De MAP :

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire auto plaçant qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous étudierons le rôle de chaque paramètre sur le comportement de la pâte cimentaire et nous délimiterons

par la suite un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables.

Le rôle de l'expérimentateur ainsi que la démarche expérimentale de l'élaboration de la pâte de ciment sont deux éléments importants, compte tenu de la sensibilité du comportement de cette dernière.

La pâte de ciment est confectionnée à partir des quatre composantes (ciment, filler, plastifiant, eau.).[GUELLIL Mustapha Khadir].

a). Un volume de pâte élevé :

Les frottements entre les gravillons limitent l'écoulement des bétons. C'est pourquoi, le MAP contient un volume de pâte important dont le rôle est d'écarter les gravillons les uns des autres [AFGC2008]

b). Une quantité importante de fines :

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP contiennent une quantité de fines supérieures à celle des mortiers. Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire [M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI]

c). Un fort dosage de super plastifiant :

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

d). Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal [Sedran T]. Ce produit, comme les fines, a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des bétons ayant des rapports eau/liant élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le béton. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible qui donne des résistances supérieures à 50 MPa. Pour la gamme des bétons intermédiaire, leur utilité est à étudier au cas par cas. L'agent colloïdal a la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations d'eau vis-à-vis aux problèmes ségrégation et ressuage.[S. KUROIWA, Y. MATSUOKA, M. HAYAKAWA & T. SHINDOH] [T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL & J. SAKAMOTO]

I.8.3. Méthodes De Formulation :

I.8.2.1- Méthode D'okamura:

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

- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).
- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.
- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.
- Détermination du dosage minimal en eau : La demande en eau passe par la conception de la composition de la pâte. En effet des essais d'étalement au mini- cône sont réalisés en faisant varier le rapport Eau/Liant avec le dosage choisi en liant.
- En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » (équation.1), on détermine le point d'intersection avec l'axe des ordonnées « βP » qui permet de déterminer le besoin en eau minimale nécessaire pour cimenter les additions minérales.

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

Avec :

(Rp): L'étalement relatif.

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

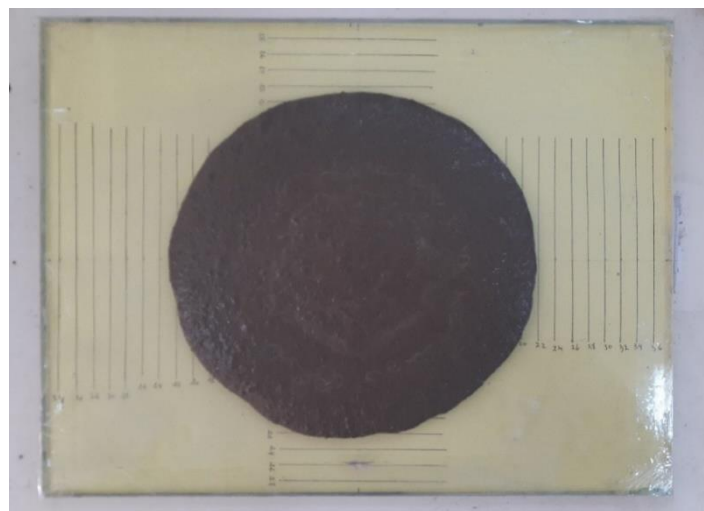


Figure I.8 : Étalement au Mini cône de mortier auto placent.

I.8.4. Fluidité Et Déformabilité De MAP :

La déformabilité du mortier est définie comme étant la capacité de mortier de subir un changement de forme sous son propre poids. La déformabilité élevée est exigée de sorte que le mortier. Afin d'obtenir une déformabilité adéquate, il est important de réduire au minimum le frottement inter sable du mélange. La réduction de la quantité du gros sable et l'augmentation du volume de pâte sont exigées pour obtenir la déformabilité désirée des MAP. Une autre manière de réduire le frottement inter sable est obtenu avec l'incorporation d'additions minérales telles que les fillers. [Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J]

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte .Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des super-plastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MAP. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau-matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité.

Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J].

En général, le critère de fluidité- stabilité est assez difficile à résoudre, mais, au moyen d'agents colloïdaux, de teneurs élevées en ajouts minéraux ou de teneurs appropriés en sable, la stabilité et la déformabilité peuvent être assurées.

I.8.5. Essais Au Cône De Marsh (Essai De Taux De Saturation) :

Pour déterminer le dosage de saturation en super-plastifiant, on a aussi, utilisé la méthode du cône de Marsh (figure I-8). Cette méthode est utilisée depuis longtemps par l'industrie pétrolière pour mesurer la fluidité des coulis de ciment ou de bentonite. C'est pourquoi cette technique est adoptée pour la mesure de la fluidité et l'étude des propriétés rhéologiques des coulis de ciment.

Le principe de l'essai consiste à mesurer le temps qu'il faut pour vider un cône contenant un volume donné de pâte à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre.

Le cône de Marsh doit être solidement fixé pour ne pas être déplacé par les vibrations et sa partie supérieure doit être horizontale. [Hallal A., Ezziane K., Kadri A]



Figure I.9 : Essais au Cône de Marsh (Essai de taux de saturation).

I.8.6. Étalement au Mini cône de pâte :

Dans la méthode japonaise et hollandaise la demande en eau passe par des essais d'étalement au mini cône sur pâte en faisant varier le rapport Eau/poudre (Fig.I.10). La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...etc) mesurer l'étalement relatif «équation Rp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire). [AbdelHamid RMILI]

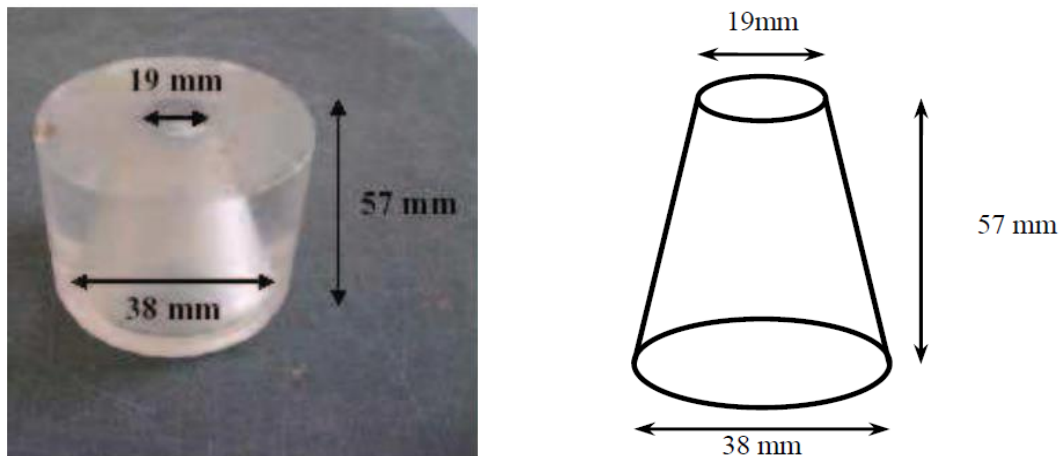


Figure I.10 : Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Mr. GUELLIL Mustapha Khadir].

I.8.7. Essais De L'étalement Au Mini Cône De Mortier :

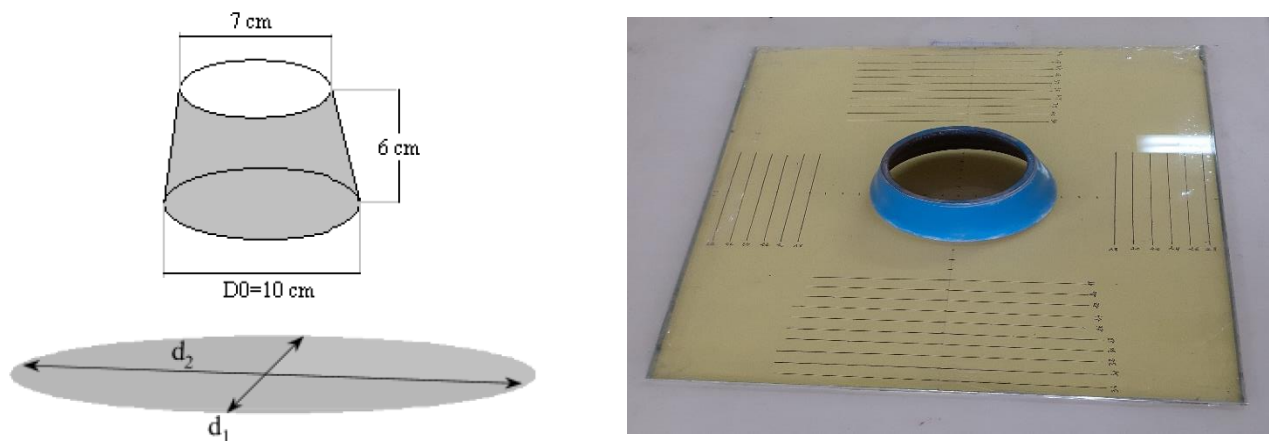


Figure I.11: Dimensions de Mini cône à mortier.

I.8.8 Essais De Déformabilité De l'Entonnoir En V (V-Funnel) :

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

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

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

(V-funnel) : $T_v \leq 6$ secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et $9 \leq T_v \leq 25$ pour les autres cas. [AbdelHamid RMILI]

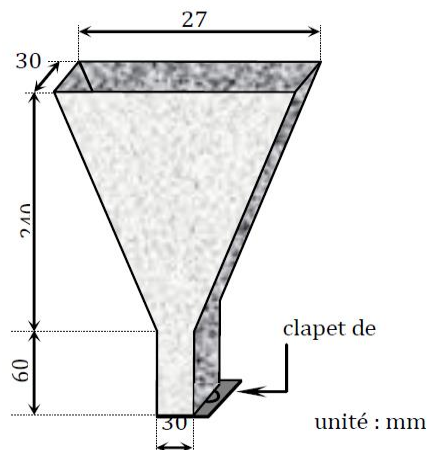


Figure I.12: Essai de l'entonnoir en V. [Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J.]



Figure I.13: Déroulement de l'essai d'entonnoir en mini v (v-funnel)

I.9. Conclusion :

- Les MAPs et BAPs, est une nouvelle génération de béton venant du Japon est apparue ces dernières années. Ce sont des bétons très fluides et se mettent en œuvre sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration, même dans des coffrages complexes et très encombrés, tout en donnant un produit final homogène.
- La principale difficulté de fabriquer de tels bétons est que l'on recherche à concilier des propriétés a priori contradictoires ; d'une part, une grande fluidité et déformabilité et, d'autre part, une haute stabilité afin d'obtenir finalement un béton très maniable. Pour satisfaire ces exigences rhéologiques, la formulation des BAP doit renfermer une forte teneur en pâte au détriment de celle des gravillons. De plus, il est nécessaire d'ajouter, à cette formulation, au moins une addition minérale et un super plastifiant en proportions bien précises. Ajoutons, enfin, que l'utilisation des agents colloïdaux est éventuelle.
- Grâce à leur formulation, les MAP possèdent généralement de bonnes résistances mécaniques et de durabilité, et dépendent bien sûr de la teneur en eau et de la nature du liant. En revanche, il faut prévoir un module élastique plus fiable que pour des BO de même résistance à la compression. À l'opposé, les déformations différées, retrait et fluage sont susceptibles d'être augmentées.
- L'optimisation de la formulation des MAP nécessite un réglage minutieux de plusieurs paramètres. En effet, la nature et le dosage d'additions minérales et la concentration en super plastifiant et en agent colloïdal sont des paramètres clés pouvant avoir une influence significative sur les performances des MAP.



Chapitre II :

Valorisation Des Déchets Et Essais Sur MAP

Le chapitre II, comporte deux parties ; la première partie concerne les généralités sur la valorisation des déchets de verre et déchets de marbre, la deuxième partie comporte une étude sur le mortier auto-nivelant et la comparaison des études menées par d'autres chercheurs avec les essais qu'on a effectué au niveau des laboratoires de génie civil de l'université de m'sila.

PARTIE I : Valorisation des déchets

II.1. Introduction :

Le développement socio-économique et l'accroissement démographique que connaît le monde et les besoins élevés en matériaux de constructions a conduit à l'épuisement des ressources primaires et l'augmentation de la quantité des déchets produits.

La valorisation des déchets sont La meilleure solution pour éliminer ces deux problèmes et de protéger l'environnement. Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie. **[Philippe Gautron]**

II.2. Les déchets :

Un déchet et un résidu d'un processus de fabrication, de production, de transformation ou d'utilisation, ou il s'agit d'une substance, d'un matériau d'un produit ou d'un quelconque bien meuble abandonné.

II.2.1. Origine de la production des déchets :

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

a. Biologique : Les déchets d'origine biologique sont définis par le fait que tout cycle de vie produit des métabolites (matière fécale, cadavre...).

b. Chimique : Toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors si l'on veut obtenir un produit **C** à partir des produits **A** et **B** par la réaction $A + B \rightarrow C + D$; **D** sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.

c. Technologique : Quelles que soient la fiabilité et la qualité des outils et procédés de production, il y a inévitablement des rejets qu'il faut prendre en compte tels que chutes, copeaux, solvants usés, emballage, etc.

d. Économique : La durabilité des produits, des objets et des machines a forcément une limite qui les conduits, un jour ou l'autre à leur élimination ou leur remplacement.

e. Écologique : Les activités de dépollution (eau, air, déchets) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront eux aussi une gestion spécifique, ... et ainsi de suite.

f. Accidentelle : Les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont à l'origine des déchets.

II.2.2. Classification des déchets :

a/ Déchets solides urbains

Rushbrook et Pugh ont précisé que le terme déchet solide peut se référer au déchet municipal qui contient sept catégories : résidentiel (ménager ou déchets domestiques), commercial, institutionnel, déchets de nettoyage des voies publiques, déchets de construction et de démolition, déchets hospitaliers, déchets industriels. [Rushbrook, P., &Pugh, M. (1999)]

b/ Déchets ménagers et assimilés

Le terme de Déchets Ménagers et Assimilés (DMA) englobe les Ordures Ménagères (OM) qui sont issues de l'activité domestique des ménages ainsi que les déchets provenant des industries, artisans, commerçants, écoles, services publics, hôpitaux ou encore les services tertiaires qui sont collectés dans les mêmes conditions que les OM. [ADEME (2000a)]

c/ Déchets agricoles

Déchet agricole désigne un déchet qui provient de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage, constitué de déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales) et de déchets dangereux (produits phytosanitaires non utilisés, emballages vides ayant contenus des produits phytosanitaires,). [https://www.dictionnaire-environnement.com/dechet_agricole_ID1191.html-Consultele 22/03/2020]

d/ Déchets radioactifs

Toute substance radioactive dont l'activité est telle que son rejet et sa dispersion dans l'environnement ne sont pas autorisés et pour laquelle aucun usage n'est envisagé. Les Déchets radioactifs sont constitués d'isotopes qui peuvent être instables et se transmuter spontanément en d'autres atomes avec émission d'énergie et de rayonnements :

[https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dechet_radioactif.php4 Consulte le 22/03/2020]

- **Rayonnement alpha** : peu pénétrant, stoppé avec une feuille de papier.
- **Rayonnement bêta** : plus pénétrant, stoppé avec une feuille d'aluminium.
- **Rayonnement gamma** : très pénétrant, stoppé par plusieurs centimètres de béton ou de plomb.

e / Déchets industriels spéciaux : [Alain,D. (2006)]

Ils regroupent les déchets dangereux autres que les déchets dangereux des ménages et les déchets d'activité de soins à risques infectieux. Les substances présentent l'une des propriétés de danger.

f/ Déchets hospitaliers :

Ce sont des déchets spécifiques des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaines et vétérinaires, ainsi que des activités de

recherche et d'enseignement associées, de production industrielle et de thanatopraxie. [Alain,D. (2006)]

g/Déchets inertes :

Les déchets inertes ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autres réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres métiers avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptibles nuire à la santé humaine. [Alain,D. (2006)]

II.2.3. Les principaux objectifs d'utilisation des déchets : [benakli.S]

- Réduire la production des déchets. (solides- poussière de marbre)
- Valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir des déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie
- Assurer l'information du public sur les effets pour l'environnement et la santé publique.

II.2.4. Recyclage des déchets : [<https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>-Consulte le : 24/03/2020.]

Le **recyclage** est un procédé de traitement des déchets (industriels ou ménagers) de produits arrivés en fin de vie, qui permet de réintroduire certains de leurs matériaux dans la production de nouveaux produits. Les matériaux recyclables comprennent certains métaux, plastiques et cartons, le verre, les gravats, etc.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures :

- la réduction du volume de déchets, donc de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles, à se dégrader) ;
- la préservation des ressources naturelles, puisque la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.

Il représente une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché, tandis que d'autres sont complexes et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux du commerce peuvent ainsi se rejoindre ou diverger ; la législation peut alors imposer la prise en charge de cette externalité. Ainsi, en particulier depuis les années 1970, le recyclage est-il une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

II.2.5. Les trois grands principes du recyclage :[<https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage> Consulte le : 24/03/2020.]

a. Réduire : regroupe les actions au niveau de la production pour réduire les tonnages d'objets (par exemple les emballages) susceptibles de finir en déchet.

b. Réutiliser : regroupe les actions permettant de réemployer un produit usagé pour lui donner une deuxième vie, pour un usage identique ou différent.

c. Recycler : désigne l'ensemble des opérations de collecte et traitement des déchets permettant de réintroduire dans un cycle de fabrication les matériaux qui constituaient le déchet.

II.2.6. Types de recyclage : [\[https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage\]](https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage)-Consulte le : 24/03/2020.]

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique.

- Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants ;
- Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer ou pour séparer par courants de Foucault ;
- Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

II.2.7. La chaîne du recyclage : [\[https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage\]](https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage)-Consulte le : 24/03/2020.]

La chaîne du recyclage comporte différentes étapes :

Étape 1 - Collecte de déchets.

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets. Dans les pays développés, les ordures ménagères sont généralement incinérées ou enfouies en centres d'enfouissement pour déchets non dangereux. Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi «séparative» et souvent appelée à tort «tri sélectif» est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui jette le déchet le trie lui-même. La taxe au sac est un bon moyen pour inciter les personnes au tri sélectif, car seuls les déchets non recyclables finissent en général dans ces sacs taxés, les déchets recyclables étant eux déposés dans des lieux où il n'y a pas de taxe.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations mécanisées permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Un tri manuel, par des opérateurs devant un tapis roulant, complète souvent ces opérations automatiques.

Étape 2 – Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

Étape 3 - Commercialisation et conservation

Une fois transformées, les matières premières issues du recyclage sont utilisées pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs.

II.3. Les déchets de verre :

II.3.1. Définitions :

Le mot verre a connu plusieurs sens aux cours de temps. Il peut signifier un certain état de substance un matériau fonctionnel ou un objet. En 1945 « American society for Testing Matériels (A S T M) a proposé la définition la plus répandu dans le milieu scientifique. « **Le verre est un produit minéral obtenu par fusion qui se solidifie sans cristalliser** » Cette définition a limité le sens du mot verre aux composés minéraux seulement en mettant en marge que plusieurs matériaux organiques forment des verres. L'avancement de la science a permis de préparer d'autres méthodes pour la fabrication du verre par fusion.

Le verre est un matériau amorphe (du point de vue de la diffraction des rayons X) caractérisé par une transition vitreuse. Cette dernière est définie comme étant un phénomène au cours duquel un solide amorphe présenté avec la variation de la température .un certain changement (plus ou moins important) des dérivées de ses propriétés thermodynamiques au point de transformation solide —liquide. Cette définition est la plus appropriée car elle n'impose aucune résection quant à la manière dont est obtenu le matériau vitreux.

Donc le sens du mot verre se trouve alors limité aux composés minéraux, ce qui, sous cette forme générale est discutable. La définition Américaine apporte des précisions supplémentaires, elle indique entre autres qu'on désigne aussi par verre (des objets comme un verre à vin ou verre grossissant). Si l'on veut donner une définition au mot verre, celle-ci doit donc contenir ces sens. Ce n'est naturellement pas possible si elle est courte et une définition doit être courte à cause ses sens très différents du mot verre qu'on veut exprimer.

Les solides sont caractérisés à la fois par leur incapacité à prendre la forme du récipient dans lequel ils prennent place, et par leur grande résistance aux forces de cisaillement. On les classe en deux catégories: les solides cristallisés et les solides amorphes, qu'on appelle aussi parfois désordonnés ou non cristallisés **[Rapport du TECHNOpor]**

II.3.2. Composition du verre :

Certains éléments comme le silicium et le bore peuvent former un verre par leur seule combinaison avec de l'oxygène (oxyde de métaux) utilisation (élévation de température). Ces oxydes sont appelés oxydes «formateurs» car ils forment le squelette du verre. On les combine avec d'autres éléments dits « modificateurs » qui sont : **[Bernhard Ilschner; Christian Janot]**

- Les fondants : qui abaissent la température de fusion des oxydes formateurs (silice = 1730°C).
- Les stabilisants : qui modifient les propriétés physiques du verre atténuées par l'adjonction du fondant.

II.3.3. Le recyclage du verre :

Le recyclage du verre est le processus de transformation de déchets de verre en produits utilisables (figure II.1). Pour ce faire, les déchets de verre doivent être séparés par leur composition chimique (séparés en différentes couleurs) car le verre conserve sa couleur après le recyclage, et ensuite, en fonction de l'utilisation finale et les capacités locales de transformation. Cette procédure permet d'utiliser moins d'énergie que la fabrication du verre à partir de sable

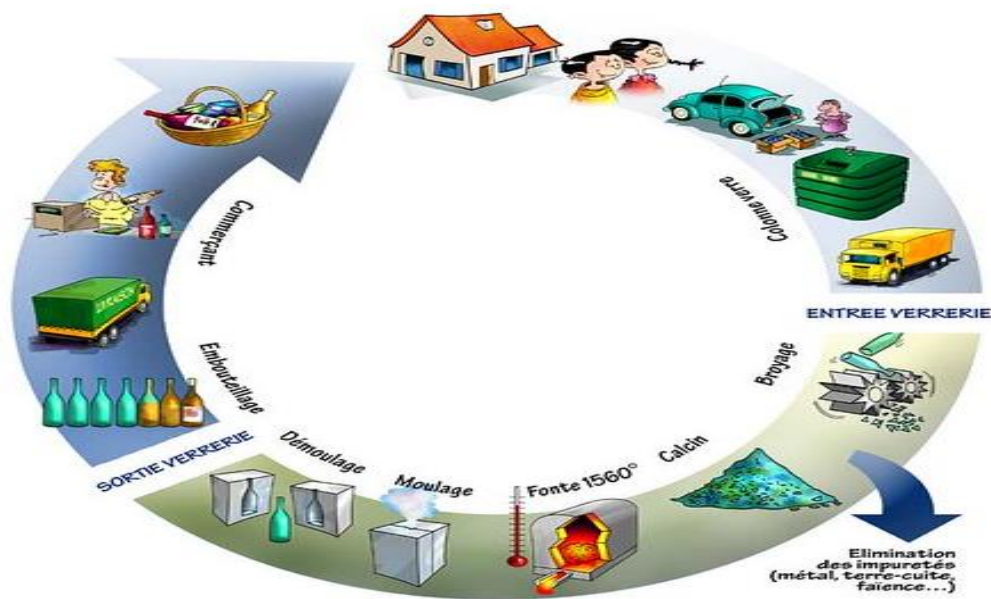


Figure II.1: Processus de transformation de déchets de verre

[Source de l'image : Recyclage et valorisation du verre : www.idverre.net consulte le 15/04/2020]

II.4. La poudre du marbre :

II.4.1. Définition :

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 [Saadani Sabrina]

II.4.2. Le recyclage des déchets du marbre :

Les déchets de carrières à blocs sont les blocs, chutes et moellons ayant différentes formes géométriques. Le produit de recyclage de déchets est un sous-produit de marbre «granulats et poudre». Les déchets de l'usine de transformation sont exploités partiellement en revêtement de sol extérieur pour les chutes de carreaux et en construction de carreaux de granito, en peinture pour la poudre de marbre.

L'exploitation des moellons de dimension variant de (80-100cm), qui sont concassés, 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 : .[Saadani Sabrina]

- Dérivés de marbre blanc.
- Dérivés de marbre gris (à l'arrêt)

II.4.3. Utilisation des déchets de marbre dans le bâtiment :

L'industrie en pierre de marbre produit des déchets solides et de la boue de pierre. La boue en pierre produite pendant le traitement correspond environ à 20% du produit fini de l'industrie en pierre. Par conséquent la communauté scientifique et industrielle doit commettre vers des pratiques plus viables. Il y a plusieurs réutilisations et réutilisant des solutions pour ce sous-produit industriel, à une phase expérimentale et dans des applications pratiques [POOJA J.CHAVHAN ET AL INT]

II.4.4. Les avantages de la poudre de marbre : [POOJA J.CHAVHAN ET AL INT]

- La poudre de marbre peut être employée comme remplissage dans le béton et les aires de pavage.
- La poudre de marbre peut être employée dans le béton pour augmenter la résistance.
- Nous pouvons réduire la pollution environnementale en utilisant la poudre de marbre pour fabriquer d'autres produits.
- La poudre de marbre est également employée pour faire la couche de fond pour des peintures de toile, et comme remplisseur de peinture.
- Elle est utilisée comme composant pour la fabrication du ciment blanc.
- Il a été prouvé que la poudre de marbre agissait comme charge, des résultats expérimentaux indiquaient que le pourcentage optimal de déchets de poudres en tant que additifs minéraux dans le BAP représente 50% en poids de la teneur en ciment dosé à 400 kg/m³, indépendamment du type de la poudre de déchets. L'utilisation de ce pourcentage atteint la plus haute résistance à la compression avec une fluidité satisfaisante sans ségrégation, ni saignement.

II.5. Conclusion:

L'accumulation de déchets pose un grand danger pour l'environnement, et pour éviter de tels risques, il est nécessaire de rechercher des solutions appropriées pour réutiliser ces déchets dans plusieurs domaines différents (comme le domaine de génie civil), et l'une de ces solutions est le recyclage des déchets.

Les travaux présentés s'articulent principalement autour d'une recherche bibliographique sur la valorisation de certains déchets (déchet de verre et déchet de marbre), dans le but de les recycler dans le domaine du génie civil et plus précisément dans la préparation de béton, ciment composite, ou sous forme d'additifs cimentaires.

Dans cette partie Nous avons présenté des études sur les déchets, notamment leurs gestions, Puis nous avons évoqué une synthèse des déchets recyclables dans le domaine du génie civil. Ces déchets recyclables en construction comprennent notamment les déchets de marbre et les déchets de verre.

PARTIE 2 : Essai Sur Les Mortiers Auto-Plaçant

II.1. Introduction :

Dans cette partie on va passer en revue quelques études menées par des chercheurs sur les mortiers auto-plaçant et comparer leurs résultats de recherches avec nos résultats obtenus avec des matériaux locaux avec valorisation des déchets de verre et de marbre.

Etude N° 1 :

Douara Taha Hocine / Guettala Salim / Tarek Hadji / Attia Ahmed

- Laboratoire de développement en mécanique et matériaux LDMM, université de Djelfa, Algérie
- Laboratoire de recherche en génie civil LRGC, Université de Biskra, Algérie
- Département de génie civil, Faculté des sciences et de la technologie Université de Djelfa Algérie.

Effet De La Nature Du Sable Et De La Température De Mûrissement Sur Les Propriétés D'un Mortier Auto Plaçant :

II.2. Objectif :

L'objectif de cet article est d'étudier l'effet de la combinaison ternaire de différents sables, sable alluvionnaire SA, Sable de carrière SC et sable de dune SD sur les propriétés d'un mortier auto plaçant MAP. Ainsi d'étudier l'effet de durcissement par traitement à la température à $50 \pm 1^\circ\text{C}$ sur la résistance à la compression et à la traction d'un MAP à 7j / 14j et 28 jours. Les résultats obtenus montrent l'effet négatif de SC et SD sur l'ouvrabilité et l'écoulement du MAP vue ça capacités élevées d'absorption d'eau et la forme géométrique de ses grains. La substitution partielle de SA par SC et SD ne dépasse pas 20% et 10% respectivement avec la nécessité de corriger la quantité d'eau de gâchage et/ou la quantité du super plastifiant(SP) afin d'obtenir un MAP. Le durcissement par traitement à la température ayant une influence positive sur les résistances à court terme mais influe négativement sur la résistance après 28 jours comparaison au durcissement dans l'eau. Un effet positif de la température de traitement a été remarqué dans le cas de l'utilisation de sable SC peut-être dû à sa richesse en filler calcaire

II.3. Programme expérimental :

II.3.1. Caractéristiques des matériaux :

A/ Ciment et filler calcaire :

Pour cette étude nous avons utilisé un ciment portland CPJ-CEM II 42,5N provenant de la cimenterie LAFARGE à M'sila. Les caractéristiques de ciment sont représentées dans le tableau (II.1) et tableau (II.2). Le filler calcaire FC est obtenu par tamisage au tamis $80\mu\text{m}$ des déchets récupérés de la carrière des agrégats. Leur propriétés physiques sont illustrés dans le tableau (II.1).

Tableau II.1 : Propriétés physique du ciment et filler

Propriétés	CEM	FC
Densité apparente (g/m ³)	1.10	0.98
Densité absolue (g/m ³)	3.05	2.67
Finesse Blain (cm ² /g)	4180	3120

B/ Sables :

Trois types de sable de nature différente ont été utilisés :

- Sable Alluvionnaire (SA) provenant d'Oued Messad (80 Km au sud -Est de Djelfa)
- Sable de Carrière (SC) provenant de carrière d'Oued Sdar (30 Km au sud de Djelfa)
- Sable de Dune (SD) provenant de la région El-Zaafrane (50 Km au Nord-ouest de Djelfa)

Les caractéristiques physiques des sables sont représentées dans le tableau II.2 et la figure II.2 ci-après.

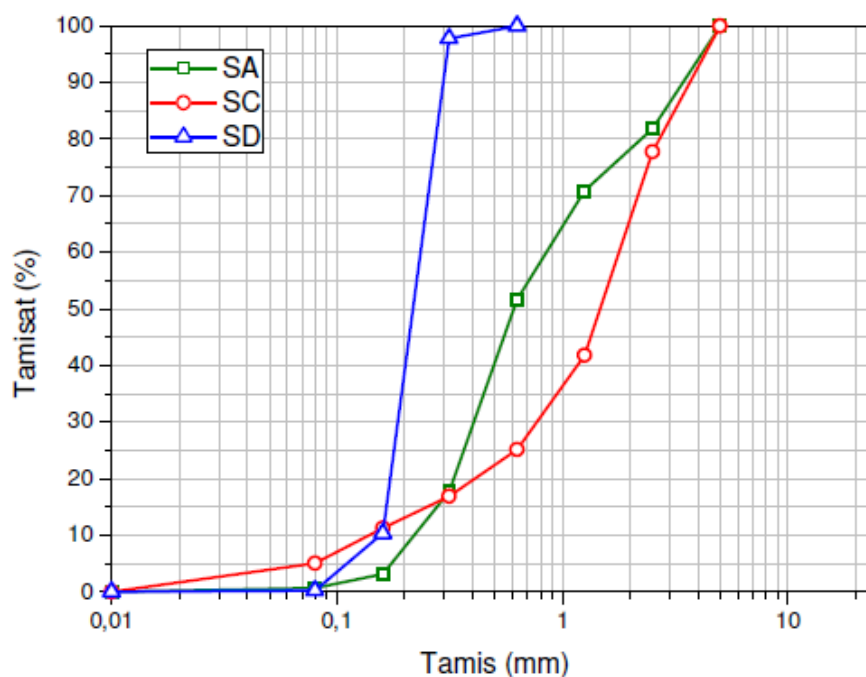


Figure II.2 : Courbes granulométriques des sables

Tableau II.2 : Propriétés physiques des Sables.

Propriétés	SA	SC	SD
Densité apparente (g/m ³)	1.65	1.36	1.46
Densité absolue (g/m ³)	2.64	2.68	2.61
Coefficient d'absorption (%)	0.25	6.53	3.71
Fines < 80 µm (%)	0.65	5.04	0.24
Module de finesse (MF)	2.79	2.93	0.92
Equivalent de sable (%)	81	79.4	83.3

C/ Adjuvant :

L'adjuvant utilisé est un adjuvant liquide de type super plastifiant haut réducteur d'eau sous le nom industriel GRANITEX MEDAFLOW30. Il est conçu à base de poly carboxylates d'Ether, sa densité est 1.07 et son extrait sec est 30 %.

Tableau II.3: Caractéristiques physico-chimiques du super plastifiant MEDAFLOW30

Aspect	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Brun clair	6 – 6.5	1.07±0.01	<0.1g/l	30%

II.3.2. Compositions préparées :

La détermination des proportions de composants de mortiers MAP de référence est basée sur la méthode **d'OKAMURA**, où le volume de sable SA est fixé à 50% au volume total de mortier et la quantité de filler calcaire est fixée à 22.5% par rapport au ciment. En cherchant par la suite l'optimisation de ciment, filler, E/L et %SP de tel sort que l'étalement au mini-cône soit dans l'intervalle 24 à 26 cm et le temps d'écoulement dans le mini-entonnoir V soit dans l'intervalle 7 à 11s selon les critères de **EFNARC 2005**. L'étape suivante est de substituer partiellement SA (jusqu'à la moitié 50%) par les deux sables SC et SD avec un pas de 10%, de tel sort qu'on obtient un mélange ternaire de sable. Le tableau (II.4) représente les combinaisons des sables et le tableau (II.5) représente les compositions de mortiers étudiés.

Tableau II.4 : Proportion des sables dans chaque composition (%)

Compositions	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
SA	100	80	70	70	60	60	60	50	50	50	50
SC	0	10	20	10	30	20	10	40	30	20	10
SD	0	10	10	20	10	20	30	10	20	30	40

Tableau II.5 : Compositions des mortiers étudiés

Constituants	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Sable SA (kg/m3)	1320	1056	924	924	792	792	792	660	660	660	660
Sable SC (kg/m3)	0	134	268	134	402	268	134	536	402	268	134
Sable SD (kg/m3)	0	130.5	130.5	261	130.5	261	391.5	130.5	261	391.5	522
Ciment (kg/m3)	628.76										
Filler calcaire (kg/m3)	141.47										
Filler calcaire (%)	22.5										
Eau (kg/m3)	227.03										

Superplastifiant (kg/m ³)	10.48
Superplastifiant (%)	0.50
Liant (kg/m ³)	770.23
E/L	0.29

II.3.4. Méthode d'essai :

Au total 198 éprouvettes prismatiques 4×4×16 cm ont été préparées. Pour chaque composition nous avons préparé 18 éprouvettes. Après 24 h de moulage les éprouvettes sont décoffrées, neuf (09) parmi eux sont mis directement dans l'eau de robinet à la température ambiante sans aucun traitement thermique et les autres sont passées à un traitement à la température à un seul cycle de $50\pm 1^\circ\text{C}$. Le traitement est réalisé à l'aide d'une étuve ventilée et programmable. Les éprouvettes sont introduites dans l'étuve où ils sont exposés à trois phases durant 4 heures (figure II.3 et figure II.4).

La première phase est la phase d'échauffement qui dure une heure dans laquelle les éprouvettes sont subies à une montée de la température de $20\pm 1^\circ\text{C}$ jusqu'à $50\pm 1^\circ\text{C}$. Dans la deuxième phase (phase de traitement) la température est maintenue $50\pm 1^\circ\text{C}$ durant 2 heures. La troisième phase est la phase de refroidissement, dans cette étape la température descend jusqu'à $20\pm 1^\circ\text{C}$ dans une heure. La figure (II.5) représente le cycle de traitement adopté.



Figure II.3 : Les éprouvettes dans l'étuve avant le traitement



Figure II. 4 : Image frontale de l'étuve utilisée

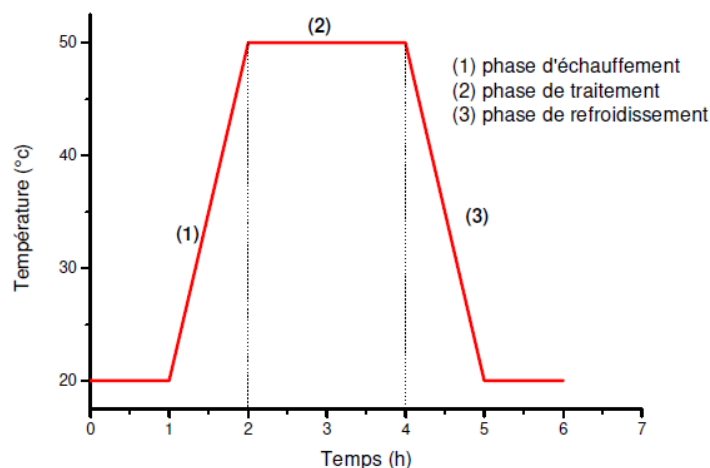


Figure II.5 : Cycle de traitement adopté

Etude N° 2 :

L. Laoufi / Y. Senhadji / I. Laoufi / A. Benazzouk

- Université de Mascara, Département de génie civil, Mascara, Algérie
- Université de Relizane, Département de génie civil, Relizane, Algérie
- Université d'Amiens, Département de génie civil, Amiens, France

Received: 20 February 2019 / Accepted: 30 April 2020 / Published online: 01 May 2020

Effet Des Différents Sables Proches De La Région De Mascara Dans La Fabrication Des Mortiers Autoplaçants :

II.4. L'objectif:

L'objectif de ce travail est l'élaboration de mortiers auto plaçant (MAP), avec les différents sables existant dans la région de la ville de Mascara en vue de l'étude principale des performances mécaniques. A cet effet 6 sables ont été utilisés : trois sables naturels et trois sables concassés. Les essais réalisés au cours de cette recherche sont : les essais physiques, les essais à l'état frais et les essais sur mortiers durcis. Les résultats auxquels notre recherche a abouti est que les mortiers auto plaçant confectionnés avec les sables concassés donnent un squelette granulaire avec une compacité élevée et des performances mécaniques supérieures par rapport aux mortiers auto plaçant confectionnés avec les sables naturels.

II.5. Programme expérimental

II.5.1. Les matériaux utilisés :

A/ Ciment :

Le ciment utilisé est un ciment portland composé type CEM II –B/42.5 disponible sur le marché, fabriqué par la cimenterie Lafarge Oggaz LCO dit Mâtine qui est certifié, conforme à la norme Algérienne NA 442-08 .

Les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques sont présentées dans les tableaux (II.6, II.7 et II.8) suivants :

Tableau II. 6. Caractéristiques physiques du ciment utilisé

Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Surface spécifique Blaine (cm ² / g)	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
1.25	3.1	4325	155	220

Tableau II. 7. Caractéristiques mécaniques du mortier normal du ciment

Age	Rc (MPa)
2 jours	15.44
28 jours	45.35

Tableau II.8 : Composition chimique en % du ciment utilisé

SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO ₃	MgO	SO ₃	CaO(libre)	P.F
27.65	56.43	4.57	4.32	0.90	1.54	0.77	2.57

B/ Sable :

B-1/ Analyse du sable :

Au cours de notre travail, nous avons utilisés six types de sables de différentes origines :

- **SCm** : Sable Concassé de carrière Mezoughi de la région Mascara ;
- **SD**: Sable de Dune de la région Bougtob ;
- **SCh**: Sable Concassé de carrière Hasnaoui de la région Sidi Belabes;
- **SM**: Sable de Mer du littoral Oranais;
- **SR**: Sable d'oued de la région de Dombal à Mascara;
- **SCa**: Sable concassé de la carrière d'AGREMAS de la région Mascara.

Les tableaux (II.9 et II.10) représentent les principales caractéristiques physiques et l'analyse minéralogique, respectivement, des six sables étudiés :

Selon le tableau (II.9) , à cause de leur forme concassée, les sables de carrières ont des compacités plus élevées par rapport aux sables naturels. Les sables naturels nécessiteront donc une quantité importante de pâte de ciment pour une bonne liaison entre les grains.

Tableau II.9. Caractéristiques physiques des sables étudiés

	SCm	SCa	SCh	SD	SM	SR
MVapp (g/cm ³)	1.56	1.43	1.49	1.45	1.48	1.50
MVabs (g/cm ³)	2.66	2.59	2.61	2.60	2.60	2.77

Compacité (%)	58.6	55.2	57.1	55.8	56.9	45.2
Porosité (%)	41.4	44.8	42.9	44.2	43.1	54.8

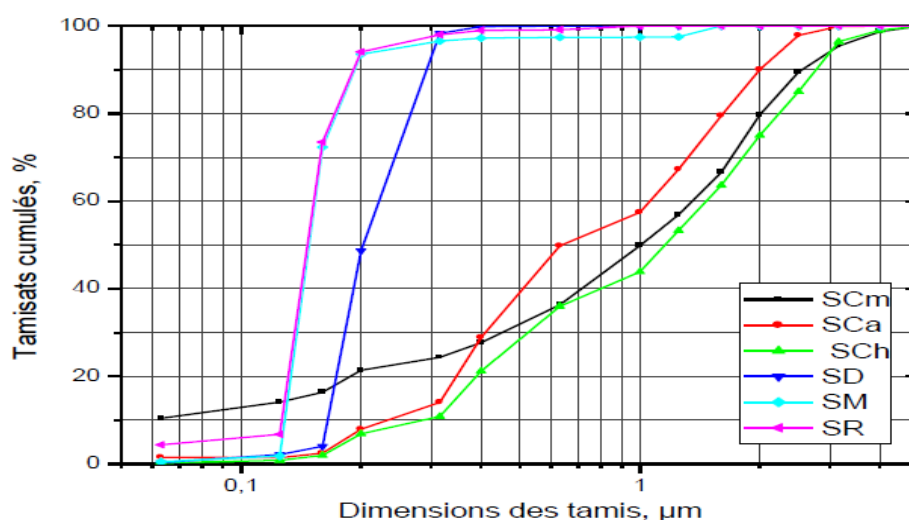
Tableau II.10 La composition minéralogique en % des différents sables étudiés

	CaCO₃ (Calcite)	CaMg(CO₃)₂ (Dolomite)	SiO₂ (Quartz)	NaAlSi₃O₈ (Albite)	KAlSi₃O₈ (Microcline)	CO₂ XRD
SCm	47.82	48.78	2.84	0	0.56	44.31
SCa	61.78	33.04	3.61	0	1.57	42.93
SCh	84.63	9.97	2.97	0	2.44	41.97
SD	2.01	0.92	91.91	0.27	4.88	1.33
SM	32.97	2.44	54.69	5.44	4.46	15.66
SR	2.55	0.62	93.89	0.13	2.81	1.42

Les courbes granulométriques des différents types de sables utilisés sont représentées dans la figure (II.6). Les indices granulométriques obtenus par l'analyse granulométrique des sables selon la norme EN 933-1 sont regroupés dans le tableau (II.11).

Tableau II.11 Les indices granulométriques des différents sables examinés.

	SCm	SCa	SCh	SD	SM	SR
Mf	2.77	2.68	3.13	0.98	0.16	0.10
Fines	Riche	Riche	Optimum	Trop riche	Trop riche	Trop riche
Ouvrabilité	Bonne	Bonne	Normale	Élevée	Élevée	Élevée
Cu	21.43	4.39	5.17	1.35	1.20	1.20
Courbe	Étalée	Étalée	Étalée	Uniforme	Uniforme	Uniforme
Cc	2.48	0.72	0.64	0.92	1.07	1.07
Allure	Bien graduée	Mal graduée	Mal graduée	Mal graduée	Mal graduée	Mal graduée

**Figure II.6** : Courbes granulométriques des 6 sables étudiés

B-2/ Masse volumique des sables :

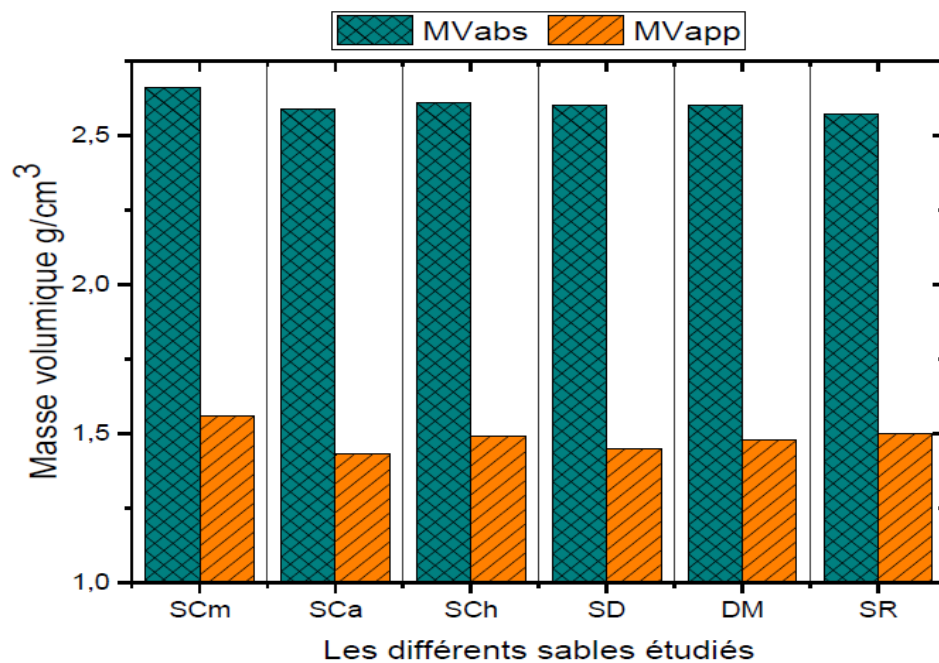


Figure II.7 : Masses volumiques des sables utilisés.

B-3/ Equivalent de sable :

Les résultats obtenus des équivalents sable « ES » selon la norme **NF P 18-597** sont rapportés dans la figure II.8. Selon cette représentation nous constatons que les sables SCa, SCh et SD contiennent une grande quantité d'éléments fins ($< 80\mu\text{m}$) comparés aux grains de dimensions plus grandes. Les sables SCm, SR et DM, leurs ES montrent qu'ils sont propres.

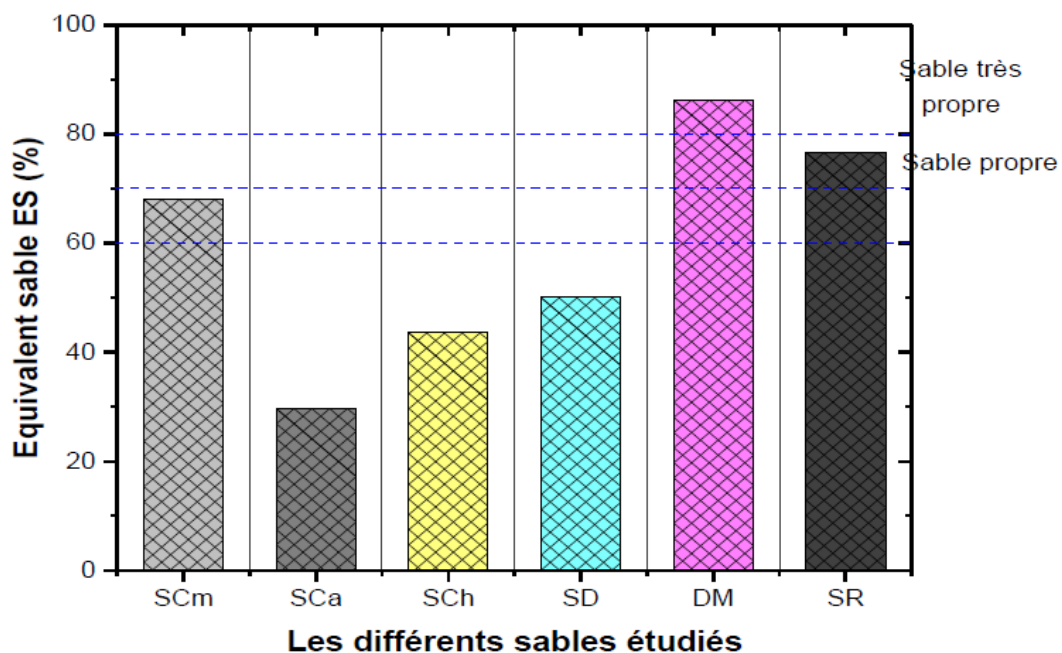


Figure II.8 :Equivalent de sable des différents sables utilisés

C/ Adjuvant :

On a utilisé Sika Viscocrete TEMPO 12 qui est un adjuvant super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère poly-carboxylate-polyacrylate.

Tableau II.12: Caractéristiques physico-chimiques du Sika Viscocrete TEMPO 12

Aspect	Couleur	PH	Densité	Teneur en chlore	Extrait sec
Liquide	Brun clair	4,5 à 6,5	1,06 ± 0,01	≤ 0,1%	28,0 à 31,0%

II.6. Formulation Des Mortiers Auto-plaçant :

L'essai d'étalement au mini-cône selon la norme **NF EN 12350-2** permet de mesurer la mobilité du mortier auto-plaçant en l'absence d'obstacles : nous avons procédé à des corrections sur la formulation de chaque sable pour obtenir l'étalement souhaité (240 à 260 mm). Afin d'ajuster les compositions, nous avons augmenté la quantité de super plastifiant ainsi que le dosage en eau et nous avons mesuré l'évolution de l'étalement au mini-cône. Le tableau (II.13) présente les formulations des différents mortiers étudiés.

Tableau II.13 : Formulations des différents mortiers après ajustement de la maniabilité

	SCm	SCa	SCh	SD	SM	SR
ciment (g)	300	300	300	300	300	300
sable (g)	600	600	600	600	600	600
E/C	0.45	0.45	0.45	0.50	0.50	0.50
Adjuvant (%)	1.7	2	1.7	4.9	3.9	2.6

II.7. Conclusion :

Dans cette partie nous avons présenté deux études de chercheur dans ce domaine de MAP .

1^{er} étude :

Sous le titre <<Effet De La Nature Du Sable Et De La Température De Mûrissement Sur Les Propriétés D'un Mortier Auto Plaçant >> le chercheur a étudié les caractéristiques des matériaux utiliser comme le ciment CPJ-CEM II 42,5N provenant de la cimenterie LAFARGE à M'sila et filler de calcaire (FC) , et adjuvent de type super plastifiant haut réducteur d'eau sous le nom industriel

GRANITEX MEDAFLOW30 ,et ainsi que l'influence de différent type de sable (SA , SC,SD) dans la région de Djelfa .

La composition préparé par la méthode d'OKAMORA pour obtenir la formulation du mortier étudié, Ensuite, le chercheur a étudié l'influence du traitement thermique a ($50\pm 1^{\circ}\text{C}$) sur les propriétés d'un MAP a l'état de durcissement (propriétés mécaniques) .

2^{eme} étude :

Sous le titre << Effet Des Différents Sables Proches De La Région De Mascara Dans La Fabrication Des Mortiers Autoplaçants >> le chercheur a étudié l'influence des mélanges entre 6 types des sables (SCm , SD , SCh , SM ,SR ,SCa) étudiés sur le comportement d'un MAP, il a présenter les caractéristiques des matériaux utilisés comme le ciment CPJ CEM II –B/42.5 , fabriqué par la cimenterie Lafarge ,un adjuvant SikaViscocrete TEMPO 12 qui est un adjuvant super plastifiant/haut réducteur d'eau.

La composition préparé par les formulations des différents mortiers étudiés après ajustement de la maniabilité, ont été soumis a des essais physiques et mécaniques sur les MAP à l'état frais et état durci.

Chapitre III :

Résultats D'essais

III.1. Introduction :

Ce chapitre, présente les résultats des d'études présentées dans chapitre II, ainsi que les différents essais expérimentaux.

Dans cette partie on va passer en revue quelques études menées par des chercheurs sur les mortiers auto-plaquant et comparer leurs résultats de recherches.

Etude N° 1 :

III.2. Résultats expérimentaux et analyse :

III.2.1. Propriétés des mortiers à l'état frais :

Dans les figures (III.1 et III.2), l'ouvrabilité et la viscosité de tous les mortiers C2 à C11 ne respectent pas les spécifications **d'EFNARC 2005** (étalement entre 24 et 26 cm et temps d'écoulement entre (7 et 11s). Ainsi en constate que toutes les compositions présentes un étalement et une vitesse d'écoulement inférieure à celle de témoin C1, c'est-à-dire la substitution de sable alluvionnaire SA par des sables concassé SC et sable de Dune SD diminue l'ouvrabilité et l'écoulement de MAP quel que soit le pourcentage de remplacement.

En remarque aussi sur les figures (III.1 et III.2), que la présence de SD en quantités importantes (plus de 20%) conduite à une perte aiguë de l'ouvrabilité (des pertes entre 40 à 60%). Elle est due à la finesse et à la capacité d'absorption d'eau de SD qui cause la réduction de l'eau dans la matrice cimentaire, du fait qu'un film d'eau très mince est créé sur les grains de SD avec une forte adhérence ce qui augmente probablement la cohésion entre les grains et pourrait rendre l'écoulement de mortier difficile. À cet effet, les mortiers composés avec une grande quantité de SD nécessitent une quantité importante en Super Plastifiant et/ou une quantité supplémentaire d'eau pour lubrifier les grains de SD et pour améliorer l'ouvrabilité et l'écoulement.

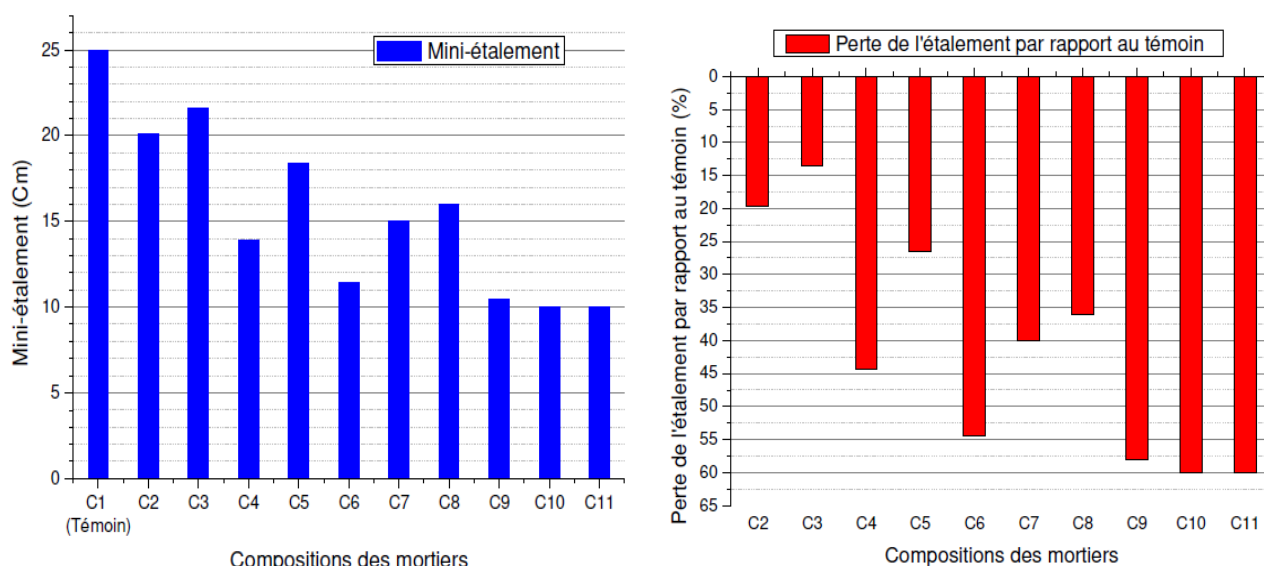


Figure III.1 : Variation de l'étalement au mini cône des mortiers MAP

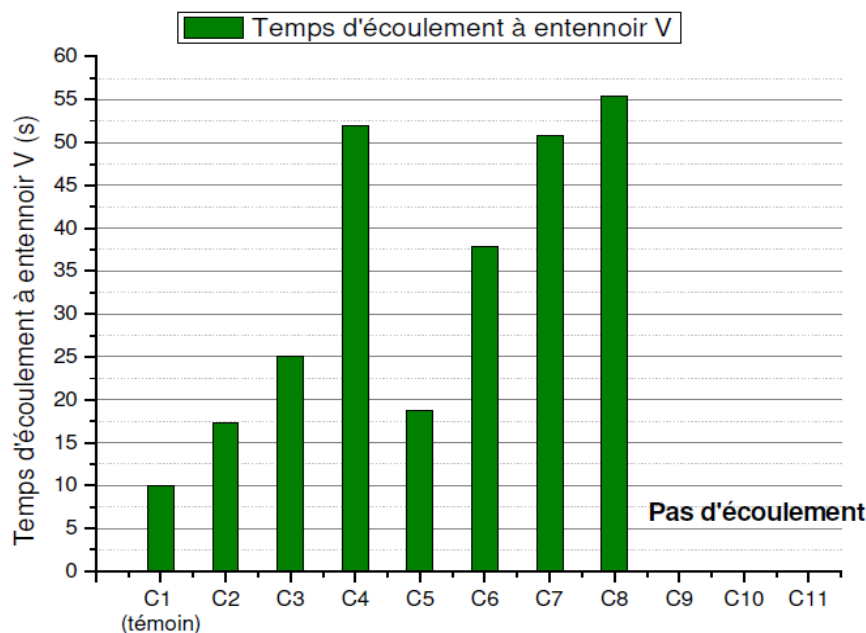


Figure III.2 : Variation de l'écoulement (la viscosité) au mini-entonnoir V des Mortiers MAP en fonction des compositions

D'autre part, la substitution par SC cause une perte de l'ouvrabilité et de l'écoulement mais moins que SD. La perte de l'ouvrabilité et la perte de l'écoulement sont dues à la forte absorption d'eau et à la forme géométrique angulaire des grains de SC. L'absorption élevée d'eau de SC cause la perte d'étalement et la perte de la viscosité de MAP du fait que les grains de SC absorbent une quantité d'eau de gâchage et par conséquent elle diminue la quantité d'eau nécessaire au mouillage de la matrice. La forme angulaire de SC provoque un frottement entre les grains et augmente les vides entre particules ce qui influe sur la vitesse de l'écoulement et la viscosité du mortier. À cet effet, les MAP avec une grande quantité de SC nécessitent une grande quantité de filler pour remplir les vides et pour minimiser le frottement de SC et ont également besoin d'un dosage supplémentaire en Super Plastifiant pour lubrifier les grains de SC et fluidifier le mélange.

Finalement, d'après les figures (III.1 et III.2) le mortier C3 composé de 20% SC et 10% SD présente un étalement de 21.6cm d'où ce mortier est le plus proche à un MAP que les autres, c'est-à-dire il nécessite une petite correction de la quantité d'eau de gâchage et du super-plastifiant SP pour être un MAP.

III.2.2. Propriétés des mortiers à l'état durci :

III.2.2.1. Cas de la conservation sous l'eau :

A / Variation de la résistance à la compression R_c :

La figure (III.3) présente l'évolution de la résistance R_c à 7j / 14j et 28 jours en fonction des compositions (mélange de sable). À 7 jours toutes les compositions présentent des résistances R_c comprises entre (22 MPa et 42 MPa), entre (25 MPa et 45 MPa) à 14 jours et entre (32 MPa et 45 MPa) à 28 jours. Selon la figure (III.3) on remarque que la résistance R_c est proportionnelle à l'âge. Cela est expliqué par les réactions de l'hydratation de ciment au cours du temps. La composition C6 qui contient 20% de SC et 20% de SD présente des bonnes résistances à 7j / 14j et 28 jours on comparant

à celle du témoin, c'est-à-dire la substitution de 40% SA par partie équivalente de SC et SD peut améliorer la résistance à la compression des mortiers (il faut noter que cette composition ne respecte pas le critère de l'ouvrabilité d'un MAP).

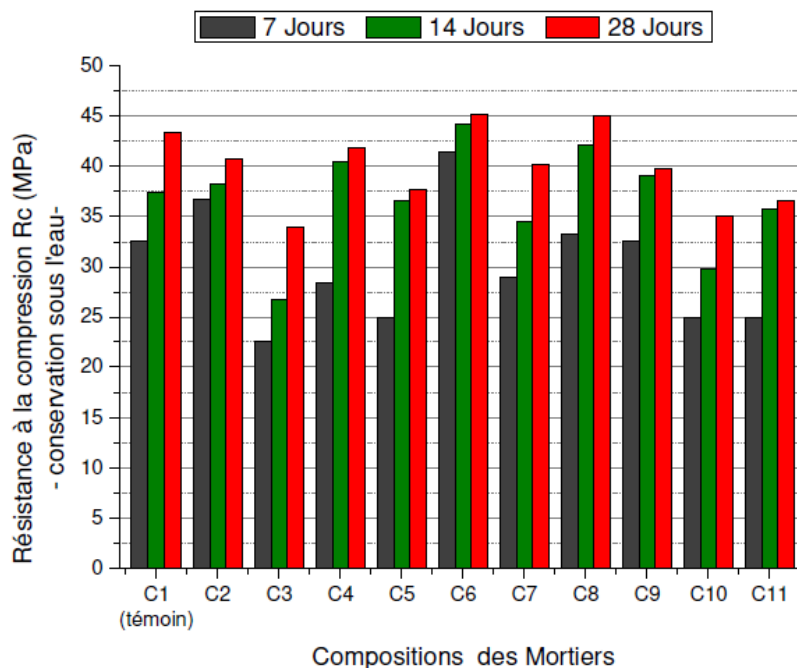


Figure III.3 : Variation de la résistance à la compression Rc des MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau

En remarque sur la figures(III.3) que plus la quantité de SC est élevée plus la résistance est améliorée, cela est peut-être lié, d'une part, à la participation des fillers calcaire de SC au remplissage des vides entre les grains, et d'autre part à la forme angulaire de SC qui améliore l'enchevêtrement des grains ce qui améliore la résistance Rc.

Au contraire de SC, plus la quantité de SD est importante plus la résistance Rc est diminué. Cette perte de résistance est due à la forme géométrique des grains SD et à la capacité d'absorption d'eau de ce dernier. Le SD absorbe un volume important d'eau de gâchage ce qui influe sur la quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment du fait que des grains de ciment restent anhydres ce qui amoindri la résistance à la compression. La forme sphérique arrondie et le diamètre uniforme des particules de SD causent une augmentation de la porosité ce qui diminue la cohésion et la résistance à la compression.

B/ Variation de la résistance à la traction Rt :

On constat sur la figure (III.4) que la résistance Rt s'évolue avec le temps et que toutes les compositions ont des résistances à la traction Rt comprises entre 2.5 MPa et 6.25 MPa à 7 j / 14 j et à 28 jours.

La meilleure résistance Rt est enregistrée à 28 jours pour la composition témoin C1. On remarque aussi que quel que soit le taux de substitution de SA la résistance Rt est toujours diminué. La plus basse perte est remarquée pour la composition C2 qui contient 10% SC et 10% SD d'où les pertes par rapport au témoin sont 2.05% à 7 jours, 0.63% à 14 jours et 10.5% à 28 jours. Contrairement à la substitution de 50% du sable SA par sable SC et SD qui donne les plus mauvaises résistances Rt.

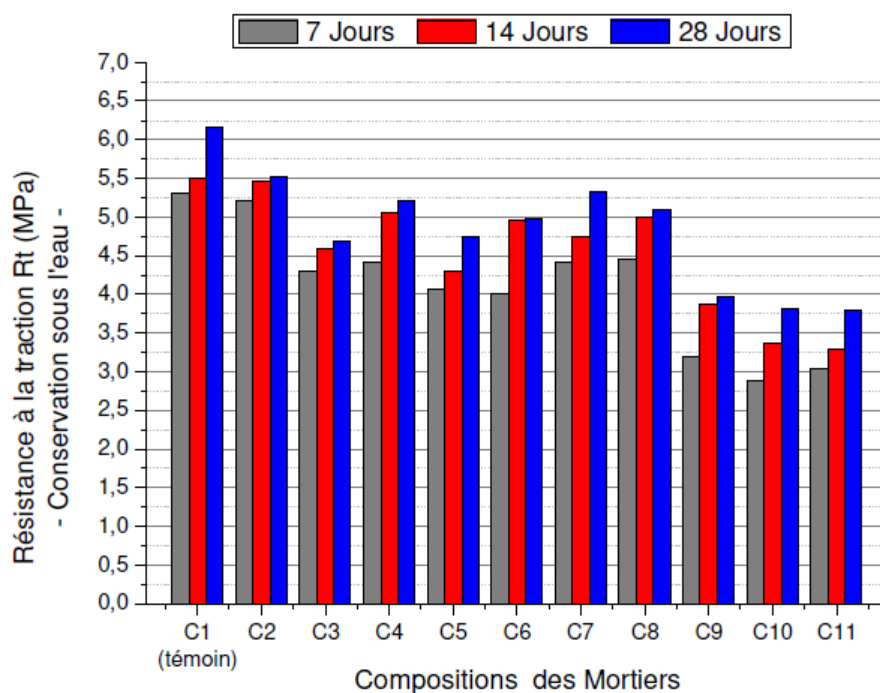


Figure III.4 : Variation de la résistance à la traction R_t des mortiers MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau

Aussi bien, la plupart des mortiers atteint 80% de leurs résistances à 7 jours c'est-à-dire la nature des sables influe légèrement sur la cinétique d'hydratation de ciment mais ils ont un effet négatif sur la valeur finale de résistance.

III.2.2.2. Cas de conservation sous l'eau après un traitement thermique à 50°C:

A/ Variation de la résistance à la compression R_c :

La figure (III.5) représente l'évolution de la résistance R_c à 7j / 14j et 28 jours en fonction du contenu en sable. D'après la figure on remarque que la résistance R_c augmente avec le temps ; cela expliqué par l'hydratation des minéraux de ciment au cours du temps. La composition C6 qui contient 20% de SC et 20% de SD présente des bonnes résistances à 7j / 14j et 28 jours par rapport au témoin. En revanche, le taux de développement de la résistance entre 7 et 14 jours varie de 0.26 % à 8.75% et de 1.08% à 18.70% entre 14 et 28 jours ce qui signifie qu'il y a une accélération de durcissement à jeune âge sous l'effet de la température. On observe aussi une amélioration de la résistance dans le cas de C2 et C6, et presque des résistances identiques pour C8 et C9. Le facteur commun entre C6, C8, et C9 est la quantité importante de SC : 20%, 40% et 30% respectivement on peut conclure que l'échauffement initial au jeune âge à 50°C a un effet favorable sur la résistance R_c en présence de SC qui contient un volume élevé de filler. Ce dernier a participé à l'augmentation de la cohésion entre les grains sous l'effet de la température.

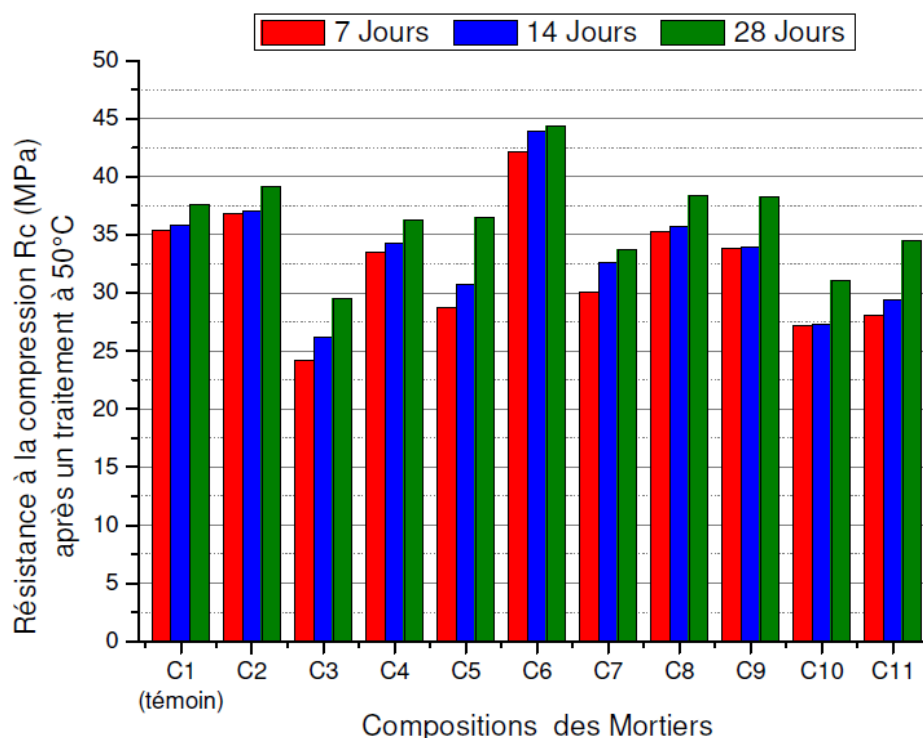


Figure III.5 : Variation de la résistance à la compression R_c des MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau après un traitement à 50°C

Sur les autres compositions on a une décroissement de la résistance malgré la présence d'une certaine quantité de SC avec SD, cela peut être due à l'augmentation de volume des pores après l'échauffement à 50°C, ou bien sous l'effet de la présence des microfissurations causé par la forte évaporation d'eau dans l'étuve de séchage. La perte de l'adhérence entre les grains de SD et la pâte de ciment peut aussi diminuer la résistance de mortier.

Ce phénomène est dû à l'accélération de durcissement par séchage précoce à 50°C dans le premier jour.

B/ Variation de la résistance à la traction R_t :

On remarque sur la figure (III.6) le développement de la résistance R_t avec le temps et que toutes les compositions ayant des résistances à la traction R_t comprises entre 2.5 MPa et 6 MPa à 7j / 14 j et à 28 jours. Les compositions C1, C2 et C8 ont donné les meilleures résistances R_t comprises entre 5 et 5.75MPa. et dans cette période la résistance R_t 7j est plus de 92% de la résistance à 14 jours due au traitement à 50°C et à l'accélération du processus d'hydratation de ciment ce qui augmente la résistance à jeune âge et ça surtout dans le cas où on a besoin un décoffrage rapide.

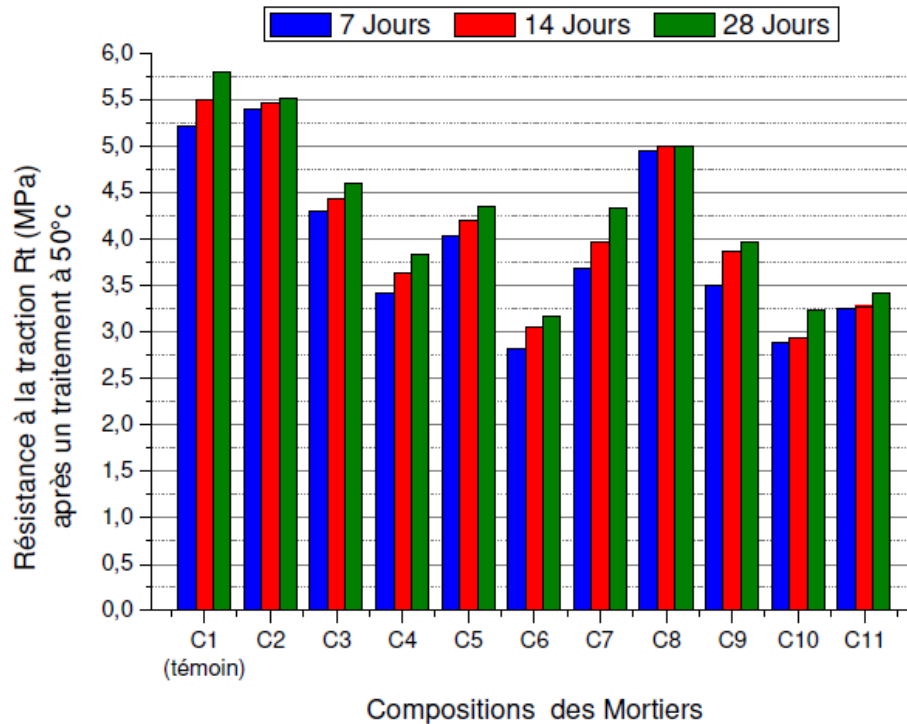


Figure III.6 : Variation de la résistance à la traction R_t des mortiers MAP en fonction des compositions -cas de conservation sous l'eau après traitement à 50°C

III.3. Conclusion :

Les conclusions qu'on peut tirer de ce travail sont les suivantes :

- la présence de SD en quantités importantes (plus de 20%) conduit à une perte aigue de l'ouvrabilité (pertes de 40 à 60%), dû à la finesse et à la capacité d'absorption d'eau de SD
- l'utilisation de SC cause une perte de l'ouvrabilité et de l'écoulement mais moins que SD.
- Le mortier composé de 20% SC et 10% SD présente un étalement proche à un MAP (21.6cm) nécessite une petite correction sur la quantité d'eau et SP pour être un bon MAP
- Plus la quantité de SC est élevée dans le MAP plus la résistance est bonne,
- L'utilisation de SC et SD rendre le mortier un peu rigide et moins déformable on comparant au celui du SA.
- Les sables SC et SD influent légèrement sur la cinétique d'hydratation de ciment mais ils ont une grande influence sur la valeur finale de la résistance.
- On peut estimer que l'échauffement initial au jeune âge à 50°C joue un rôle important dans l'augmentation de la résistance R_c et R_t en présence de SC qui contient un volume élevé de filler.
- La plupart des mortiers atteignent des bonnes résistances R_c et R_t à 7 jours qui représente plus de 80% de la résistance à 28 jours. Ce phénomène est dû à l'accélération de durcissement par séchage précoce à 50°C dans le premier jour.

Etude N° 2:

III.4. Résultats expérimentaux et analyse :**III.4.1. Propriétés des mortiers à l'état frais :**

Quant à l'essai d'écoulement au V-Funnell il consiste à mesurer le temps d'écoulement d'un mortier autoplaçant pour caractériser sa fluidité dans les milieux confinés. La figure (III.7) suivante donne les valeurs de temps d'écoulement au V-Funnell des différents mortiers utilisés. Nous pouvons aisément constater que les mortiers autoplaçants composés de sables roulés (SD, SM et SR) ont des propriétés d'ouvrabilité au V-Funnell plus intéressantes que les mortiers autoplaçants composé de sables concassés (SCm , SCa , SCh).

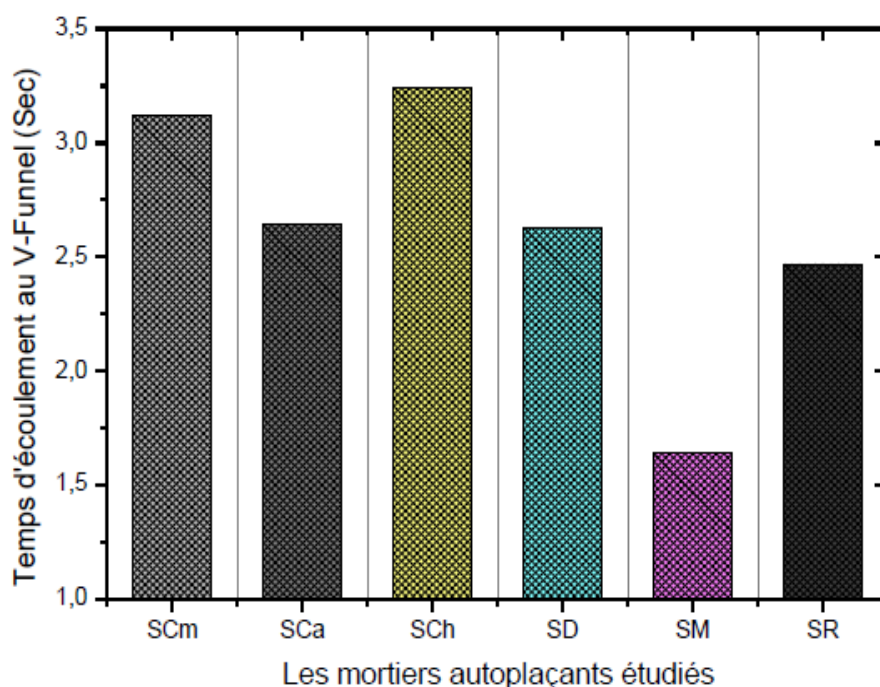


Figure III.7 : Les valeurs de temps d'écoulement au V-Funnel

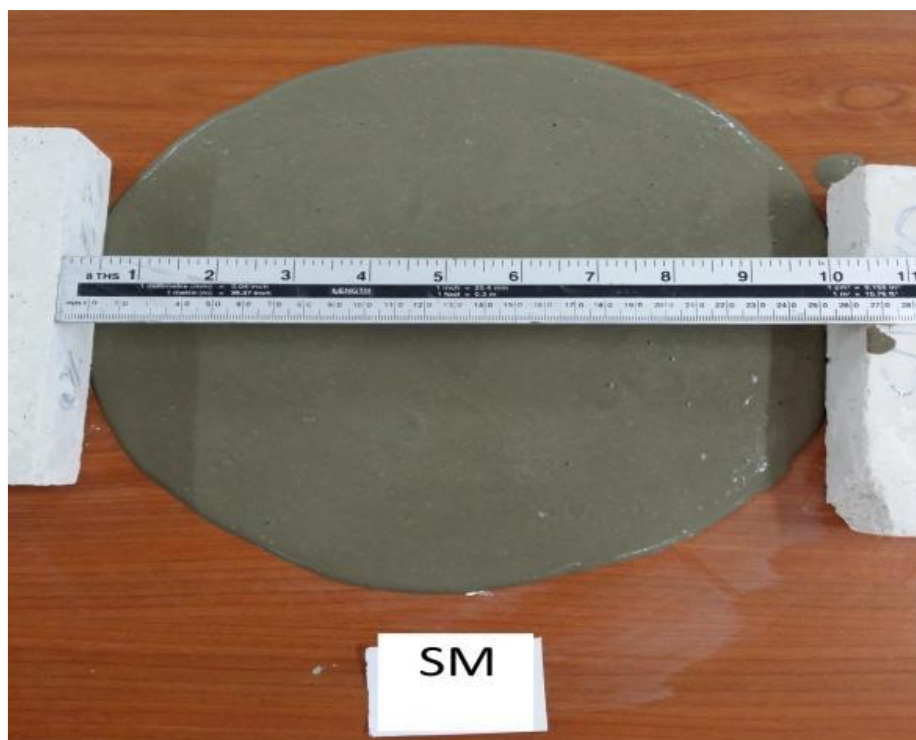


Figure III.8 :Étalement du mortier auto plaçant à base de sable de mer
(E/C = 0.45 et % Adjuvant = 4.9%)

- **Commentaire :** Sable de mer donne l'étalement souhaité environ 26.5 cm à partir de (E/C = 0.45 et % Adjuvant = 4.9%).

III.4.2. Essai des résistances mécaniques :

L'essai de compression a été effectué selon la norme **ASTMC 109-13**. Des échantillons cubiques de mortier ($50 \times 50 \times 50$) mm³ avec les différents sables étudiés ont été préparés en utilisant les formulations du tableau (II.13). Les échantillons sont remplis dans les moules sans compactage ni vibration. Une fois arasés, les moules ont été recouverts de films plastiques et stockés dans un environnement du laboratoire, à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ avec une humidité relative supérieure à 90%. Au bout de 24 heures, le démoulage a été effectué et les échantillons ont été stockés dans de l'eau saturée de chaux jusqu'à l'échéance d'écrasement.

Les résistances à la compression de trois échantillons de MAP ont été déterminées à 3j /7j /28 j et 56 jours et la moyenne des trois valeurs a été calculée et enregistrée.

III.5. Analyse et interprétation des résultats :

III.5.1. La résistance à la compression selon la norme EN 196-1 :

Les résultats d'essai de la résistance à la compression pour les éprouvettes confectionnées avec les différents types de sables sont représentés sur la figure (III.9).

D'après la figure (III.9), on remarque que, pour tous les mortiers la résistance à la compression augmente progressivement avec l'âge de conservation dans l'eau. Ceci peut s'expliquer par le développement du phénomène d'hydratation du ciment dans les mortiers en fonction du temps en présence d'humidité suffisante. On constate d'après ces résultats que la vitesse d'évolution des résistances en compression, des mortiers à base des sables de carrières (SCm, SCa, SCh) se développe rapidement.

Par contre celle des mortiers à base de sables SD, SM et SR, se développe lentement. Les augmentations de résistances obtenues pour les mortiers à base de sables de carrières semblent être directement liés aux propriétés particulières des sables et en particulier leur granulométrie continue et étalée et surtout leur Dmax (égal à 5 mm), qui améliore la compacité des mortiers (empilement granulaire) et par la suite la résistance. Nous notons de fortes résistances à la compression pour le mortier SCm à base du sable de calcaire de la carrière de Mezoughi. Ces résultats confirment le rôle du sable concassé dans le comportement mécanique des mortiers.

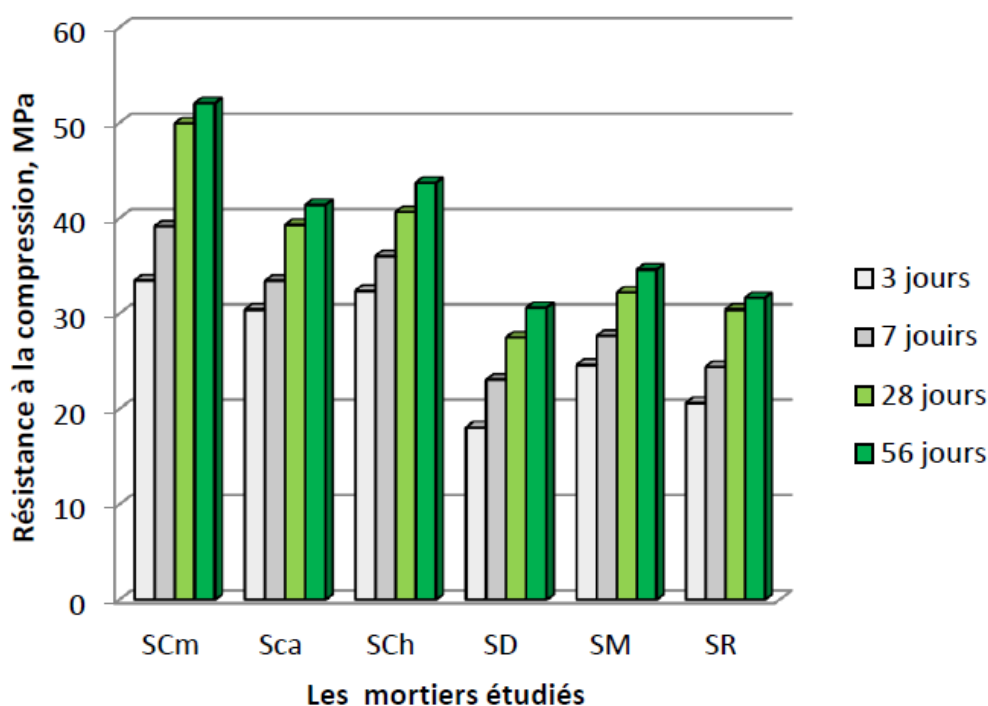


Figure III.9 : Résistance à la compression des mortiers autoplaçants en fonction du temps de conservation

A titre comparatif, à l'échéance 56 jours, la résistance à la compression du mortier autoplaçant confectionné avec le sable de carrière de Mezoughi est de 41, 34 Mpa elle est supérieure de 39% par rapport aux mortiers SD, SM et SR respectivement.

III.5.2. La résistance à la flexion selon la norme EN 196-1 :

Le développement de la résistance à la flexion, en fonction de l'âge, pour les différents types de mortiers conservés dans l'eau à 20 °C est donné par la figure (III.10). On constate d'après ces graphes que, quel que soit le type du mortier, la résistance à la flexion évolue positivement avec l'âge. On observe aussi que les mortiers des sables de carrière ont des résistances à la flexion supérieures à celles

des mortiers de sable de dune et d'oued, quel que soit l'âge d'essai. Ceci est dû à l'enchevêtrement des grains des sables concassés résultant d'une abondance de grains de forme concassée angulaire.

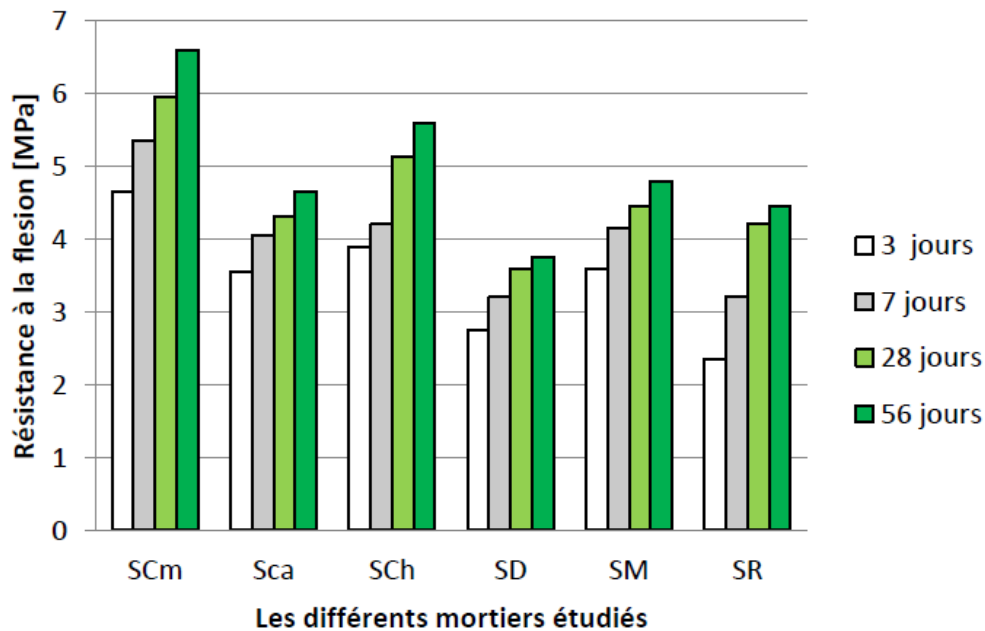


Figure III.10 : Résistance à la flexion des mortiers autoplaçants en fonction du temps de conservation

III.5.3. Mesure des vitesses ultrasoniques :

La méthode de la vitesse d'impulsion ultrasonique peut être utilisée pour la détermination de l'homogénéité du béton, de la présence de fissures ou de vides, les changements de propriétés dans le temps et pour la détermination des caractéristiques physiques et dynamiques. Les vitesses ultrasonores sur les différentes formulations de mortiers ont été mesurées par la méthode de transmission, en disposant deux transducteurs (émetteur et récepteur) de part et d'autre des éprouvette prismatiques ($4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$) pour mesurer le temps que l'onde met pour la traverser figure (III.11) , La figure (III.12) montrent que la vitesse de propagation des ultrasons est, généralement, plus grande pour les éprouvettes de mortiers à base de sables de carrières, et diminue pour les autres types de sables. Cela s'explique par le bon empilement granulaire des granulats concassés obtenu pour les mortiers de sables concassés, à cause de la forme des granulats.



Figure III.11 : Mesure de la vitesse ultra-sonique

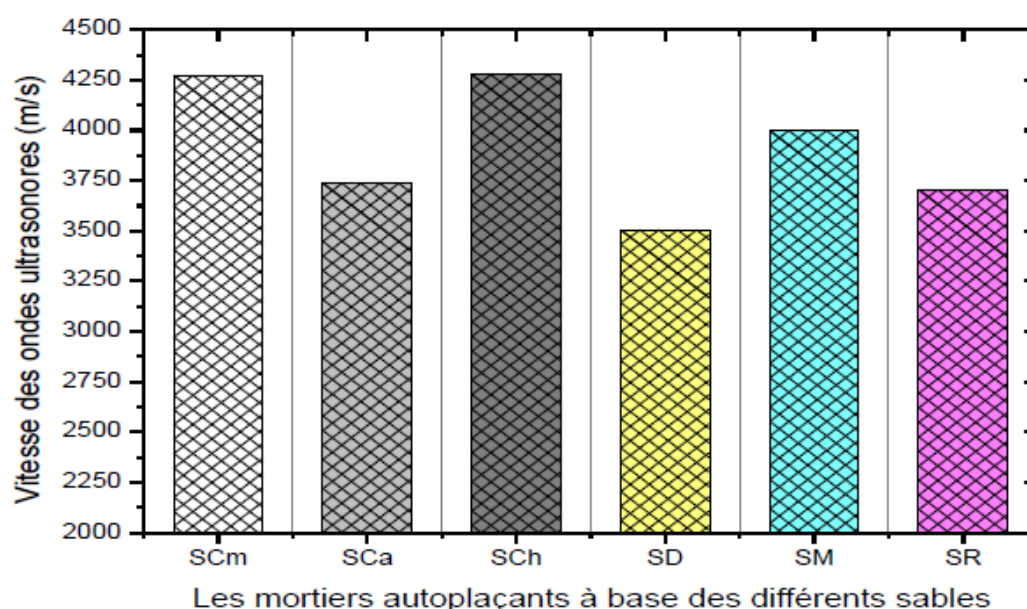


Figure III.12 : Mesures de la vitesse des ondes longitudinales des mortiers à 56 jours

III.5.4. Essai d'absorption :

Les mesures d'absorption d'eau des mortiers, de dimension $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$, ont été effectuées en respectant la norme **NF EN 13057-02**, qui précise que les échantillons doivent reposer sur un dispositif permettant à l'eau d'accéder librement à l'ensemble de leur surface inférieure et que le niveau d'eau doit être maintenu pendant tout l'essai entre 2 et 4 mm au-dessus de la base de l'échantillon. L'absorption d'eau par unité de surface doit être calculée à chaque incrément de temps, à partir du poids de l'eau absorbé (kg) divisé par la surface de la face d'essai (m^2). La figure (III.13) montre l'absorption capillaire des différents mortiers étudiés à l'échéance 56 jours.

On constate que les mortiers composés de sable roulé SD ou le sable concassé SCa ont une grande absorption capillaire, représentant le double par rapport au sable SCh, et ceci a donc un effet très négatif sur la résistance des mortiers à l'infiltration de l'eau par capillarité. Par contre les sables concassés SCh et SCm ont une faible capacité d'absorption, la forme concassée de ces granulats permet

d'avoir un empilement granulaire parfait, ce qui réduit la porosité du squelette granulaire et empêche la remontée d'eau par capillarité.

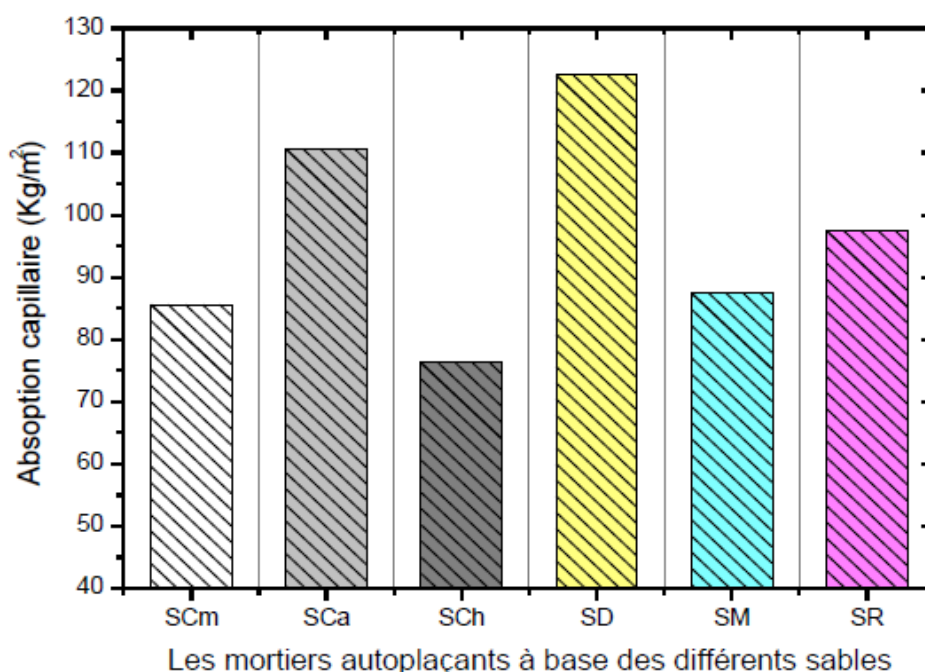


Figure III.13 : Influence du type de sable sur l'absorption capillaire des différents mortiers étudiés

III.5.5. Etude de la conductivité thermique :

La figure III.15 montre l'évolution de la conductivité thermique des différents mortiers étudiés, de dimensions (4x4x16 cm³), en fonction du temps. On remarque que, quel que soit le type de sable, la conductivité thermique évolue positivement avec l'âge. En effet, l'hydratation du ciment permet la formation des composés (C-S-H, portlandite) qui permettent un renforcement des liaisons entre constituants (pâte et sable) et favorisent donc une diminution de la porosité (soit en quantité soit en taille), cela a pour conséquence de créer une structure interne continue et homogène. Cette structure va donc être favorable au transfert de la chaleur. C'est les mortiers concassés SCa et SCh qui ont les conductivités thermiques les plus faibles. Les mortiers étant réalisés dans les mêmes conditions et les mesures de conductivité effectuées en régime stationnaire, la variation des mesures de la conductivité pourrait être liée à une variation de la porosité des matériaux, à la composition intrinsèque de chaque sable utilisé et à la cohésion du sable avec la pâte au niveau de la zone de transition interfaciale. La baisse de la conductivité thermique pourrait être liée à l'augmentation de la quantité de pores ou à la composition minéralogique des sables.



Figure III.14 : Conductivimètre

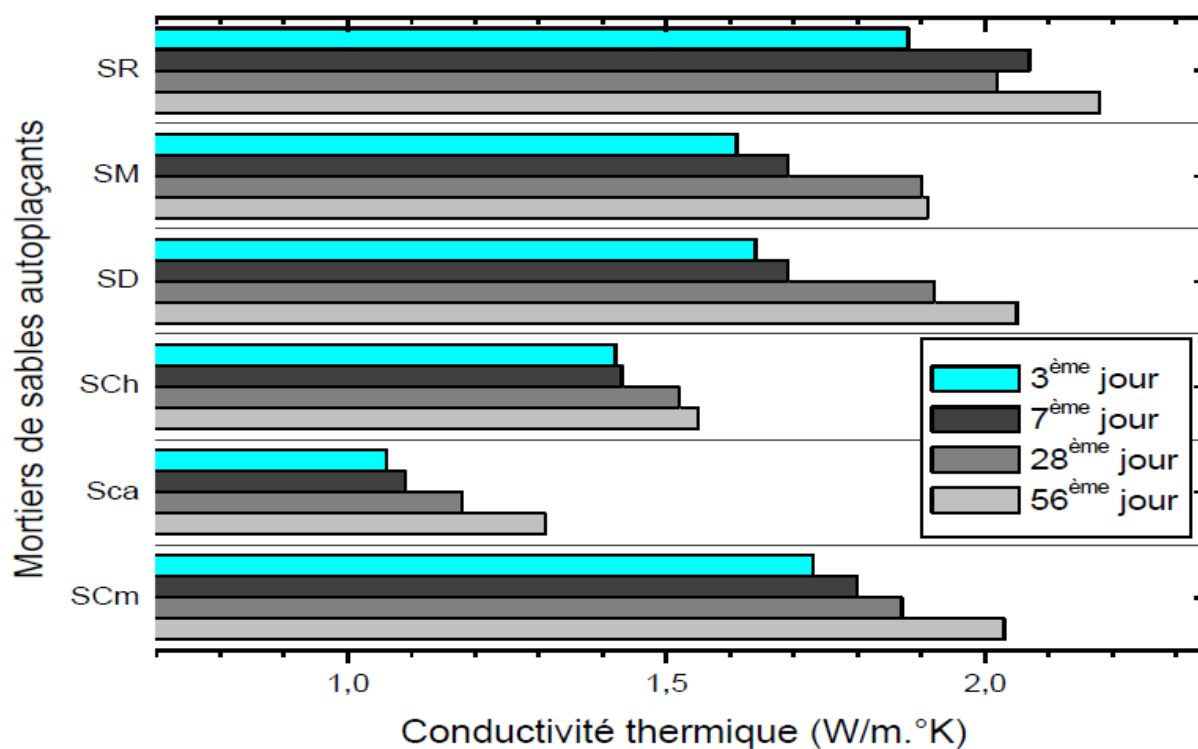


Figure III.15 : Evolution de la conductivité thermique des différents mortiers étudiés

III.6 . Conclusion :

Les résultats obtenus dans cette étude qui a consisté en l'élaboration de mortiers autoplaçants avec 6 différents sables peuvent être résumés comme suit :

- Les performances mécaniques (compression et flexion) des mortiers à base des sables de carrières (SCm, SCa, SCh) sont plus élevées que les mortiers à base de sables naturels (SD, SM et SR). C'est le sable SCm qui a les meilleures performances mécaniques.
- Les mesures des vitesses ultrasoniques montrent que les vitesses de propagation des ultrasons sont plus élevées pour les éprouvettes de mortiers à base de sables de carrières par rapport aux autres types de sables naturels.
- Les sables concassés SCh et SCm ont une faible capacité d'absorption, ce qui réduit la porosité du squelette granulaire et empêche la remontée d'eau par capillarité. C'est le sable SCh qui a la plus faible capacité d'absorption.
- C'est les mortiers concassés SCa et SCh qui ont les conductivités thermiques les plus faibles par rapport les autres types des sables . C'est le SCa qui a la conductivité la plus faible.

Nous pouvons donc affirmer d'une façon générale que les sables concassés SCm, SCa et SCh donnent les meilleurs comportement mécanique et de durabilité a l'état durci, Parmi ces sables concassés c'est le **SCm** qui est le meilleur vis à vis des caractéristiques étudiées, mais par contre le sable de mer **SM** donne une exigences rhéologiques (bonne ouvrabilité d'écoulement).

Chapitre IV :

Conclusion

Conclusion

I/ Pour les deux études présentées dans ce travail de recherche Les essais de caractérisations, les essais sur mortiers frais et les essais sur mortiers durcis, nous avons rassemblé les remarques suivantes :

1- Les essais à l'état frais :

Pour la 1^{er} étude : Les résultats obtenus montrent l'effet négatif de SC et SD sur l'ouvrabilité et l'écoulement du MAP vue ça capacités élevées d'absorption d'eau et la forme géométrique de ses grains.

- La substitution de SA par SC et SD influe négativement sur l'écoulement de MAP quel que soit le pourcentage de sable remplacé (SC et SD), mais la substitution par SC cause une perte de l'ouvrabilité et de l'écoulement mais moins que SD.
- Elle est due à la finesse et à la capacité d'absorption d'eau de SD qui cause la réduction de l'eau dans la matrice cimentaire alors nécessitent une quantité importante en Super Plastifiant ou une quantité supplémentaire d'eau
- le mortier C3 composé de 20% SC et 10% SD présente un étalement de 21.6cm d'où ce mortier est le plus proche à une C1 (témoin) que les autres, c'est-à-dire il nécessite une petite correction de la quantité d'eau et Super Plastifiant pour d'être un MAP.

Pour 2^{eme} étude : Dans l'essai de mini entonnoir en V, Nous pouvons aisément constater que les mortiers auto-plaçant composés de sables roulés (SD, SM et SR) ont des propriétés d'écoulement au mini entonnoir en V plus intéressantes que les mortiers auto-plaçant composé de sables concassés (SCm , SCa , SCh).

- Sable de mer SM donne l'étalement souhaité et donne le meilleur résultat d'écoulement en mini entonnoir en V à partir de (E/C = 0.45 et un pourcentage d'Adjuvant égale a 4.9%).

Par comparaison entre les deux études en remarque que le sable naturel (SA et SM) Contribue à une bonne ouvrabilité et a un bon écoulement du MAP.

2- Les essais à l'état durci :

- **Pour 1^{er} étude :** La résistance Rc est proportionnelle à l'âge, Cela s'explique par les réactions de l'hydratation de ciment au cours du temps
- La composition C6 qui contient 20% de SC et 20% de SD présente des bonnes résistances à 7j / 14j et 28 jours on comparant à celle du témoin
- Plus la quantité de SC est élevée plus la résistance est améliorée, la participation des fillers calcaire de SC au remplissage des vides entre les grains, et la forme angulaire de SC qui améliore l'enchevêtrement des grains ce qui améliore la résistance Rc.
- La forme sphérique arrondie et le diamètre uniforme des particules de SD causent une augmentation de la porosité ce qui diminue la cohésion et la résistance à la compression.

- La meilleure résistance R_t est enregistrée à 28 jours de la composition témoin C1. On remarque aussi que quel que soit le taux de substitution de SA la résistance R_t est toujours diminué
- On peut estimer que l'échauffement initial au jeune âge à 50°C joue un rôle important dans l'augmentation de la résistance R_c et R_t en présence de SC qui contient un volume élevé de filler.
- **Pour 2^{ème} étude :** Les performances mécaniques (compression et flexion) des mortiers à base des sables de carrières (SCm, SCa, SCh) sont plus élevées que celle des mortiers à base de sables naturels (SD, SM et SR). C'est le sable SCm qui a les meilleures performances mécaniques.
- La résistance à la compression à 56j du mortier auto-plaçant confectionné avec le sable de carrière de Mezoughi est de 41, 34 Mpa elle est supérieure de 39% par rapport aux mortiers SD, SM et SR respectivement
- Les sables concassés SCh et SCm ont une faible capacité d'absorption, ce qui réduit la porosité du squelette granulaire et empêche la remontée d'eau par capillarité. C'est le sable SCh qui a la plus faible capacité d'absorption.

Par comparaison entre les deux études on peut :affirmer d'une façon générale que les sables concassés SCm, SCa et SCh donnent les meilleurs comportements mécanique et de durabilité à l'état durci, Parmi ces sables concassés c'est le SCm qui est le meilleur vis à vis des caractéristiques étudiées

II/ Remarques :

Pour les deux études présentées dans ce travail de recherche le problème de ségrégation n'a pas été pris en compte, la ségrégation provoque un désordre très important surtout pour un E/L important.

Aussi, le problème de ressuage n'a pas été pris en compte, or c'est un paramètre très important, le ressuage produit des flaques d'eau au niveau de la surface libre du mortier auto-nivelant, après séchage et durcissement le mortier auto-nivelant présentera beaucoup de défauts au niveau de la surface libre, et ne sera plus un mortier auto-nivelant.

-Pour le MAP la fluidité, l'auto nivellement et la non ségrégation et ressuage sont plus importantes que la résistance, contrairement au BAP où la résistance est aussi importante.

Référence Bibliographique

- BENAICHA Mouhcine : Thème : (Formulation des différents bétons (BAP, BHP et BFUP) à haute teneur en additions minérales : Optimisation pour améliorer le coulage, la résistance au jeune âge et la durabilité des bétons) : THÈSE de DOCTORAT en cotutelle pour l'obtention du Doctorat de l'université d'Aix-Marseille (France) Et du Doctorat en Sciences et Techniques de l'Ingénieur (Maroc) Soutenue le 25 Novembre 2013
- Brandt, A.M. (1995): Cement-Based Composites – Materials, Mechanical Properties and Performance, Spon, London.
- HAIFI Mohamed Redha, « Formulation des bétons autoplaçants », thèse de Magistère de l'Université de Mentouri Constantine, 2011.
- ASSOCIATION FRANCAISE DE GENIE CIVIL, AFGC “ Recommandations pour l'emploi des Betons autoplaçants ”, Document scientifiques et techniques 2008.
- SEDRAN T, DE LARRARD F, “Manuel d'utilisation de RENE-LCPC, Logiciel d'optimisation granulaire ”, version 6.1d. LCPC, 2000.
- TURCRY PH, “Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants : Influence de la formulation”, Thèse de Doctorat, Ecole Centrale de Nantes, Février 2004.
- OKAMURA H. AND OUCHI M., “Self-compacting concrete. Development, present and future”, Proceedings of First International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 3-14, 13-15 September 1999.
- WALRAVEN, “Structural aspect of self-compacting concrete”, Proceedings of the third international RILEM conference on SCC, Reykjavik, Islande, pp 15-22, août 2003.
- Sandrine Bethmont « mécanisme de ségrégation dans les bétons autoplaçants » Thèse doctorat. Laboratoire central des ponts et chaussées.58Bd Lefbvre 75015 Paris. Soutenue le 15 décembre 2005.
- Association Française de génie civil, béton autoplaçant Recommandations provisoires document scientifique et technique, AFGC juillet 2000
- Okamura .H OZAWA .K «Self compactable high performance concrete in Japan », ACI international workshop on high performance concrete, Bangkok, Thailand, 1994
- HAYAKAWA .M, MATSUOKA .Y YOKOTA .K «Application of superworkable concrete in the construction of 70 _ Story building in Japan », ACI international symposium on advances in concrete technology, Las Vegas, 1995
- STEPHAN Assie «Durabilité des bétons autoplaçants » thèse de doctorat l'institut national des Sciences appliquées de Toulouse octobre 2004
- Lucas, J, Verres et optiques Bulletin de l'Union des Physiciens (BUP), 100, p. 581-598, 2006

- Hana Fares «propriétés mécaniques et physico –chimique des b&ton autoplaçants a une température élevée » thèse doctorat .Ecole doctorale science et ingénierie. Université de Cergy –partoise
- Assie .S, «Durabilité des bétons autoplaçant » thèse de doctorat de l'INSA de Toulouse,2002
- BOUALI .K : Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires mémoire de magister,Université M'hmed Bougara, Boumerdes, 2014
- EMILE O."les matériaux de construction". Édition : 3e (1973).
- Belhocin aida, Nagoudi nadjia .étude expérimentale d'un mortier avec les ajouts minéraux, mémoire de master en génie civil, université Kasdi Merbah, Ouargla. 2014.
- WILLIAM .D callister .JR «Science et génie des matériaux » Modolu Editeur, 2001
- AZZOUZ Hocine. Etude des bétons à base des sables de dune. Mémoire de magister. Spécialité : Génie civil -Option : Matériaux Soutenue le : 03/05/2009, université Mohamed Khider, Biskra Algérie.
- R.DUPAIN, R.LANCHON, J-C.SAINT-ARROMAN <<Granulat, sols, ciment et béton>> Edition CASTEILLA-PARIS-2004.
- Khelifa R., «L'impact des cimenteries sur l'environnement – Cas de la cimenterie de Ain-Touta», Mémoire de DEA en Aménagement, Développement et Environnement, Université d'Orléans, le 18 Septembre 2002.
- Pierre JAVELLE, Paul PONTEVILLE « Laitier de haut fourneau : propriétés et emplois » Dossier technique de l'ingénieur, élaboration et recyclage des métaux.
- MESSAOUD FARIH, „Influence des agents de viscosité sur les paramètres rhéologiques intrinsèques des mortiers des bétons autoplaçants“, construction““ Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, 2016.
- J. BARON ET J. OLLIVIER, les bétons bases et données pour leurs formulations, EYROLLES, 1999
- P. Billberg. Fine mortar rheology in mix design of scc. In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete. RILEM, 1999.
- Gibbs J.C and ZHU W., “Strength of hardened self-compacting concrete”, Proceedings of First Intenational RILEM Symposium on Self-Compacting (PRO 7), Stockholm, Suède, pp. 199-209, 13-15 septembre (1999).
- Kara-Ali R., influence des additions minérales sur le besoin en eau et les résistances mécaniques des mélanges cimentaires, Thèse de doctorat de l'université de Cergy-Pontoise, 2002.
- GC1712 « Durabilité ET réparation du béton » département génie civil, université de Sherbrooke _canada, avril 2009
- A. KOMAR, " Matériaux et éléments de construction ", Quatrième édition, Editions MIR. MOSCU.
- James T, Malachi A,Gadzama E W and Anametemfiok V 2011 Effect of curingmethodson the compressive strength of concrete. Nigerian J. Tech. 30(3) 14-20.

- Mr. GUELLIL Mustapha Khadir : FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LA METHODE DE LA PATE EN EXCES et soutenu le 2012
- M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI 1993 : Mix proportion for highly workable concrete. Conference Concrete 2000. Dundee. 7-9 September 1993.
- F. DE LARRARD, F. BOSC, C. CATHERINE & F. DE FLORENNE 1996 : La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances. Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées. N° 202, pp 61-69. Mars-Avril 1996
- Sedran T. (1999), « Rhéologie et rhéométrie des bétons : Application à la formulation des bétons autonivelants », Thèse de Doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, Mars.
- S. KUROIWA, Y. MATSUOKA, M. HAYAKAWA & T. SHINDOH 1993 : Application of super workable concrete to construction of a 20-story building. American Concrete Institute SP140 (High Performance Concrete in Severe Environments). Detroit, Michigan. pp 147-161. 1993.
- T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL & J. SAKAMOTO 1992 : Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete. Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 1992.
- Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M., "Self-compacting concrete." Structural Concrete, (1):3_17,March2000.
- Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April (2003).
- Khayat, K.H., Assaad, J., Daczko J., (2004). "Comparison of Field-oriented Test Methods to Assess Dynamic Stability of Self-Consolidated Concrete", ACI Materials Journal, V. 101, No. 2, March –April 2004, pp. 168-176.
- Hallal A., Ezziane K., Kadri A., 2011 : Fluidité des coulis de ciments composites avec additions minérales locaux en fonction des superplastifiants de granitex, Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION, N° : 10-148, UHBB Chlef, Algérie.
- AbdelHamid RMILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.
- Naamaoui née Haddadou Naima –Theme (Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre)- Thèse de Doctorat à UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES- Soutenue dans l'année 2015.
- Philippe Gautron, Technique de l'ingénieur, Valorisation et recyclage des déchets (A3830) 1993
- Dr. Bennama Tahar « Les bases de traitement des déchets solides » Polycopié de Cours (page : 3)

-Rushbrook, P., & Pugh, M. (1999). Solid waste landfills in middle and lower-income countries: a technical guide to planning, design, and operation. The World Bank.

-ADEME (2000a). Atlas des déchets en France 2ème édition (données et références). ADEME éditions, Paris, 27 pages

-[https://www.dictionnaire-environnement.com/dechet_agricole_ID1191.html-Consulte le 22/03/2020]

[https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/dechet_radioactif.php4 Consulte le 22/03/2020]

-Alain,D. (2006). Guide du traitement des déchets , Réglementation et choix des procédés 7e édition

-benakli.S.-Mémoire de Magistère « Caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction » université mouloud mammeri de tizi-ouzou

-<https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage> -Consulte le : 24/03/2020

-Rapport du TECHNOpor ; granulats de mousse de verre, Edition TECHNOpor, www.technopor.com, août 2009.

-Bernhard Ilschner; Christian Janot, Matériaux émergents, Éditeur: Lausanne Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2001.

-Source de l'image : Recyclage et valorisation du verre : www.idverre.net -Consulte le 15/04/2020

- Saadani Sabrina, "Comportement des bétons à base de granulats recyclés", Thèse de Magister, Université Mantouri Constantine.

- POOJA J.CHAVHAN ET AL INT, « Journal of Engineering Research and Applications: 2248-9622 », Vol. 4, Issue 4 (version 1), April 2014.

- **NA 442-2008**, Liants Hydrauliques-Ciments Courants, Composition, « Spécification et Critères de Conformité », IANOR, Alger (2008).

-**NF EN 933-1** Mai 2012 Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 1 : détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage

-**NF P18-597-1979** aggregates. Determination of cleanness for fine aggregates: sand equivalent with 10 per cent fines

-**NF EN 12350-2** Avril 2012 Essais pour béton frais - Partie 2 : essai d'affaissement

-**EFNARC** - The European guidelines for self-compacting concrete, Specification, Production and Use, 2005.

-**ASTM C 109-13,1** In: American Society for Testing and Materials (ASTM) International, West Conshohocken, Pa, (2013).

-**NF EN 13057 décembre 2002**. Indice de classement : P 18-945. Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton. Méthodes d'essai. Détermination de l'absorption capillaire. Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, avenue Francis de Pressensé — 93571 Saint-Denis La Plaine Cedex.

Annexe



50kg

متين
Matine

ALGÉRIE

LAFARGE
Construire
des villes meilleures™



Ciment pour béton exigeant

CPJ - CEM II/B 42.5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Matine

CPJ - CEM II/B 42.5 N.

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



FICHE TECHNIQUE

Réf : DC/FT MT. v03

Analyses et caractérisation

Analyses chimiques

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO ₃ (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

Composition hypothétique du clinker (Bogue)

Silicates tricalciques C ₃ S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C ₂ S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C ₃ A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C ₄ AF (%):	10,00 – 12,00

Propriétés physiques

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m	<1 000
Expansion en mm	0,3 – 2,5

Temps de prise à 20°C (NA 230)

Début de prise (min)	140 - 195
Fin de prise (min)	195 - 290

Résistance à la compression (NA 234)

02 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPA)

Direction générale

Ciment Blanc Algérien (SPA)

Hammam Dalaa, M'sila (ACC)
Tel: +213.35.50.78.20
Fax: +213.35.55.70.30

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

Usine Oggaz (CIBA)
BP 67, 29350, Mascara
Tél. / Fax : +213 (0) 45 84 88 98

LAFARGE
لافارج

MEDAFLOW 30

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

**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau**

DESCRIPTION

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

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

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

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

DOMAINES D'APPLICATION

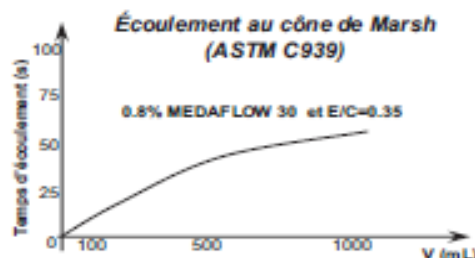
- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

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



Sur béton durci :

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

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

CARACTÉRISTIQUES

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

MODE D'EMPLOI

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

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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



Granitex

Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23



Sika® ViscoCrete® Tempo 12

Superplastifiant/Haut réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

Présentation	Sika® ViscoCrete® Tempo 12 est un superplastifiant haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.
Domaines d'application	■ Sika® ViscoCrete® Tempo 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés. ■ dans les bétons autoplaçants, Sika® ViscoCrete® Tempo 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
Caractères généraux	Sika® ViscoCrete® Tempo 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : ■ longue rhéologie (>2h), ■ robustesse à la ségrégation, ■ qualité de parement.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide brun clair
Conditionnement	■ Fût de 230 kg ■ Container perdu de 1000 litres
Stockage	Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 35°C. Sika® ViscoCrete® Tempo 12 peut geler, mais une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.
Conservation	1 an dans son emballage intact.
Données techniques	
densité	1,06 ± 0,01
pH	4,5 à 6,5
Extrait sec	28,0 à 31,0%
Teneur en Cl	≤ 0,1%
Teneur en Na₂O_{eq}	≤ 1%
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,2 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées. Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1,5 % du poids du ciment ou du liant

