



Mémoire de Fin d'Études

Présenté au

Département : Génie Civil

Domaine : Techniques

Filière : Génie Civil

Spécialité : Géotechnique et Matériaux

Réalisé par

YAHIAOUI Khalil & SADKI Mohamed

Pour l'obtention du Diplôme de Master Académique

Intitulé

**PROPRIÉTÉS DE MORTIER AUTOPLAÇANT À BASE DE
DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES**

Soutenue le : 14/06/2017

Devant le jury de soutenance composé de :

Mr. Mohamed RABHI	MCB	Univ Djelfa	Président
Mr. Brahim NÉCIRA	MAA	Univ Djelfa	Encadreur
Mr. Ahmed ATTIA	MAA	Univ Djelfa	Examineur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	i
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES PHOTOS.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
<i>Dédicace</i>	vii
<i>Remerciements</i>	viii
RÉSUMÉ	ix
ملخص.....	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCTION	1
Chapitre 1 : Concept et caractérisations de mortier autoplaçant.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition de BAP	3
1.3 Mortiers	4
1.3.1 Définition de mortier	4
1.3.2 Structure de MAP	5
1.4 Méthodes de formulation	6
1.4.1 Méthode d’Okamura.....	6
1.5 Caractérisation de MAP à l’état frais.....	7
1.5.1 Fluidité et déformabilité de MAP	7
1.5.2 Étalement au Mini cône de pâte.....	8
1.5.3 Essais de l’étalement au Mini cône de mortier	9
1.5.4 Essais de déformabilité de l’Entonnoir en V (V-funnel)	9
1.6 Résistance à la compression.....	10
1.7 Conclusion	11
Chapitre 2 : Sables dans le MAP.....	12
2.1 Introduction.....	12
2.2 Sables	12
2.2.1 Classification	13
2.2.2 Types de sable	14
2.3 Méthodes de mesure de la compacité	17
2.3.1 Méthode de versement simple	17
2.3.2 Méthode de Piquage	18
2.3.3 Méthode de vibration avec compression :	18
2.3.4 Essai de Mesure de la compacité aérée :	19
2.4 Effet de différent paramètre.....	20
2.4.1 Effet de Modèles statistiques	20
2.4.2 Effet de la paroi du récipient	21
2.4.3 Effet de la ségrégation	22

2.4.4	Méthode de Mesure de la compacité	23
2.5	Effets de types de sables sur propriétés des mortiers	24
2.5.1	Effet sur la composition	24
2.5.2	Effet sur les propriétés rhéologiques.....	26
2.5.3	Essai d'écoulement.....	28
2.5.4	Corrélation entre la viscosité et le temps d'écoulement de l'entonnoir en V	29
2.5.5	Résistance à la compression	31
2.6	Effet des fines de calcaire sur les propriétés des mortiers.....	32
2.6.1	Écoulement.....	32
2.6.2	Test du temps d'écoulement à l'entonnoir en V.....	33
2.6.3	Résistance à la compression	33
2.7	Conclusion.....	34
CHAPITRE 3 : MATÉRIAUX UTILISÉS ET ESSAIS RÉALISÉS		36
3.1	Introduction.....	36
3.2	Caractéristiques des matériaux	36
3.2.1	Sable.....	36
3.2.2	Ciment.....	37
3.2.3	Fillers calcaires	37
3.2.4	Superplastifiant	38
3.2.5	Eau de gâchage.....	39
3.3	Essais réalisés	39
3.3.1	Essai de la masse volumique.....	40
3.3.1.1	Masse volumique apparente :	40
3.3.1.2	Masse volumique absolue :	40
3.3.2	Essais d'Equivalent de sable	41
3.3.3	Essais de l'analyse granulométrique.....	43
3.3.4	Essais de la compacité lâche	44
3.3.5	Essais réalisés à l'état frais	45
3.3.6	Essai de compression réalisé à l'état durci.....	53
3.4	Conclusion.....	54
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION		55
4.1	Introduction.....	55
4.1	Problématique	55
4.2	Objectif de la recherche.....	56
4.3	formulations des MAP.....	56
4.4	Compacité lâche et compacté.....	57
4.5	Compacité des sables.....	57
4.6	Étalement de la pâte.....	59
4.7	Optimisation des MAP.....	60
4.7.1	Influence des sables sur la fluidité	60
4.7.2	Influence des sables sur temps d'écoulement.....	60

4.7.3	Test de viscosité	61
4.7.4	Influence des sables sur la résistance à la compression.....	62
4.8	Conclusion	63
CONCLUSION GÉNÉRALE		65
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES		67
CHAPITRE 1 : Concept et caractérisations de mortier autoplaçant		67
CHAPITRE 2 : Sables dans le MAP		68
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION		70

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1 : Etude bibliographique sur le mortier autoplaçant	
Figure 1.1 : Constituants des mortiers.....	04
Figure 1.2 : Essai de l'étalement au Mini cône de pâte.....	08
Figure 1.3 : Étalement au Mini cône de mortier.....	9
Figure 1.4 : Essai de l'entonnoir en.....	10
CHAPITRE 2 : LES SABLES DANS LE MAP	
Figure 2.1 : ternaire du SPD en fonction des proportions SR SC et SD.....	21
Figure 2.2 : Tracé ternaire du jonc (cm) en fonction des proportions SR, SC et SD.....	22
Figure 2.3 : Illustration de la conception en treillis simplex avec trois facteurs (RS, CS et DS) et cinq niveaux.....	23
Figure 2.4 : Proportion des sables.....	25
Figure 2.5 : Particle size distributions of different sable.....	25
Figure 2.6 : Essai d'écoulement de mortier de mortier effectué avec: (a) sable binaire (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD).....	29
Figure 2.7; Viscosité du mortier fabriqué avec: (a) sable binaire (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD).....	30
Figure 2.8: La courbe d'équation ajustée de la viscosité dépendante du temps de mortier fabriquée avec des résines et (50SC / 25SR / 25SD) à différentes vitesses de rotation.....	31
Figure 2.9 : Mélange binaire sans interaction grains fins dominants.....	28
Figure 2. 10 : Relation entre le temps d'écoulement de l'entonnoir en V et la viscosité du mélange témoin à une vitesse de rotation de 10 tr / min.....	31
Figure 2.11 : Résistance à la compression à (3, 7 et 28 jours) de mortier fabriqué avec: (a) binaire et (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD).....	32
Figure 2.12 : : Débit d'écoulement et temps d'écoulement de l'entonnoir en V du mortier fabriqué avec différentes matières fines de calcaire.....	33
Figure 2.13 : Résistance à la compression à (3, 7 et 28 jours) de mortier fabriqué avec diverses fines fines de calcaire.....	34
CHAPITRE 3 : MATÉRIAUX UTILISÉS ET ESSAIS RÉALISÉS	
Figure 3.1 : Diffractogramme aux rayons X des fillers calcaires.....	38
Figure 3.2 : Essais d'Equivalent de sable.....	42
Figure 3.3 : Analyse granulométrique des sables.....	45
Figure 3.4 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP=0%.....	47
Figure 3.5 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	47
Figure 3.6 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1%.....	48
Figure 3.7 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	48
Figure 3.8 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.2%.....	48
Figure 3.9 Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	49
Figure 3.10 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.4%.....	49
Figure 3.11 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	49
Figure 3.12 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.6%.....	50
Figure 3.13 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	50
Figure 3.14 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.8%.....	50
Figure 3.15 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	51
Figure 3.16 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 2%.....	51
Figure 3.17 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C.....	51

CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION	
Figure 4.14 : Compacité lâche en fonction des combinaisons massiques des types de sabl.....	55
Figure 4.15 : Compacité Compacité den fonction des combinaisons massiques des types de sables.....	56
Figure 4.3 : Effet des types de sables sur la fluidité des MAP	60
Figure 4.4 : Effet des types de sables sur temps d'écoulement a fluidité des MAP	61
Figure 4.5 : Effet des types de sables sur la résistance à 7 jours des MAP	62
Figure 4.6 : Effet des types de sables sur la résistance à 28 jours des MAP	63

LISTE DES PHOTOS

CHAPITRE 1 : Etude bibliographique sur le mortier autoplaçant	
Photo 1.1 : Coulage de BAP dans une dalle très encombrée]	04
Photo 1.2 : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône de pâte	09
Photo 1.3 : Déroulement de l'essai d'entonnoir en ..	10
CHAPITRE 2 : LES SABLES DANS LE MAP	
Photo 2.1 : Dispositif de l'essai de mesure de la compacité	19
CHAPITRE 3 : MATÉRIAUX UTILISÉS ET ESSAIS RÉALISÉS	
Photo 3.1 : Échantillons des sables	37
Photo 3.2 : Fillers calcaires	38
Photo 3.3 : Superplastifiant	39
Photo 3.4 : Masse volumique absolue.....	41
Photo 3.5 : Equivalent de sable.....	42
Photo 3.6 : Essai de la compacité de sable	46
Photo 3.7 : Essai de l'étalement au mini cône de pate.....	49
Photo 3.8 : Essai de l'étalement au mini cône à mortier.....	49
Photo 3.9 : Essai de Temps d'écoulement au mini entonnoir à mortier	49
Photo 3.10 : Essais de compression.....	50

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 2 : LES SABLES DANS LE MAP	
Tableau 2.1 : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique) ..	13
Tableau 2.2 : Combinaison des sables préparée	13
CHAPITRE 3 : MATÉRIAUX UTILISÉS ET ESSAIS RÉALISÉS	
Tableau 3.16 : Analyse chimique de ciment	37
Tableau 3.17 : Propriétés physiques des ciments sables	37
Tableau 3.18 : Analyse chimique de fillers calcaires	38
Tableau 3.19 : Caractéristiques du superplastifiant	39
Tableau 3.5 : Masse volumique apparente et absolue	41
Tableau 3.6 : Equivalent de sable	42
Tableau 3.7 : Ouvertures des tamis en mm (Sable rivière)	44
Tableau 3.8 Ouvertures des tamis en mm (Sable carrière)	44
Tableau 3.9 : Ouvertures des tamis en mm (Sable dune)	44
Tableau 3.10 : Programme des essais réalisés à l'état frais	46
Tableau 3.20 : L'étalement de la pate	47
CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSION	
Tableau 4.21 : Compositions des MAP destinés à l'optimisation	54
Tableau 4.22 : Essai de la compacité des sables	54

Dédicace

Au nom d'ALLAH, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux

Spécialement

À notre promoteur Monsieur NÉCIRA Brahim

YAHIAOUI KHALIL :

À mes très chers parents

À mes chères grandes familles

À tous mes amis proches ou loin

Surtout : - CHOUIHA BOUBAKEUR

- Laboratoire National de l'habitat et de Construction

SADKI MOHAMED :

À mes très chers parents

À ma chère grande famille

À tous mes amis proches ou loin

Surtout : -DJENAJDI ABDERRAHMANE

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail

Remerciements

Au nom Tout d'abord, nous tenons à remercier Allah, le Clément et le Miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Nous voudrions exprimer nos vifs remerciements à notre promoteur Monsieur NÉCIRA Brahim pour les orientations et les conseils qu'il a su nous prodiguer durant l'évolution de notre projet.

Nous voudrions remercier tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation.

Nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à nos parents pour leur contribution pour chaque travail effectué.

Mes vifs remerciements iront aussi aux membres de jury qui nous feront l'honneur de traiter notre travail.

RÉSUMÉ

La pâte et mortier autoplaçants, un composé de base à la prise du béton, comme cela de mortier est le lien le plus important dans la construction. Et est fait à partir des sables des alluvionnaires, mais elle affecte négativement l'environnement d'une part et d'autre part, la tâche affecte les coûts des matériaux considérés, en plus de la crainte d'un manque de sable d'alluvionnaire. Toutes ces données nous invite à utiliser sable de calcaire, et sable de dune.

Dans notre mémoire, nous étudions l'effet du sables de calcaires et sables de dunes pour remplacer les sables des alluvionnaires 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.

Les résultats obtenus montrent la possibilité de fabriquer des mortiers autoplaçants à hautes performances de la résistance à la compression en 28 jours égal 47MPa en se basant sur les sables concassés de carrières 100 %.

Mots clés :

Pâte autoplaçant : Mortier autoplaçant : Sable de rivière : Sable de carrière : Sable de dune : Formulation : Fluidité : Résistance à la compression.

ملخص

العجينة و الملاط ذاتي القولية، مركب أساسي في صنع الخرسانة، كما يعتبر الملاط أهم رابط في البناء. ويتم صنعه من رمال الوديان، إلا أنه يؤثر سلبا على البيئة من جهة ومن جهة أخرى مهمة يؤثر على التكاليف المادية المعتبرة، إضافة إلى التخوف من انعدام رمال الوديان. كل هذه المعطيات تحثنا على استعمال الرمال الكلسية ورمال الكثبان. في مذكرتنا نقوم بدراسة تأثير إدراج الرمال الكلسية و رمال الكثبان لتحل محل رمال الوديان في تحسين وإيجاد أفضل الخصائص الريولوجية : انتشار (سيولة) ، القدرة على الملاء (التشوه)، كما يجب أن يكون الأداء الميكانيكي أفضل .

أثبتت نتائج الدراسات إمكانية تصنيع ملاط ذاتي القولية بأداء عالي المقاومة ضغطه 47MPa في 28 يوم المشكلة من الرمل الكلسي بنسبة 100% .

كلمات مفتاحية :

عجينة ذاتية القولية : ملاط ذاتي القولية : رمل الودان : الرمل الكلسي : رمل الكثبان : تشكيل : سيولة : مقاومة الضغط .

ABSTRACT

Paste and self-placing mortar, a basic compound to the setting of concrete, such as mortar is the most important link in construction. And is made from the sands of the alluvial, but it negatively affects the environment on the one hand and on the other hand, the task affects the costs of the materials under consideration, in addition to the fear of a lack of alluvial sand . All this data invites us to use limestone sand, and dune sand.

In our paper, we study the effect of sands of limestones and sand dunes to replace the sands of the alluvial to improve and find the best rheological properties: spreading (fluidity), the capacity of filling (deformability), They must to have better mechanical performance.

The results obtained show the possibility of making high-performance self-compacting mortars with 47MP compressive strength equal to 47MPa based on the crushed sand of quarries 100%.

Keywords:

Self-compacting paste : Self-compacting mortar : Alluvial sand : Crushed sand
Dune sand : Formulation : Fluidity : Compressive strength.

INTRODUCTION

Le mortier autoplaçant MAP se caractérise par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage tout en étant stables et garantissent aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilité. De telles caractéristiques sont directement liées à sa composition. En effet, les recherches menées, au cours des dernières années, montrent que les MAP sont formulés différemment des bétons ordinaires : ils contiennent plus d'éléments fins qui doivent comporter au moins une addition minérale, un dosage élevé en superplastifiant et assez souvent un agent colloïdal.

Par ailleurs, en Algérie, la plupart des bétons sont exclusivement fabriqués avec de sable alluvionnaire. Cependant, beaucoup de régions du pays souffrent d'un manque remarquable en sable alluvionnaire approprié. En outre, les exigences d'environnement, l'impact sur les coûts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et l'éloignement des chantiers par rapport à ces gisements sont également des facteurs qui encouragent à chercher d'autres types de sables.

En effet, le sable concassé produit énormément par les carrières ainsi que le sable de dunes disponible de quantités inépuisables dans le sud du pays ne sont pas encore exploités sérieusement dans la formulation des bétons. Ces sables, qui contiennent normalement des teneurs élevées en fines, se présentent comme une alternative attirante du point de vue technique, économique et écologique pour la formulation des bétons.

Pour ces raisons, le présent mémoire examine l'effet de l'incorporation de sable de carrière et le sable de dune, en remplaçant le sable alluvionnaire, sur la compacité de la formulation de MAP. Ces formulations développées doivent avoir un meilleur comportement rhéologique vis-à-vis de l'étalement (fluidité), la capacité de remplissage (déformabilité) et la résistance à la ségrégation (stabilité). Elles doivent aussi posséder de meilleures performances mécaniques.

Le présent mémoire s'articule en quatre chapitres :

- Le chapitre 1 : Concept et caractérisations de mortier autoplaçant (MAP).
- Le chapitre 2 : État de l'art formulation de mortier autoplaçant (MAP).
- Le chapitre 3 : Est consacré aux méthodes d'essais, et les caractéristiques des matériaux utilisés.
- Le chapitre 4 : Présente la présentation des résultats et discussion.

Enfin, nous clôturons ce travail par une conclusion générale propose les résultats obtenus dans notre étude.

Chapitre 1 : Concept et caractérisations de mortier autoplaçant

1.1 Introduction

Dans ce premier chapitre, nous allons essayer de faire une description générale issue de notre recherche bibliographique sur toutes les principales notions à traiter dans notre étude. Nous allons donner une présentation générale sur les propriétés de pâte et mortier autoplaçant des différents types de sables utilisés dans le domaine de construction en génie civil. Notamment leurs origines, leurs classifications et leurs granulométries. Nous allons également donner un aperçu sur les mortiers autoplaçant. Nous allons surtout basé sur leurs applications dans la construction, les différents types et les principales caractéristiques. Dans ce chapitre nous allons fait aussi une synthèse sur les différents travaux de recherche qui ont été fait sur le thème de notre étude, plus particulièrement en ce qui concerne la valorisation pour type de (sable de dune et sable carrière et sable de rivière) pour la confection des bon mortiers autoplaçant , où nous allons exposer les principaux résultats obtenus.

1.2 Définition de BAP

Les BAP sont des bétons très fluides, qui se mettent en place sans vibration. Lors du coulage dans un coffrage, le serrage d'un BAP est assuré sous le simple effet de la gravité, grâce à leur formulation, et homogènes et stables, Il épouse ainsi des formes de coffrage les plus complexes [Rmili].

En général, les BAP possèdent les mêmes constituants que les BO, à savoir, le ciment, l'eau, le sable et le gravier. à ces quatre constituants viennent s'ajouter les fines et les adjuvants selon la propriété demandée. Les

proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie.



Photo 1.1 : Coulage de BAP dans une dalle très encombrée [Holcim]

1.3 Mortiers

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

1.3.1 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]

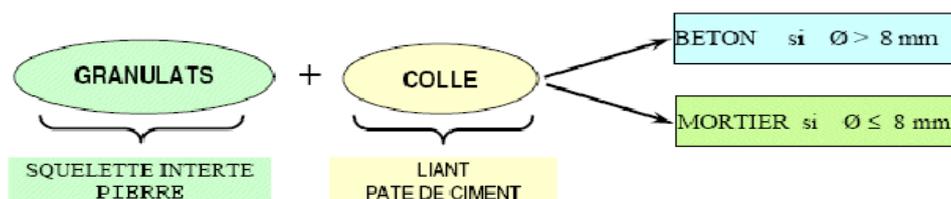


Figure 1.1 : Constituants des mortiers[Bouali]

1.3.2 Structure de MAP

La formulation d'une pâte et mortier cimentaire autoplaçants qui offrira un comportement optimal vis-à-vis de la stabilité et de l'écoulement en utilisant les matériaux de notre région avec les pourcentages adéquats de chaque constituant. Nous mettrons en œuvre un programme expérimental où nous étudierons le rôle de chaque paramètre sur le comportement de la pâte cimentaire et nous délimiterons par la suite un domaine expérimental qui offrira un ensemble de mélanges homogènes et stables, aux propriétés d'écoulement mesurables. Cependant, pour avoir le mélange de constituants possédant les réponses optimales, nous élaborerons un plan de mélanges qui permet d'avoir un nombre important d'informations (rôle des constituants, interactivité) avec un minimum d'essais.

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

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

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 [AFGC].

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 [Yurugi & al.], voire ternaire [Tangtermsirikul & al.] ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice.

c. Un fort dosage de superplastifiant :

L'introduction de dosage relativement important de superplastifiant 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 [de Larrard & al.] peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

d. Une utilisation éventuelle d'agent colloïdal :

Bien que ce ne soit pas systématique, les BAP contiennent la plus part du temps un agent colloïdal [Sedran]. 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 [Kuroiwa & al.] & [Shindoh & al.]

1.4 Méthodes de formulation

1.4.1 Méthode d'Okamura

La formulation des MAP par l'approche développée à l'université de Kochi au Japon [Okamura et al. 1999, 2000 et 2003] se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Cette méthode de formulation est à la fois forfaitaire pour les dosages des granulats et expérimentale pour le dosage en eau et en adjuvant. Pour formuler un BAP par cette méthode baptisée « **méthode japonaise** », on doit passer par les étapes suivantes :

a- Choix du dosage en ciment : La quantité du ciment dépend du cahier des charges et des performances désirées (résistance, durabilité...).

b- Désignation du volume d'air : Le volume d'air occlus est pris égal à 2 %.

c- Détermination du dosage du sable : Le volume de sable est posé forfaitairement égal à 40% du volume du mortier.

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

En traçant la courbe d'Eau/Liant en fonction de l'étalement relatif « Rp » (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 le ciment et les additions minérales [Okamura et al. 1999 ; Domone et al. 1997].

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

Avec « Rp » l'étalement relatif et « d » le diamètre d'étalement moyen de la galette de pâte.

1.5 Caractérisation de MAP à l'état frais

1.5.1 Fluidité et déformabilité de MAP

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

La déformabilité du béton est directement liée à la déformabilité de la pâte. Pour augmenter la déformabilité de la pâte et réduire le frottement inter sable, des super-plastifiants haut- réducteur d'eau (SPRE) sont incorporés dans les mélanges MPA. Ces SPRE permettent de maintenir un rapport eau- matières cimentaires relativement bas tandis que la fluidité reste élevée. La déformabilité de la pâte est augmentée aussi en réduisant la viscosité. Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation [Khayat et al. 2004]. 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

1.5.2 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.1.2). La poudre étant le ciment ou l'addition minérale (filler...) mesurer l'étalement relatif «équation Rp» (équation détermine les paramètres correspondant aux droites obtenus pour chaque liant (ciment et filler calcaire) [Rmili] .

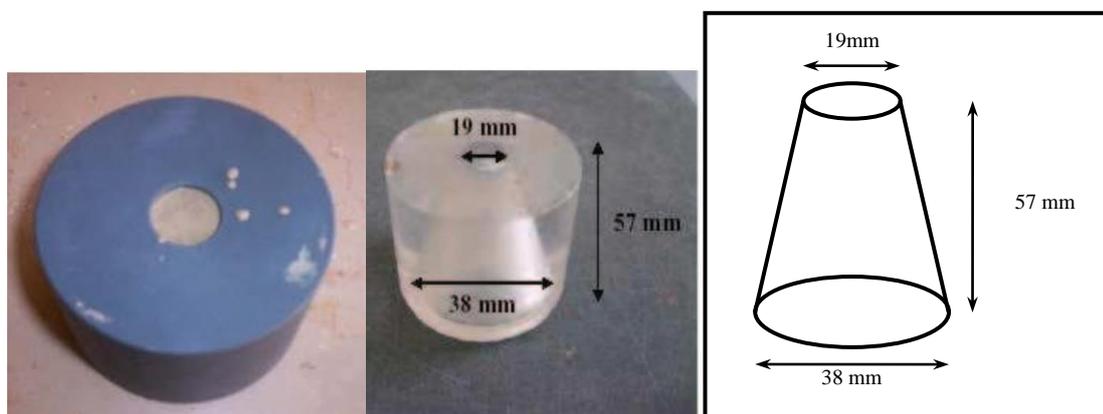


Figure 1.2 : Essai de l'étalement au Mini cône de pâte [Guellil en 2012].



Photo 1.2 : Étapes de l'essai d'étalement au Mini cône de pâte

1.5.3 Essais de l'étalement au Mini cône de mortier

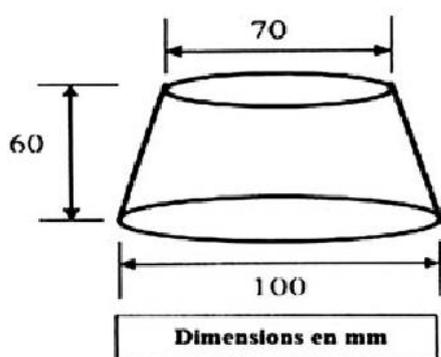


Figure 1.3 : Étalement au Mini cône de mortier [Benchaa.2014]

1.5.4 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 (Fig. 1.5.). 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 intergranulaire élevé.

L'EFNARC [EFNARC 2005] 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 [Rmili].

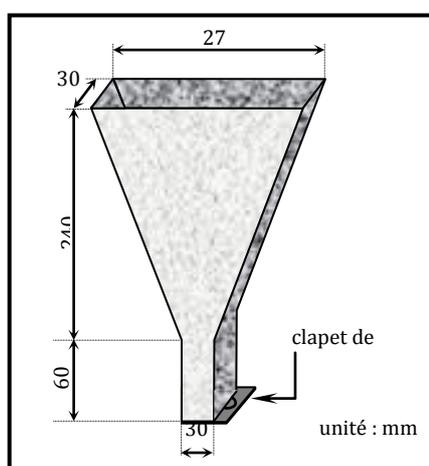


Figure 1.5 : Essai de l'entonnoir en V [K. KHAYAT] Photo 1.3 : Déroulement de l'essai d'entonnoir en V [Benchaa.2014]

1.6 Résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression à 28 jours On constate que la résistance à la compression à et 28 jours augmente à un maximum aux amendes de calcaire contenu entre 10% et 15%. Pour les amendes de calcaire plus élevées de 15%, la résistance à la compression diminue. C'est probablement due à une pâte de ciment insuffisante pour enrober toutes les particules d'agrégats d'ailettes ce qui conduit par conséquent à une diminution de la compression force [Rmili].

Sur la résistance du mortier incorporant du sable écrasé avec 15% teneur en fines de calcaire. Pour les spécimens sans ou avec seulement 5% fines de calcaire, il n'y a

pas assez de particules fines pour remplir tous les vides entre la pâte de ciment et les particules fines d'agrégats et des valeurs de résistance à la compression plus faibles que celles 10-15% de teneur en fines de calcaire [Rmili]

1.7 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 superplastifiant 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 superplastifiant et en agent colloïdal sont des paramètres clés pouvant avoir une influence significative sur les performances des MAP.

Chapitre 2 : Sables dans le MAP

2.1 Introduction

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

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

Dans ce chapitre nous présentons d'une part, les différents facteurs ayant une influence sur les empilements granulaires secs induisant un volume des vides minimal, et d'autre part un état de l'art sur les différents bancs d'essais utilisés pour la mesure de la compacité du mélange granulaire. Nous présentons également les modèles de prévision de la compacité des milieux granulaires. Enfin, Nous étudions et valorisons les différents types de sables (alluvionnaire, concassé et de dunes) dans la formulation de MAP.

2.2 Sables

Selon la norme NF EN 12620+A1 de juin 2008, le sable, destiné à la confection de béton, mortier et enduit, est un ensemble des granulats grains minéraux dont la

dimension maximale D n'excédant pas à 4 mm. Le sable peut résulter de l'altération naturelle de roches massives ou meubles et/ou de leur concassage ou du traitement des granulats artificiels.[BEN FETTACHA en 2016]

2.2.1 Classification

a. Selon son origine ;

Le sable, en fonction de son origine, peut être classé en quatre catégories ;

- Naturel : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions des fleuves ou des rivières), de roches massives (sédimentaire, éruptives, métamorphique, etc.) ou de dunes. Le sable naturel n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- Artificiel : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.
- Recyclé : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition.

b. Selon sa composition ;

En fonction de sa composition minéralogique (teneurs en silice, alumine et chaux), le sable peut être classé en quatre catégories (tableau 2.3).

Tableau 2.1 : Classification de sables en fonction de sa composition (teneurs en % massique)

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

c. Selon sa densité ;

Selon la densité de sable, on distingue trois types ;

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

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

d. Selon sa forme ;

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

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

2.2.2 Types de sable

2.2.2.1 Sable alluvionnaire

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

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

- $1.8 \leq MF \leq 2.2$; le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.

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

2.2.2.2 Sable de carrière

Le sable de carrière, dit aussi concassé, est un sous-produit des processus industriels contrôlés de concassage, de lavage et de criblage appliqués à des roches massives généralement calcaires.

Ce sable, qui se trouve couramment dans la classe granulaire 0/3 mm, est rarement utilisé dans la confection des bétons en raison de leurs taux élevés en fines qui varient de 8 à 30 % et provoquant ainsi un problème de stockage au niveau des carrières. Plusieurs recherches ont été menées pour la valorisation de sable de carrière dans la confection des mortiers et bétons. En effet, elles ont trouvé que la morphologie de ces grains angulaires est plus adaptée à un meilleur accrochage à la pâte de ciment que celle de sables roulés, ce qui offre plus de résistances au béton.

L'utilisation de sable de carrière est déterminée par sa granulométrie et ses caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques. En générale, il s'utilise pour des sous-fondations et fondations, des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux.

Instruction interministérielle :

La présente instruction a pour objet de définir les spécifications techniques relatives aux sables de concassage pour bétons hydrauliques et enrobés bitumineux.

On entend par sable de concassage le produit obtenu à partir de roches massives après les opérations de concassage et de criblage dans une station de production de granulats.

Le sable de concassage peut être utilisé seul dans le béton ou en mélange avec un autre sable. L'ensemble du mélange doit répondre aux spécifications de la présente instruction.

Les caractéristiques des sables de concassage pour bétons hydrauliques et enrobés bitumineux doivent satisfaire aux exigences suivantes :

- A.** La dimension maximale D du granulat doit être ; $D \leq 3 \text{ mm}$
- B.** La teneur en fines TF , définie comme le passant à 0,063 mm, doit être ;
- $TF \leq 18 \%$ pour le béton hydraulique de classes inférieures à 20MPa,
 - $TF \leq 15 \%$ pour le béton hydraulique de classes comprises entre 20 et 35 MPa,
 - $TF \leq 12 \%$ pour le béton hydraulique de classes supérieures à 35 MPa,
 - $TF \leq 15 \%$ pour l'enrobé bitumineux ;
- C.** Le module de finesse MF doit être compris dans l'intervalle suivants ;
- $2,15 \leq MF \leq 3,15$ pour le béton hydraulique de classes supérieures à 20 MPa,
 - $1,8 \leq MF \leq 3,2$ pour le béton hydraulique de classes inférieures à 20 MPa et l'enrobé bitumineux.
- D.** La propreté du sable déterminée par la mesure de l'équivalent de sable (ES) doit avoir les valeurs spécifiées suivantes :
- $ES \geq 45$ pour les enrobés bitumineux,
 - $ES \geq 60$ pour les bétons hydrauliques de classes inférieures ou égales à 35 MPa,
 - $ES \geq 65$ pour les bétons hydrauliques de classes supérieures à 35 MPa,
 - Si le ES du sable est inférieur aux valeurs spécifiées, il est recommandé de faire l'essai au bleu de méthylène.

La valeur au bleu de méthylène doit être inférieure ou égale à 1 [BEN FETTACHA en 2016].

2.2.2.3 Sable de dune

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

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

Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, forme la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir [BEN FETTACHA en 2016].

2.3 Méthodes de mesure de la compacité

2.3.1 Méthode de versement simple

C'est une méthode qui consiste, à remplir un récipient de volume V connu, en laissant s'écouler le matériau sous l'effet de la gravité, sans aucune autre sollicitation, puis en pesant la masse M du récipient après arasement. M_0 étant la masse du récipient à vide, et ρ la masse volumique réelle de l'échantillon alors, la compacité C_{exp} s'écrit :

$$C_{exp} = \frac{M - M_0}{p \cdot V}$$

Dans cette méthode décrite dans la norme NF EN 1097-3, le cylindre utilisé est d'une hauteur de 200 mm et d'un volume égal à 3,98 l pour les gravillons, tandis que pour les sables, le cylindre utilisé est d'une hauteur de 80 mm et son volume est égal à 0,56 l.

2.3.2 Méthode de Piquage

Pour cet essai, les cylindres utilisés sont identiques à ceux du précédent mode opératoire. Pour améliorer le compactage du matériau dans le cylindre, nous utilisons une tige, que nous enfonçons plusieurs fois dans l'échantillon (méthode inspirée de la méthode (ASTM C29-78). Pour les gravillons, la tige utilisée est en acier elle est à tête hémisphérique et à 600 mm de long avec un diamètre de 16 mm. En revanche, pour les sables, la longueur utile est de 130 mm avec un diamètre de 6 mm.

2.3.3 Méthode de vibration avec compression :

Dans cette méthode, la masse de l'échantillon M_s prise pour les graviers est de 7.5 kg et pour les sable 3 kg. Le cylindre utilisé à un diamètre de 16 cm et une hauteur de 32 cm. Le cylindre est équipé d'un disque interne de même diamètre et qui permet d'appliquer une charge uniformément répartie sur toute la surface des granulats. L'ensemble est solidarisé à une table vibrante. Un poids (P) est solidarisé avec le cylindre interne, appliquant une pression totale de 10 KPa sur l'échantillon compacté. Une masse M_s de granulats est malaxée à sec de manière à homogénéiser l'ensemble, puis versée dans le cylindre. La vibration est lancée après l'application de la pression (10 KPa) [El Barrak]. Cet échantillon est soumis à une vibration de 150 Hz pendant une minute et la compacité est donnée par la moyenne (sur un minimum de deux échantillons) [F. DE Larrard] :

$$C_{exp} = \frac{M_s}{\rho}$$



Photo 2.1 : Dispositif de l'essai de mesure de la compacité [EL BARRAK, 2005]

2.3.4 Essai de Mesure de la compacité aérée :

C'est La compacité aérée traduit l'aptitude des produits à s'arranger sans sollicitation extérieure autre que la gravité. Une augmentation de la compacité révèle une organisation granulaire plus compacte. Cette propriété est déterminée par mesure de la masse de produit nécessaire au remplissage d'un récipient de volume connu (100 cm³). Le remplissage du récipient est effectué selon un protocole déterminé : le mélange s'écoule dans le récipient après avoir traversé un tamis. Une vibration permet de faciliter l'écoulement des produits. Comme la masse volumique réelle de chaque poudre n'est pas strictement la même, le calcul de la compacité des mélanges a été réalisé en utilisant les valeurs des masses volumiques réelles des constituants du mélange (2,53 g.cm⁻³ pour les billes, 2,65 et 2,9 g.cm⁻³ pour les poudres), les masses volumiques apparentes des mélanges et les proportions massiques de chacun des trois constituants de taille différente (F : fin, M : moyen et G : gros) selon la relation (1) :

$$C = d_{pp}(\text{mélange}) / (\%F \times dr(F) + \%M \times dr(M) + \%G \times dr(G)) \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dans cette relation, C est la compacité du mélange, $d_{app}(\text{mélange})$ est la masse volumique apparente du mélange, $dr(F)$, $dr(M)$ et $dr(G)$ sont les masses volumiques réelles des constituants et %F, %M et %G sont les proportions massiques de chacun des trois constituants. [Bédérina M]

2.4 Effet de différent paramètre

2.4.1 Effet de Modèles statistiques

Les résultats du plan de mélange de [Bédérina] sur 21 mélanges de BAP qui sont utilisés pour établir des modèles statistiques qui peuvent prédire les effets de la SR, SC et SD proportions ainsi que toutes les interactions possibles en binaire et ternaire Systèmes, sur la variation de chaque réponse. Les coefficients des modèles proposés, comme mentionné dans la relation (2), sont évalués en se basant sur La distribution des élèves, afin d'éliminer les termes non significatifs (N-S). Dans cette étude, l'acceptation, la probabilité pour les coefficients est fixée à une valeur p inférieure à 0,05. Coefficients des modèles dérivés. Les coefficients de corrélation (R^2) et les valeurs p pour les réponses aux propriétés fraîches sont présentés dans tableau 2.1.

Table 2.2 : Combinaison des sables préparée [Bédérina M en 2014]

Mix. N°	Sands combinations		
	RS	CS	DS
1	0.8	0	0.2
2	0	0.8	0.2
3	0.2	0.6	0.2
4	0.4	0.4	0.2
5	0	0	1
6	0.2	0	0.8
7	0	1	0
8	0.2	0.4	0.4
9	0.2	0.2	0.6
10	0	0.6	0.4
11	0.6	0.4	0
12	0.2	0.8	0
13	0.4	0.2	0.4
14	0.4	0.6	0
15	0	0.2	0.8
16	0.6	0.2	0.2
17	0.4	0	0.6
18	1	0	0
19	0	0.4	0.6
20	0.6	0	0.4
21	0.8	0.2	0

Les modèles finaux de SPD, T500 et J-ring peuvent être écrits comme suit : 0 100 0,01 0,1 1 10 Diamètre du tamis (mm) Qui passe (%) SR, SC, SD. Modèles dérivés

ont de bons coefficients de corrélation, sauf pour SPD ($R^2 = 0,52$). Un coefficient négatif indique que l'augmentation du facteur associé entraîne une réduction de la réponse.

$$Y_{SPD} = 1.5 \times SR + 1.5SC + 1.6SD + 0.33 \times (SR.SD) + 0.37 \times (SR.SC) + 0.4 \times (SC.SD).$$

Toutefois, il faut tenir compte du fait que l'augmentation d'un facteur donné conduit à une D'autres facteurs, parce que les facteurs sont des proportions constitutives d'un mélange. Les modèles dérivés ont été établis en utilisant la méthode des moindres carrés qui consiste Minimisant la somme des carrés des résidus. Les diagrammes prédits à observés montrés sur la Fig. 2.1. A., Indiquent que les points semblent être répartis à l'intérieur des limites des courbes de confiance.[Bédérina M]

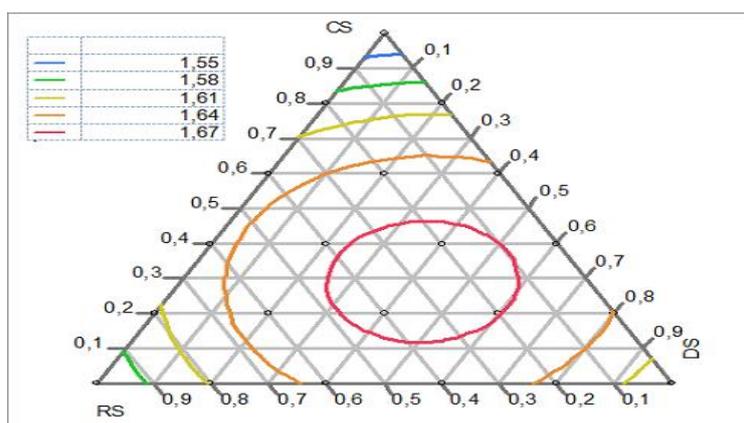


Fig 2.1 : Tracé ternaire du SPD en fonction des proportions SR, SC et SD[Bédérina]

2.4.2 Effet de la paroi du récipient

Contre la recherche des Bédérina M en 2014 de Les modèles établis peuvent être utilisés pour présenter des résultats dans des courbes de contour qui illustrent l'effet de SR, SC et SD sur la compacité des sables, la fluidité et la capacité de passage des BAP. Le graphique de contours ternaires présenté à la Fig. 2.2. A., illustre l'effet des proportions SR, SC et SD sur SPD. A partir de cette figure, on peut voir que l'augmentation des proportions SC et SD dans les systèmes binaires SR-SC et SR-SD ou système ternaire SD-SC-SD, a augmenté le SPD jusqu'à ce qu'une

valeur maximale (autour de 1,68) puis diminué. La valeur maximale de SPD peut être atteinte avec le suivant ternaire (Environ 40% de SC, 30% de SD et 30% de SR). Cela peut s'expliquer par Effet de remplissage des grains SD fins et de la teneur élevée en charges de SC, Figure 2.2. A. Tracé ternaire du SPD en fonction des proportions SR, SC et SD. Figue. La figure 2 illustre les courbes de contour ternaires du temps d'écoulement de T500 pour des mélanges de BAP en SR, SC et SD. Comme illustré à la Fig. 2, le temps T500 augmente à mesure que les proportions de SC augmentent dans SR-SC et Mélanges binaires SC-SD. Ceci est apparemment causé par la teneur élevée en SC de charge. On peut aussi le voir Que T500 diminué que les proportions de SD augmenté dans SR-SD système binaire. Fig 2.2. A. Diagramme ternaire de T500 (s) en fonction des proportions SR, SC et SD. L'effet de différentes proportions de sables sur le diamètre de l'affaissement de l'anneau en J est représenté sur la Fig.2.2.B. Résultats Montrent que les valeurs de l'anneau en J ont augmenté pour SC et SD dans les systèmes binaires SR-SC et SR-SD [Bédérina M en 2014]

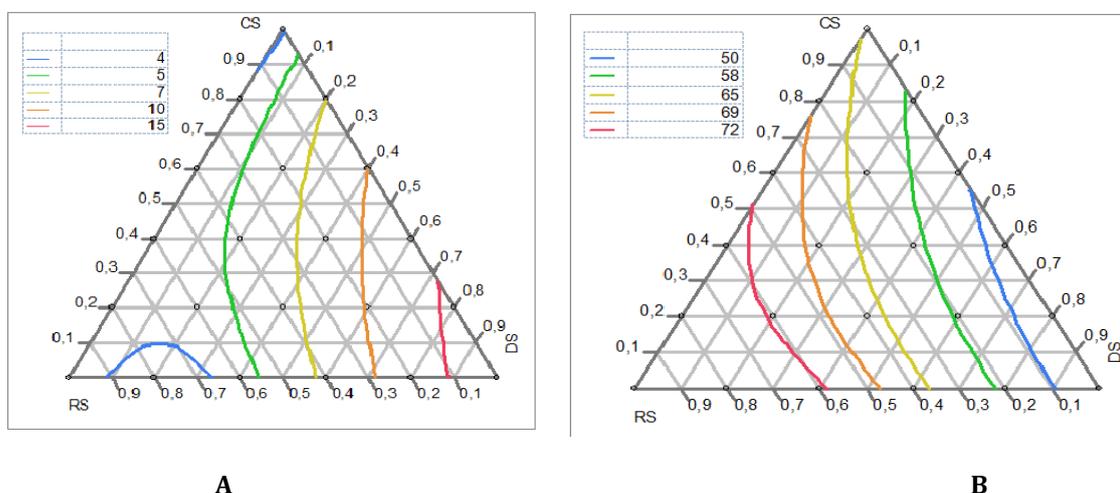


Fig 2.2 : Tracé ternaire du jonc (cm) en fonction des proportions SR, SC et SD.[Bédérina M en 2014]

2.4.3 Effet de la ségrégation

La ségrégation est principalement causée par des différences de tailles (à partir d'un rapport de tailles supérieur à 6) et de masses volumiques réelles entre particules. Ceci se traduit par une séparation entre les grosses qui migrent à la

surface de l'empilement, et les plus fines qui se retrouvent au fond du récipient en passant à travers le squelette granulaire formé par les grosses. Ce phénomène est cependant moins marqué pour des particules cohésives ($d < 100\mu\text{m}$) et de formes irrégulières [German, 1989].

2.4.4 Méthode de Mesure de la compacité

Les approches de modélisation statistique sont couramment utilisées pour identifier l'importance des paramètres du mélange primaire et leurs effets couplés sur les propriétés pertinentes du MAP. Pour le présent, les expériences ont été conçues selon une approche de conception de mélange. Contrairement à des conceptions classiques sans mélange (plans factoriels et surfaces de réponse), tous les facteurs sont constitutifs des proportions d'un mélange. Comme ces proportions doivent toujours être égales à 1, la dernière composante des proportions est dictée par la somme de tous les autres. Dans cette situation de mélange, les facteurs ne sont pas indépendants, ce qui a des conséquences sur le processus de conception (Goupy, 2007). Une conception de mélange simplex-treillis a été réalisée, avec trois facteurs et cinq niveaux, pour évaluer l'effet de trois types de sables (SR, SC et SD) sur les propriétés du MAP. Tous les autres composants du MAP (sable, ciment, addition, super-plastifiant et eau).

La conception simplex-lattice est une conception de remplissage d'espace qui crée une grille triangulaire de combinaisons, comme le montre la Fig.1.2, En utilisant cette approche, un modèle mathématique décrivant l'effet de trois types de sables sur les proportions et leurs mélanges sur une propriété donnée peuvent être établis. Dans cette étude, un modèle de deuxième degré a été utilisé avec trois variables non indépendantes (Proportions de SR, SC et SD) et cinq niveaux, Le modèle est exprimé de la façon suivante:

$$Y = b_0 + b_1 DS + b_2 CS + b_3 DS \cdot CS + b_4 DS + b_5 CS + b_6 DS \cdot CS + b_7 DS + b_8 CS + b_9 DS \cdot CS + b_{10} DS + b_{11} CS + b_{12} DS \cdot CS + b_{13} DS + b_{14} CS + b_{15} DS \cdot CS + b_{16} DS + b_{17} CS + b_{18} DS \cdot CS + b_{19} DS + b_{20} CS + b_{21} DS \cdot CS + b_{22} DS + b_{23} CS + b_{24} DS \cdot CS + b_{25} DS + b_{26} CS + b_{27} DS \cdot CS + b_{28} DS + b_{29} CS + b_{30} DS \cdot CS + b_{31} DS + b_{32} CS + b_{33} DS \cdot CS + b_{34} DS + b_{35} CS + b_{36} DS \cdot CS + b_{37} DS + b_{38} CS + b_{39} DS \cdot CS + b_{40} DS + b_{41} CS + b_{42} DS \cdot CS + b_{43} DS + b_{44} CS + b_{45} DS \cdot CS + b_{46} DS + b_{47} CS + b_{48} DS \cdot CS + b_{49} DS + b_{50} CS + b_{51} DS \cdot CS + b_{52} DS + b_{53} CS + b_{54} DS \cdot CS + b_{55} DS + b_{56} CS + b_{57} DS \cdot CS + b_{58} DS + b_{59} CS + b_{60} DS \cdot CS + b_{61} DS + b_{62} CS + b_{63} DS \cdot CS + b_{64} DS + b_{65} CS + b_{66} DS \cdot CS + b_{67} DS + b_{68} CS + b_{69} DS \cdot CS + b_{70} DS + b_{71} CS + b_{72} DS \cdot CS + b_{73} DS + b_{74} CS + b_{75} DS \cdot CS + b_{76} DS + b_{77} CS + b_{78} DS \cdot CS + b_{79} DS + b_{80} CS + b_{81} DS \cdot CS + b_{82} DS + b_{83} CS + b_{84} DS \cdot CS + b_{85} DS + b_{86} CS + b_{87} DS \cdot CS + b_{88} DS + b_{89} CS + b_{90} DS \cdot CS + b_{91} DS + b_{92} CS + b_{93} DS \cdot CS + b_{94} DS + b_{95} CS + b_{96} DS \cdot CS + b_{97} DS + b_{98} CS + b_{99} DS \cdot CS + b_{100} DS + b_{101} CS + b_{102} DS \cdot CS + b_{103} DS + b_{104} CS + b_{105} DS \cdot CS + b_{106} DS + b_{107} CS + b_{108} DS \cdot CS + b_{109} DS + b_{110} CS + b_{111} DS \cdot CS + b_{112} DS + b_{113} CS + b_{114} DS \cdot CS + b_{115} DS + b_{116} CS + b_{117} DS \cdot CS + b_{118} DS + b_{119} CS + b_{120} DS \cdot CS + b_{121} DS + b_{122} CS + b_{123} DS \cdot CS + b_{124} DS + b_{125} CS + b_{126} DS \cdot CS + b_{127} DS + b_{128} CS + b_{129} DS \cdot CS + b_{130} DS + b_{131} CS + b_{132} DS \cdot CS + b_{133} DS + b_{134} CS + b_{135} DS \cdot CS + b_{136} DS + b_{137} CS + b_{138} DS \cdot CS + b_{139} DS + b_{140} CS + b_{141} DS \cdot CS + b_{142} DS + b_{143} CS + b_{144} DS \cdot CS + b_{145} DS + b_{146} CS + b_{147} DS \cdot CS + b_{148} DS + b_{149} CS + b_{150} DS \cdot CS + b_{151} DS + b_{152} CS + b_{153} DS \cdot CS + b_{154} DS + b_{155} CS + b_{156} DS \cdot CS + b_{157} DS + b_{158} CS + b_{159} DS \cdot CS + b_{160} DS + b_{161} CS + b_{162} DS \cdot CS + b_{163} DS + b_{164} CS + b_{165} DS \cdot CS + b_{166} DS + b_{167} CS + b_{168} DS \cdot CS + b_{169} DS + b_{170} CS + b_{171} DS \cdot CS + b_{172} DS + b_{173} CS + b_{174} DS \cdot CS + b_{175} DS + b_{176} CS + b_{177} DS \cdot CS + b_{178} DS + b_{179} CS + b_{180} DS \cdot CS + b_{181} DS + b_{182} CS + b_{183} DS \cdot CS + b_{184} DS + b_{185} CS + b_{186} DS \cdot CS + b_{187} DS + b_{188} CS + b_{189} DS \cdot CS + b_{190} DS + b_{191} CS + b_{192} DS \cdot CS + b_{193} DS + b_{194} CS + b_{195} DS \cdot CS + b_{196} DS + b_{197} CS + b_{198} DS \cdot CS + b_{199} DS + b_{200} CS + b_{201} DS \cdot CS + b_{202} DS + b_{203} CS + b_{204} DS \cdot CS + b_{205} DS + b_{206} CS + b_{207} DS \cdot CS + b_{208} DS + b_{209} CS + b_{210} DS \cdot CS + b_{211} DS + b_{212} CS + b_{213} DS \cdot CS + b_{214} DS + b_{215} CS + b_{216} DS \cdot CS + b_{217} DS + b_{218} CS + b_{219} DS \cdot CS + b_{220} DS + b_{221} CS + b_{222} DS \cdot CS + b_{223} DS + b_{224} CS + b_{225} DS \cdot CS + b_{226} DS + b_{227} CS + b_{228} DS \cdot CS + b_{229} DS + b_{230} CS + b_{231} DS \cdot CS + b_{232} DS + b_{233} CS + b_{234} DS \cdot CS + b_{235} DS + b_{236} CS + b_{237} DS \cdot CS + b_{238} DS + b_{239} CS + b_{240} DS \cdot CS + b_{241} DS + b_{242} CS + b_{243} DS \cdot CS + b_{244} DS + b_{245} CS + b_{246} DS \cdot CS + b_{247} DS + b_{248} CS + b_{249} DS \cdot CS + b_{250} DS + b_{251} CS + b_{252} DS \cdot CS + b_{253} DS + b_{254} CS + b_{255} DS \cdot CS + b_{256} DS + b_{257} CS + b_{258} DS \cdot CS + b_{259} DS + b_{260} CS + b_{261} DS \cdot CS + b_{262} DS + b_{263} CS + b_{264} DS \cdot CS + b_{265} DS + b_{266} CS + b_{267} DS \cdot CS + b_{268} DS + b_{269} CS + b_{270} DS \cdot CS + b_{271} DS + b_{272} CS + b_{273} DS \cdot CS + b_{274} DS + b_{275} CS + b_{276} DS \cdot CS + b_{277} DS + b_{278} CS + b_{279} DS \cdot CS + b_{280} DS + b_{281} CS + b_{282} DS \cdot CS + b_{283} DS + b_{284} CS + b_{285} DS \cdot CS + b_{286} DS + b_{287} CS + b_{288} DS \cdot CS + b_{289} DS + b_{290} CS + b_{291} DS \cdot CS + b_{292} DS + b_{293} CS + b_{294} DS \cdot CS + b_{295} DS + b_{296} CS + b_{297} DS \cdot CS + b_{298} DS + b_{299} CS + b_{300} DS \cdot CS + b_{301} DS + b_{302} CS + b_{303} DS \cdot CS + b_{304} DS + b_{305} CS + b_{306} DS \cdot CS + b_{307} DS + b_{308} CS + b_{309} DS \cdot CS + b_{310} DS + b_{311} CS + b_{312} DS \cdot CS + b_{313} DS + b_{314} CS + b_{315} DS \cdot CS + b_{316} DS + b_{317} CS + b_{318} DS \cdot CS + b_{319} DS + b_{320} CS + b_{321} DS \cdot CS + b_{322} DS + b_{323} CS + b_{324} DS \cdot CS + b_{325} DS + b_{326} CS + b_{327} DS \cdot CS + b_{328} DS + b_{329} CS + b_{330} DS \cdot CS + b_{331} DS + b_{332} CS + b_{333} DS \cdot CS + b_{334} DS + b_{335} CS + b_{336} DS \cdot CS + b_{337} DS + b_{338} CS + b_{339} DS \cdot CS + b_{340} DS + b_{341} CS + b_{342} DS \cdot CS + b_{343} DS + b_{344} CS + b_{345} DS \cdot CS + b_{346} DS + b_{347} CS + b_{348} DS \cdot CS + b_{349} DS + b_{350} CS + b_{351} DS \cdot CS + b_{352} DS + b_{353} CS + b_{354} DS \cdot CS + b_{355} DS + b_{356} CS + b_{357} DS \cdot CS + b_{358} DS + b_{359} CS + b_{360} DS \cdot CS + b_{361} DS + b_{362} CS + b_{363} DS \cdot CS + b_{364} DS + b_{365} CS + b_{366} DS \cdot CS + b_{367} DS + b_{368} CS + b_{369} DS \cdot CS + b_{370} DS + b_{371} CS + b_{372} DS \cdot CS + b_{373} DS + b_{374} CS + b_{375} DS \cdot CS + b_{376} DS + b_{377} CS + b_{378} DS \cdot CS + b_{379} DS + b_{380} CS + b_{381} DS \cdot CS + b_{382} DS + b_{383} CS + b_{384} DS \cdot CS + b_{385} DS + b_{386} CS + b_{387} DS \cdot CS + b_{388} DS + b_{389} CS + b_{390} DS \cdot CS + b_{391} DS + b_{392} CS + b_{393} DS \cdot CS + b_{394} DS + b_{395} CS + b_{396} DS \cdot CS + b_{397} DS + b_{398} CS + b_{399} DS \cdot CS + b_{400} DS + b_{401} CS + b_{402} DS \cdot CS + b_{403} DS + b_{404} CS + b_{405} DS \cdot CS + b_{406} DS + b_{407} CS + b_{408} DS \cdot CS + b_{409} DS + b_{410} CS + b_{411} DS \cdot CS + b_{412} DS + b_{413} CS + b_{414} DS \cdot CS + b_{415} DS + b_{416} CS + b_{417} DS \cdot CS + b_{418} DS + b_{419} CS + b_{420} DS \cdot CS + b_{421} DS + b_{422} CS + b_{423} DS \cdot CS + b_{424} DS + b_{425} CS + b_{426} DS \cdot CS + b_{427} DS + b_{428} CS + b_{429} DS \cdot CS + b_{430} DS + b_{431} CS + b_{432} DS \cdot CS + b_{433} DS + b_{434} CS + b_{435} DS \cdot CS + b_{436} DS + b_{437} CS + b_{438} DS \cdot CS + b_{439} DS + b_{440} CS + b_{441} DS \cdot CS + b_{442} DS + b_{443} CS + b_{444} DS \cdot CS + b_{445} DS + b_{446} CS + b_{447} DS \cdot CS + b_{448} DS + b_{449} CS + b_{450} DS \cdot CS + b_{451} DS + b_{452} CS + b_{453} DS \cdot CS + b_{454} DS + b_{455} CS + b_{456} DS \cdot CS + b_{457} DS + b_{458} CS + b_{459} DS \cdot CS + b_{460} DS + b_{461} CS + b_{462} DS \cdot CS + b_{463} DS + b_{464} CS + b_{465} DS \cdot CS + b_{466} DS + b_{467} CS + b_{468} DS \cdot CS + b_{469} DS + b_{470} CS + b_{471} DS \cdot CS + b_{472} DS + b_{473} CS + b_{474} DS \cdot CS + b_{475} DS + b_{476} CS + b_{477} DS \cdot CS + b_{478} DS + b_{479} CS + b_{480} DS \cdot CS + b_{481} DS + b_{482} CS + b_{483} DS \cdot CS + b_{484} DS + b_{485} CS + b_{486} DS \cdot CS + b_{487} DS + b_{488} CS + b_{489} DS \cdot CS + b_{490} DS + b_{491} CS + b_{492} DS \cdot CS + b_{493} DS + b_{494} CS + b_{495} DS \cdot CS + b_{496} DS + b_{497} CS + b_{498} DS \cdot CS + b_{499} DS + b_{500} CS + b_{501} DS \cdot CS + b_{502} DS + b_{503} CS + b_{504} DS \cdot CS + b_{505} DS + b_{506} CS + b_{507} DS \cdot CS + b_{508} DS + b_{509} CS + b_{510} DS \cdot CS + b_{511} DS + b_{512} CS + b_{513} DS \cdot CS + b_{514} DS + b_{515} CS + b_{516} DS \cdot CS + b_{517} DS + b_{518} CS + b_{519} DS \cdot CS + b_{520} DS + b_{521} CS + b_{522} DS \cdot CS + b_{523} DS + b_{524} CS + b_{525} DS \cdot CS + b_{526} DS + b_{527} CS + b_{528} DS \cdot CS + b_{529} DS + b_{530} CS + b_{531} DS \cdot CS + b_{532} DS + b_{533} CS + b_{534} DS \cdot CS + b_{535} DS + b_{536} CS + b_{537} DS \cdot CS + b_{538} DS + b_{539} CS + b_{540} DS \cdot CS + b_{541} DS + b_{542} CS + b_{543} DS \cdot CS + b_{544} DS + b_{545} CS + b_{546} DS \cdot CS + b_{547} DS + b_{548} CS + b_{549} DS \cdot CS + b_{550} DS + b_{551} CS + b_{552} DS \cdot CS + b_{553} DS + b_{554} CS + b_{555} DS \cdot CS + b_{556} DS + b_{557} CS + b_{558} DS \cdot CS + b_{559} DS + b_{560} CS + b_{561} DS \cdot CS + b_{562} DS + b_{563} CS + b_{564} DS \cdot CS + b_{565} DS + b_{566} CS + b_{567} DS \cdot CS + b_{568} DS + b_{569} CS + b_{570} DS \cdot CS + b_{571} DS + b_{572} CS + b_{573} DS \cdot CS + b_{574} DS + b_{575} CS + b_{576} DS \cdot CS + b_{577} DS + b_{578} CS + b_{579} DS \cdot CS + b_{580} DS + b_{581} CS + b_{582} DS \cdot CS + b_{583} DS + b_{584} CS + b_{585} DS \cdot CS + b_{586} DS + b_{587} CS + b_{588} DS \cdot CS + b_{589} DS + b_{590} CS + b_{591} DS \cdot CS + b_{592} DS + b_{593} CS + b_{594} DS \cdot CS + b_{595} DS + b_{596} CS + b_{597} DS \cdot CS + b_{598} DS + b_{599} CS + b_{600} DS \cdot CS + b_{601} DS + b_{602} CS + b_{603} DS \cdot CS + b_{604} DS + b_{605} CS + b_{606} DS \cdot CS + b_{607} DS + b_{608} CS + b_{609} DS \cdot CS + b_{610} DS + b_{611} CS + b_{612} DS \cdot CS + b_{613} DS + b_{614} CS + b_{615} DS \cdot CS + b_{616} DS + b_{617} CS + b_{618} DS \cdot CS + b_{619} DS + b_{620} CS + b_{621} DS \cdot CS + b_{622} DS + b_{623} CS + b_{624} DS \cdot CS + b_{625} DS + b_{626} CS + b_{627} DS \cdot CS + b_{628} DS + b_{629} CS + b_{630} DS \cdot CS + b_{631} DS + b_{632} CS + b_{633} DS \cdot CS + b_{634} DS + b_{635} CS + b_{636} DS \cdot CS + b_{637} DS + b_{638} CS + b_{639} DS \cdot CS + b_{640} DS + b_{641} CS + b_{642} DS \cdot CS + b_{643} DS + b_{644} CS + b_{645} DS \cdot CS + b_{646} DS + b_{647} CS + b_{648} DS \cdot CS + b_{649} DS + b_{650} CS + b_{651} DS \cdot CS + b_{652} DS + b_{653} CS + b_{654} DS \cdot CS + b_{655} DS + b_{656} CS + b_{657} DS \cdot CS + b_{658} DS + b_{659} CS + b_{660} DS \cdot CS + b_{661} DS + b_{662} CS + b_{663} DS \cdot CS + b_{664} DS + b_{665} CS + b_{666} DS \cdot CS + b_{667} DS + b_{668} CS + b_{669} DS \cdot CS + b_{670} DS + b_{671} CS + b_{672} DS \cdot CS + b_{673} DS + b_{674} CS + b_{675} DS \cdot CS + b_{676} DS + b_{677} CS + b_{678} DS \cdot CS + b_{679} DS + b_{680} CS + b_{681} DS \cdot CS + b_{682} DS + b_{683} CS + b_{684} DS \cdot CS + b_{685} DS + b_{686} CS + b_{687} DS \cdot CS + b_{688} DS + b_{689} CS + b_{690} DS \cdot CS + b_{691} DS + b_{692} CS + b_{693} DS \cdot CS + b_{694} DS + b_{695} CS + b_{696} DS \cdot CS + b_{697} DS + b_{698} CS + b_{699} DS \cdot CS + b_{700} DS + b_{701} CS + b_{702} DS \cdot CS + b_{703} DS + b_{704} CS + b_{705} DS \cdot CS + b_{706} DS + b_{707} CS + b_{708} DS \cdot CS + b_{709} DS + b_{710} CS + b_{711} DS \cdot CS + b_{712} DS + b_{713} CS + b_{714} DS \cdot CS + b_{715} DS + b_{716} CS + b_{717} DS \cdot CS + b_{718} DS + b_{719} CS + b_{720} DS \cdot CS + b_{721} DS + b_{722} CS + b_{723} DS \cdot CS + b_{724} DS + b_{725} CS + b_{726} DS \cdot CS + b_{727} DS + b_{728} CS + b_{729} DS \cdot CS + b_{730} DS + b_{731} CS + b_{732} DS \cdot CS + b_{733} DS + b_{734} CS + b_{735} DS \cdot CS + b_{736} DS + b_{737} CS + b_{738} DS \cdot CS + b_{739} DS + b_{740} CS + b_{741} DS \cdot CS + b_{742} DS + b_{743} CS + b_{744} DS \cdot CS + b_{745} DS + b_{746} CS + b_{747} DS \cdot CS + b_{748} DS + b_{749} CS + b_{750} DS \cdot CS + b_{751} DS + b_{752} CS + b_{753} DS \cdot CS + b_{754} DS + b_{755} CS + b_{756} DS \cdot CS + b_{757} DS + b_{758} CS + b_{759} DS \cdot CS + b_{760} DS + b_{761} CS + b_{762} DS \cdot CS + b_{763} DS + b_{764} CS + b_{765} DS \cdot CS + b_{766} DS + b_{767} CS + b_{768} DS \cdot CS + b_{769} DS + b_{770} CS + b_{771} DS \cdot CS + b_{772} DS + b_{773} CS + b_{774} DS \cdot CS + b_{775} DS + b_{776} CS + b_{777} DS \cdot CS + b_{778} DS + b_{779} CS + b_{780} DS \cdot CS + b_{781} DS + b_{782} CS + b_{783} DS \cdot CS + b_{784} DS + b_{785} CS + b_{786} DS \cdot CS + b_{787} DS + b_{788} CS + b_{789} DS \cdot CS + b_{790} DS + b_{791} CS + b_{792} DS \cdot CS + b_{793} DS + b_{794} CS + b_{795} DS \cdot CS + b_{796} DS + b_{797} CS + b_{798} DS \cdot CS + b_{799} DS + b_{800} CS + b_{801} DS \cdot CS + b_{802} DS + b_{803} CS + b_{804} DS \cdot CS + b_{805} DS + b_{806} CS + b_{807} DS \cdot CS + b_{808} DS + b_{809} CS + b_{810} DS \cdot CS + b_{811} DS + b_{812} CS + b_{813} DS \cdot CS + b_{814} DS + b_{815} CS + b_{816} DS \cdot CS + b_{817} DS + b_{818} CS + b_{819} DS \cdot CS + b_{820} DS + b_{821} CS + b_{822} DS \cdot CS + b_{823} DS + b_{824} CS + b_{825} DS \cdot CS + b_{826} DS + b_{827} CS + b_{828} DS \cdot CS + b_{829} DS + b_{830} CS + b_{831} DS \cdot CS + b_{832} DS + b_{833} CS + b_{834} DS \cdot CS + b_{835} DS + b_{836} CS + b_{837} DS \cdot CS + b_{838} DS + b_{839} CS + b_{840} DS \cdot CS + b_{841} DS + b_{842} CS + b_{843} DS \cdot CS + b_{844} DS + b_{845} CS + b_{846} DS \cdot CS + b_{847} DS + b_{848} CS + b_{849} DS \cdot CS + b_{850} DS + b_{851} CS + b_{852} DS \cdot CS + b_{853} DS + b_{854} CS + b_{855} DS \cdot CS + b_{856} DS + b_{857} CS + b_{858} DS \cdot CS + b_{859} DS + b_{860} CS + b_{861} DS \cdot CS + b_{862} DS + b_{863} CS + b_{864} DS \cdot CS + b_{865} DS + b_{866} CS + b_{867} DS \cdot CS + b_{868} DS + b_{869} CS + b_{870} DS \cdot CS + b_{871} DS + b_{872} CS + b_{873} DS \cdot CS + b_{874} DS + b_{875} CS + b_{876} DS \cdot CS + b_{877} DS + b_{878} CS + b_{879} DS \cdot CS + b_{880} DS + b_{881} CS + b_{882} DS \cdot CS + b_{883} DS + b_{884} CS + b_{885} DS \cdot CS + b_{886} DS + b_{887} CS + b_{888} DS \cdot CS + b_{889} DS + b_{890} CS + b_{891} DS \cdot CS + b_{892} DS + b_{893} CS + b_{894} DS \cdot CS + b_{895} DS + b_{896} CS + b_{897} DS \cdot CS + b_{898} DS + b_{899} CS + b_{900} DS \cdot CS + b_{901} DS + b_{902} CS + b_{903} DS \cdot CS + b_{904} DS + b_{905} CS + b_{906} DS \cdot CS + b_{907} DS + b_{908} CS + b_{909} DS \cdot CS + b_{910} DS + b_{911} CS + b_{912} DS \cdot CS + b_{913} DS + b_{914} CS + b_{915} DS \cdot CS + b_{916} DS + b_{917} CS + b_{918} DS \cdot CS + b_{919} DS + b_{920} CS + b_{921} DS \cdot CS + b_{922} DS + b_{923} CS + b_{924} DS \cdot CS + b_{925} DS + b_{926} CS + b_{927} DS \cdot CS + b_{928} DS + b_{929} CS + b_{930} DS \cdot CS + b_{931} DS + b_{932} CS + b_{933} DS \cdot CS + b_{934} DS + b_{935} CS + b_{936} DS \cdot CS + b_{937} DS + b_{938} CS + b_{939} DS \cdot CS + b_{940} DS + b_{941} CS + b_{942} DS \cdot CS + b_{943} DS + b_{944} CS + b_{945} DS \cdot CS + b_{946} DS + b_{947} CS + b_{948} DS \cdot CS + b_{949} DS + b_{950} CS + b_{951} DS \cdot CS + b_{952} DS + b_{953} CS + b_{954} DS \cdot CS + b_{955} DS + b_{956} CS + b_{957} DS \cdot CS + b_{958} DS + b_{959} CS + b_{960} DS \cdot CS + b_{961} DS + b_{962} CS + b_{963} DS \cdot CS + b_{964} DS + b_{965} CS + b_{966} DS \cdot CS + b_{967} DS + b_{968} CS + b_{969} DS \cdot CS + b_{970} DS + b_{971} CS + b_{972} DS \cdot CS + b_{973} DS + b_{974} CS + b_{975} DS \cdot CS + b_{976} DS + b_{977} CS + b_{978} DS \cdot CS + b_{979} DS + b_{980} CS + b_{981} DS \cdot CS + b_{982} DS + b_{983} CS + b_{984} DS \cdot CS + b_{985} DS + b_{986} CS + b_{987} DS \cdot CS + b_{988} DS + b_{989} CS + b_{990} DS \cdot CS + b_{991} DS + b_{992} CS + b_{993} DS \cdot CS + b_{994} DS + b_{995} CS + b_{996} DS \cdot CS + b_{997} DS + b_{998} CS + b_{999} DS \cdot CS + b_{1000} DS + b_{1001} CS + b_{1002} DS \cdot CS + b_{1003} DS + b_{1004} CS + b_{1005} DS \cdot CS + b_{1006} DS + b_{1007} CS + b_{1008} DS \cdot CS + b_{1009} DS + b_{1010} CS + b_{1011} DS \cdot CS + b_{1012} DS + b_{1013} CS + b_{1014} DS \cdot CS + b_{1015} DS + b_{1016} CS + b_{1017} DS \cdot CS + b_{1018} DS + b_{1019} CS + b_{1020} DS \cdot CS + b_{1021} DS + b_{1022} CS + b_{1023} DS \cdot CS + b_{1024} DS + b_{1025} CS + b_{1026} DS \cdot CS + b_{1027} DS + b_{1028} CS + b_{1029} DS \cdot CS + b_{1030} DS + b_{1031} CS + b_{1032} DS \cdot CS + b_{1033} DS + b_{1034} CS + b_{1035} DS \cdot CS + b_{1036} DS + b_{1037} CS + b_{1038} DS \cdot CS + b_{1039} DS + b_{1040} CS + b_{1041} DS \cdot CS + b_{1042} DS + b_{1043} CS + b_{1044} DS \cdot CS + b_{1045} DS + b_{1046} CS + b_{1047} DS \cdot CS + b_{1048} DS + b_{1049} CS + b_{1050} DS \cdot CS + b_{1051} DS + b_{1052} CS + b_{1053} DS \cdot CS + b_{1054} DS + b_{1055} CS + b_{1056} DS \cdot CS + b_{1057} DS + b_{1058} CS + b_{1059} DS \cdot CS + b_{1060} DS + b_{1061} CS + b_{1062} DS \cdot CS + b_{1063} DS + b_{1064} CS + b_{1065} DS \cdot CS + b_{1066} DS + b_{1067} CS + b_{1068} DS \cdot CS + b_{1069} DS + b_{1070} CS + b_{1071} DS \cdot CS + b_{1072} DS + b_{1073} CS + b_{1074} DS \cdot CS + b_{1075} DS + b_{1076} CS + b_{1077} DS \cdot CS + b_{1078} DS + b_{1079} CS + b_{1080} DS \cdot CS + b_{1081} DS + b_{1082} CS + b_{1083} DS \cdot CS + b_{1084} DS + b_{1085} CS + b_{1086} DS \cdot CS + b_{1087} DS + b_{1088} CS + b_{1089} DS \cdot CS + b_{1090} DS + b_{1091} CS + b_{1092} DS \cdot CS + b_{1093} DS + b_{1094} CS + b_{1095} DS \cdot CS + b_{1096} DS + b_{1097} CS + b_{1098} DS \cdot CS + b_{1099} DS + b_{1100} CS + b_{1101} DS \cdot CS + b_{1102} DS + b_{1103} CS + b_{1104} DS \cdot CS + b_{1105} DS + b_{1106} CS + b_{1107} DS \cdot CS + b_{1108} DS + b_{1109} CS + b_{1110} DS \cdot CS + b_{1111} DS + b_{1112} CS + b_{1113} DS \cdot CS + b_{1114} DS + b_{1115} CS + b_{1116} DS \cdot CS + b_{1117} DS + b_{1118} CS + b_{1119} DS \cdot CS + b_{1120} DS + b_{1121} CS + b_{1122} DS \cdot CS + b_{1123} DS + b_{1124} CS + b_{1125} DS \cdot CS + b_{1126} DS + b_{1127} CS + b_{1128} DS \cdot CS + b_{1129} DS + b_{1130} CS + b_{1131} DS \cdot CS + b_{1132} DS + b_{1133} CS + b_{1134} DS \cdot CS + b_{1135} DS + b_{1136} CS + b_{1137} DS \cdot CS + b_{1138} DS + b_{1139} CS + b_{1140} DS \cdot CS + b_{1141} DS + b_{1142} CS + b_{1143} DS \cdot CS + b_{1144} DS + b_{1145} CS + b_{1146} DS \cdot CS + b_{1147} DS + b_{1148} CS + b_{1149} DS \cdot CS + b_{1150} DS + b_{1151} CS + b_{1152} DS \cdot CS + b_{1153} DS + b_{1154} CS + b_{1155} DS \cdot CS + b_{1156} DS + b_{1157} CS + b_{1158} DS \cdot CS + b_{1159} DS + b_{1160} CS + b_{1161} DS \cdot CS + b_{1162} DS + b_{1163} CS + b_{1164} DS \cdot CS + b_{1165} DS + b_{1166} CS + b_{1167} DS \cdot CS + b_{1168} DS + b_{1169} CS + b_{1170} DS \cdot CS + b_{1171} DS + b_{1172} CS + b_{1173} DS \cdot CS + b_{1174} DS + b_{1175} CS + b_{1176} DS \cdot CS + b_{1177} DS + b_{1178} CS + b_{1179} DS \cdot CS + b_{1180} DS + b_{1181} CS + b_{1182} DS \cdot CS + b_{1183} DS + b_{1184} CS + b_{1185} DS \cdot CS + b_{1186} DS + b_{1187} CS + b_{1188} DS \cdot CS + b_{1189} DS + b_{1190} CS + b_{1191} DS \cdot CS + b_{1192} DS + b_{1193} CS + b_{1194} DS \cdot CS + b_{1195} DS + b_{1196} CS + b_{1197} DS \cdot CS + b_{1198} DS + b_{1199} CS + b_{1200} DS \cdot CS + b_{1201} DS + b_{1202} CS + b_{1203} DS \cdot CS + b_{1204} DS + b_{1205} CS + b_{1206} DS \cdot CS + b_{1207} DS + b_{1208} CS + b_{1209} DS \cdot CS + b_{1210} DS + b_{1211} CS + b_{1212} DS \cdot CS + b_{1213} DS + b_{1214} CS + b_{1215} DS \cdot CS + b_{1216} DS + b_{1217} CS + b_{1218} DS \cdot CS + b_{1219} DS + b_{1220} CS + b_{1221} DS \cdot CS + b_{1222} DS + b_{1223} CS + b_{1224} DS \cdot CS + b_{1225} DS + b_{1226} CS + b_{1227} DS \cdot CS + b_{1228} DS + b_{1229} CS + b_{1230} DS \cdot CS + b_{1231} DS + b_{1232} CS + b_{1233} DS \cdot CS + b_{1234} DS + b_{1235} CS + b_{1236} DS \cdot CS + b_{1237} DS + b_{1238} CS + b_{1239} DS \cdot CS + b_{1240} DS + b_{1241} CS + b_{1242} DS \cdot CS + b_{1243} DS + b_{1244} CS + b_{1245} DS \cdot CS + b_{1246} DS + b_{1247} CS + b_{1248} DS \cdot CS + b_{1249} DS + b_{1250} CS + b_{1251} DS \cdot CS + b_{1252} DS + b_{1253} CS + b_{1254} DS \cdot CS + b_{1255} DS + b_{1256} CS + b_{1257} DS \cdot CS + b_{1258} DS + b_{1259} CS + b_{1260} DS \cdot CS + b_{1261} DS + b_{1262} CS + b_{1263} DS \cdot CS + b_{1264} DS + b_{1265} CS + b_{1266} DS \cdot CS + b_{1267} DS + b_{1268} CS + b_{1269} DS \cdot CS + b_{1270} DS + b_{1271} CS + b_{1272} DS \cdot CS + b_{1273} DS + b_{1274} CS + b_{1275} DS \cdot CS + b_{1276} DS + b_{1277} CS + b_{1278} DS \cdot CS + b_{1279} DS + b_{1280} CS + b_{1281} DS \cdot CS + b_{1282} DS + b_{1283} CS + b_{1284} DS \$$

Réponse Y. Ces coefficients sont déterminés par un ajustement standard à moindres carrés. Analyses de Sont utilisés pour évaluer l'importance de chaque terme dans le modèle. Les résidus sont utilisés Pour calculer la variance des coefficients, qui est utilisé pour trouver la norme pour le test Si un coefficient est significatif ou non (Goupy, 2007).

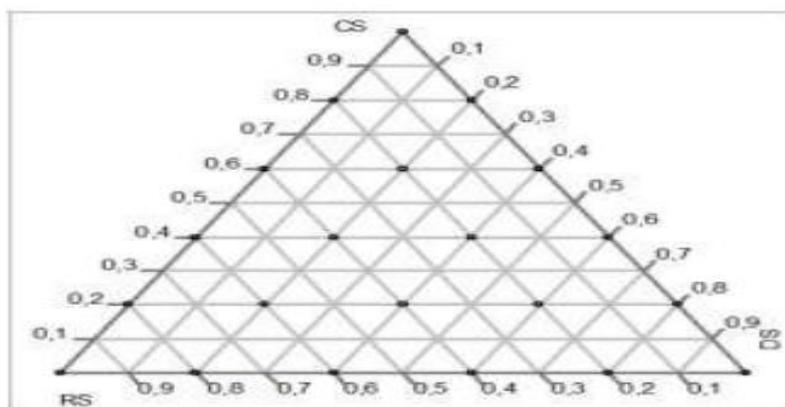


Figure 2.3. Illustration de la conception en treillis simplex avec trois facteurs (RS, CS et DS) et cinq niveaux. [Bédérina MEN 2014]

2.5 Effets de types de sables sur propriétés des mortiers

2.5.1 Effet sur la composition

Une recherche des A. R'mili, en 2009, a étudié l'incorporation de sable concassé (SC) de nature calcaire et de sable de désert (SD) de nature silico-calcaire dans la formation des BAP. Ces sables ont été remplacés par un sable roulé (SR) siliceux. Cette étude consiste à analyser l'influence de plusieurs combinaisons de sables sur les paramètres de la composition du BAP. Le procédé de formulation de BAP adopté est basé sur le remplissage du vide de la pâte granulaire. La substitution de SC par SR permet, pour toutes les proportions, à diminuer les vides granulaires, à augmenter la compacité du mélange et à diminuer l'eau et l'addition de proportion de fillers. Ces résultats ont été obtenus pour une substitution modérée de SD/SC (<40%) et un taux faible de SD/SR (20%). Pour des proportions plus élevées,

l'ajout de SD à SC ou à SR n'a pas amélioré les caractéristiques physiques du mélange granulaire de BAP.

- Les proportions de SD et de SR ne montrent pas un minimum net ; la porosité augmente linéairement avec la SD ce qui indique que le SD n'a pas amélioré la compacité des mélanges en raison de leurs finesesses élevées. .[R'mili, en 2009]

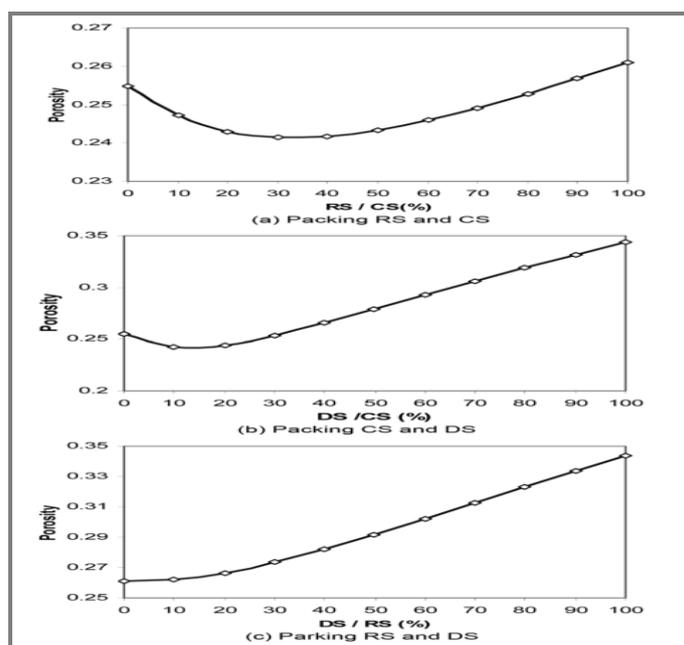


Figure 2.4 : Proportion des sables [A. R'MILI, 2009]

Différents types de sable ont été utilisés : sable broyé (SC), sable de rivière (SR), le sable de dune (SD) et un mélange de ces sables. Le physique Propriétés et les résultats de l'analyse des tamis de ces sables sont donnés dans le Fig. 2.4 respectivement

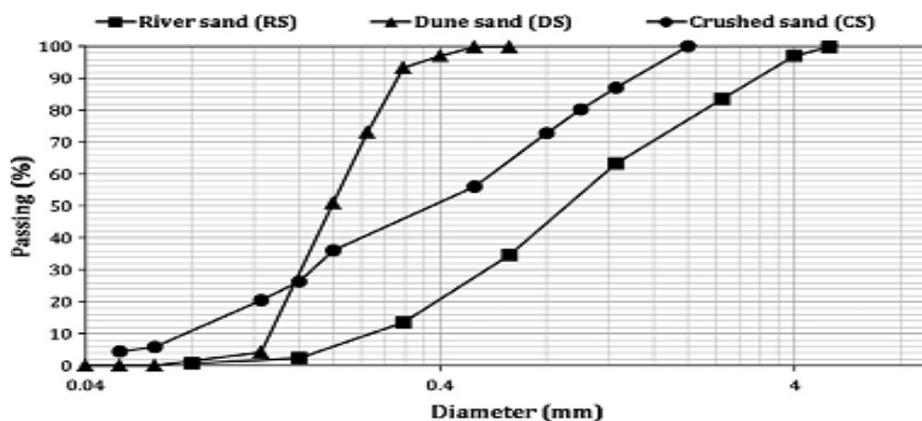


Figure. 2.5. Particle size distributions of different sands.[Benchaa en 2012]

2.5.2 Effet sur les propriétés rhéologiques

La rhéologie est une branche de la mécanique des milieux continue qui étudie l'écoulement et la déformation de la matière sous l'effet d'une contrainte appliquée. Elle permet de déterminer une relation entre la contrainte, la déformation et le temps à travers des modèles ou des lois mathématiques. L'étude du comportement rhéologique de la matière nous permet :

- de comprendre les interactions entre les différents composants d'un produit et d'obtenir un aperçu de la structure de l'échantillon. Il existe une relation entre la taille et la forme des particules ou des molécules dissoutes et/ou en suspension dans un solvant :
- d'effectuer le contrôle de la qualité d'un produit. Les essais rhéologiques nous permettent d'obtenir les propriétés d'un échantillon dans son ensemble ;
- de concevoir des équipements et des procédés. Le fonctionnement des pompes et des gazoducs est régi par le comportement rhéologique des substances.

Plusieurs recherche ont été menées afin d'avoir l'influence des taux de substitution en sables de carrière et de dune sur les comportements des BAP à l'état fais.

la recherche des A. R'mili, en 2009, a étudié également le comportement des BAP contenant différents types de sables aux états frais et durci . Ces sables, avec différentes tailles, se composent de plusieurs combinaisons de sable roulé (SR), sable concassé (SC) et sable du désert (SD). Les résultats des essais expérimentaux ont montré une amélioration de la maniabilité de BAP frais par la combinaison de différents sables de granulométrie variée. L'addition de SD à CS ou à SR a permis l'augmentation de la viscosité du mélange.

Dans cette étude, la formulation de BAP était basée sur le remplissage des vides inters granulaires par la pâte de liant afin d'obtenir une compacité maximale de la mixture. Le mélange granulaire est constitué de gravier et de plusieurs combinaisons des trois sables (SR, SR et SD). Ces combinaisons seront comparées avec les mélanges optimaux qui sont déterminés par l'emballage de modèle compressible. Les matériaux utilisés pour la composition de ces BAP sont :

- un sable roulé (SR) 0/2,5 siliceux et de teneur en fines de 1,8%,
- un sable concassé (SC) calcaire 0/5 et des amendes contenu de 12,44%,
- un sable de désert (SD) 0/0,4 siliceux de teneur en fines de 14,4%,
- un gravier concassé (G) de calcaire 4/16 (de la même carrière de SC),
- une filler de calcaire (F) 0/0,112 avec 96,6% <0,080 mm,
- un superplastifiant (SP) : un haut réducteur d'eau de nouvelle génération,
- un ciment (C) de type CEM I 42,5 conformes à la norme tunisienne NT 47.01.

Les BAP formulés sont soumis à des tests de maniabilité à l'état frais pour différents

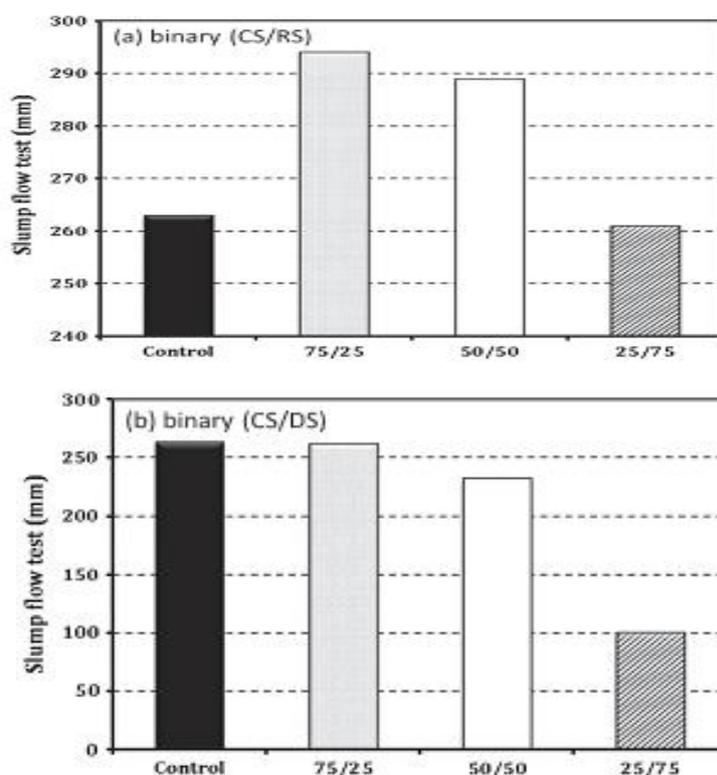
A. R'mili & al., en 2011, ont fait une autre étude sur l'effet du remplacement progressif du sable de concassage (SC) par le sable du désert (SD) sur le comportement à l'état frais et durci des BAP. Dans cette étude, ils ont confectionné différents mélanges de BAP en utilisant des matériaux et produits fabriqués en Tunisie ; un ciment de type CPA-CEM I 42,5, un superplastifiant SIKA (SP), un gravier (4/16), un filler calcaire et deux types de sables SC (0/6,3) et SD (0/0,315). Le sable de concassage, à granularité étalée, est un sous-produit de concassage des roches massives. Le sable du désert est un sable extra-fin qui est caractérisé par une distribution serrée de grosseur des grains. Renfermant naturellement des teneurs importantes en fines, ces deux sables peuvent être des composants intéressants pour la confection des BAP. Les chercheurs ont montré que les paramètres d'ouvrabilité (fluidité, viscosité et capacité du remplissage) des BAP sont améliorés lorsque le SC est partiellement (< 30%) remplacé par le SD. Cependant, à une teneur élevée (> 30%) en SD, des quantités supplémentaires en eau et en superplastifiant sont nécessaires, pour répondre aux exigences des BAP.

L. Zeghichi & al., en 2012, ont comparé les propriétés aux états frais et durci des BAP fabriqués à la base de sable concassé et sable de dune. Le sable de dune est un matériau fin caractérisé par une forte porosité intergranulaire, grande surface et ayant un module de finesse faible, d'autre part, le sable concassé possède un taux élevé de fine et ayant des grains de formes minces et irrégulières, ce qui influence sur l'ouvrabilité du béton. La quantité de sable de dune varie de (0, 50 et 100%)

par poids. Les résultats montrent que les propriétés rhéologiques sont favorables avec l'utilisation de sable de dune. [R'mili A.]

2.5.3 Essai d'écoulement

Une recherche des Benchara . B en 2012 a étudié des Les résultats d'écoulement du mortier avec différents types de sables sont Représenté sur la Fig. 2.5. Les diamètres d'écoulement de tous les mélanges ont été maintenus Dans la plage de (250-300 mm). Toutefois, pour les mortiers faits de sable mélangé, Teneur en sable de dune est jusqu'à 50% dans les mortiers binaires et ternaires, Le sable de dune a considérablement Réduit l'écoulement d'affaissement. Cela est dû à Les dunes de sable qui requièrent une forte demande d'eau et Une quantité plus importante de ciment que de sable broyé ou de Atteindre une grande fluidité. Le sable de la rivière augmente le Mortier avec un mélange de rivières et de sables concassés. [Benchara]



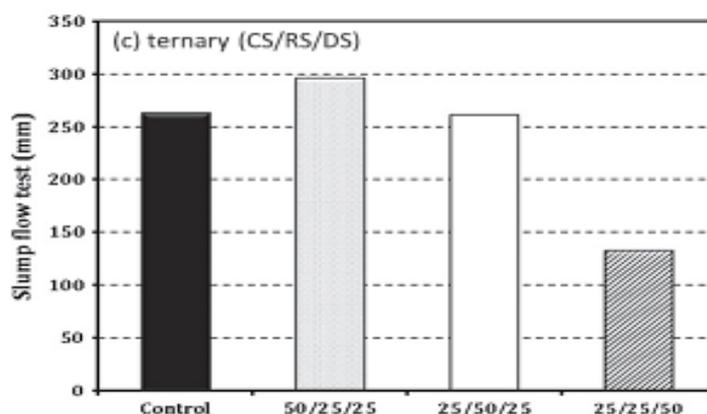


Fig. 2.6: Essai d'écoulement de mortier de mortier effectué avec: (a) sable binaire (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD).[Benchaa en 2012]

2.5.4 Corrélation entre la viscosité et le temps d'écoulement de l'entonnoir en V

Une recherche des Benchaa B en 2012 a étudié la corrélation le temps d'écoulement de l'entonnoir en V. Comme on le sait, le test en flux en V mesure la fluidité et la viscosité de MAP. Dans le flux V-funnel Essai, le mortier commence à s'écouler lorsque la limite d'élasticité est dépassée. Une fois que le béton frais commence à s'écouler, la contrainte de cisaillement augmente linéairement Avec une augmentation de la déformation telle que définie par la viscosité plastique comme mesure de la facilité d'écoulement. Par conséquent, comme on le voit sur la Fig. 2.6 a linéaire Relation entre la viscosité et le temps d'écoulement de l'entonnoir en V de MAP avec un coefficient de corrélation raisonnable ($R^2 = 0,75$) a été obtenu. Cette relation suggère qu'avec l'augmentation de la viscosité De MAP, on s'attend à ce que le mortier ait un temps d'écoulement en V-entonnoir élevé. Figure. 2.7. Essai de temps d'écoulement à l'entonnoir en V du mortier fabriqué avec. (a) sable binaire (SC / SR), (b) Sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD). Figure. 2.8. Viscosité du mortier fabriqué avec: (a) sable binaire (CS / RS), (b) sable binaire (SC / SD), et c) le sable ternaire (SC / SR / SD) .[Benchaa]

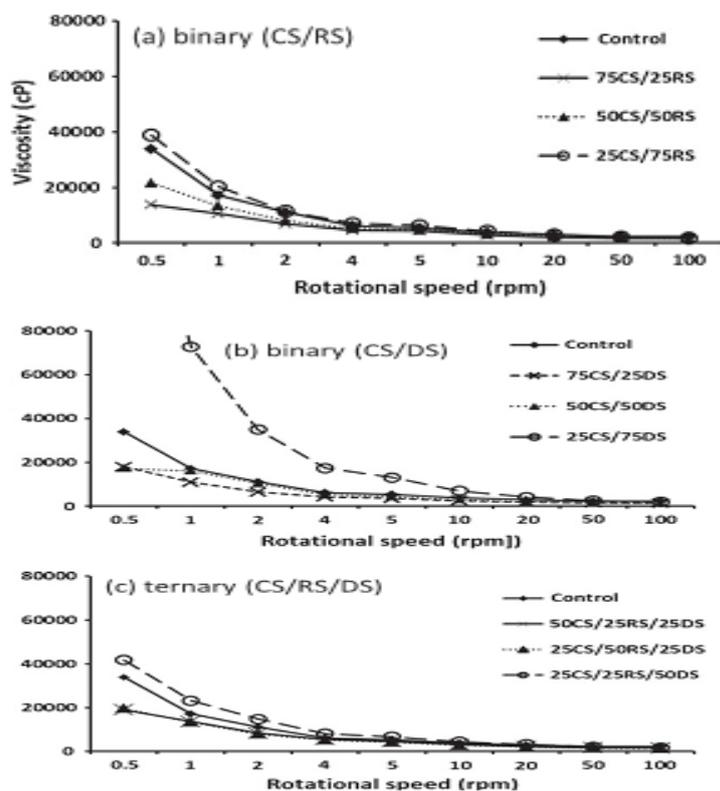


Fig.2.7: Viscosité du mortier fabriqué avec: (a) sable binaire (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD).[Benchaa en 2012]

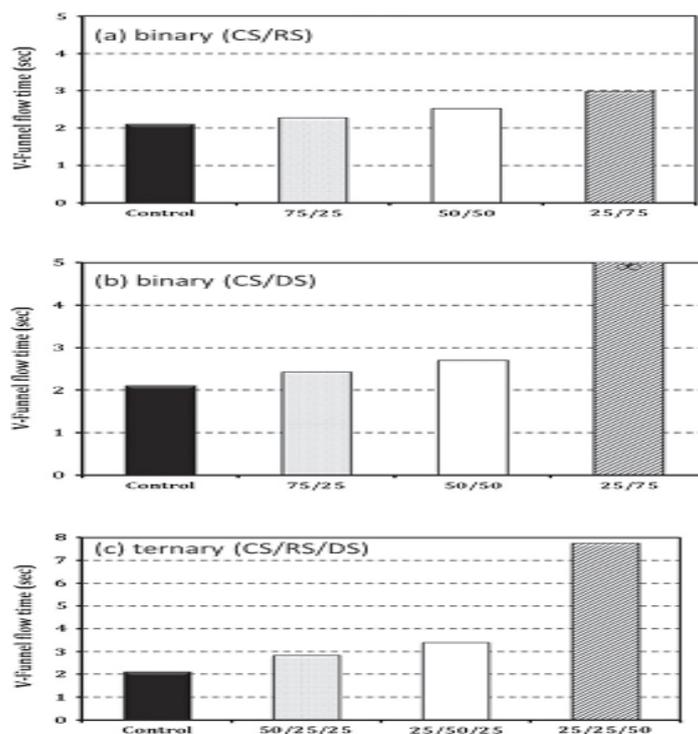


Fig. 2.8: Test de temps d'écoulement en entonnoir V du mortier fabriqué avec: (a) sable binaire (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD)[Benchaa en 2012]

Figure. 2.9 La courbe d'équation ajustée de la viscosité dépendante du temps du mortier réalisée avec Sable ternaire (50SC / 25SR / 25SD) à différentes vitesses de rotation. Des résultats similaires ont également été rapportés par d'autres chercheurs [27,28]. Comme un test moins sophistiqué, le temps d'écoulement du V-funnel est corrélé à Cas avec viscosité à une certaine vitesse de rotation du viscosimètre. Cependant, les coefficients de corrélation ne semblent pas très élevés. Ils ne reflètent que la tendance générale de la relation.

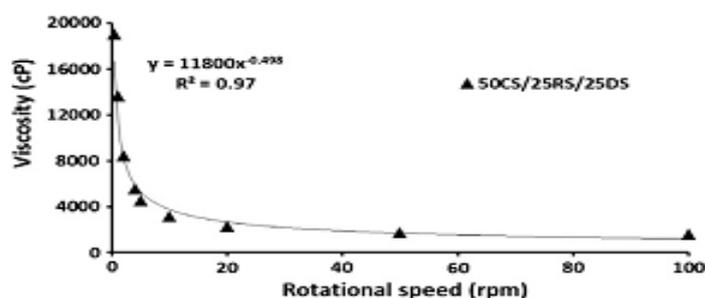


Fig. 2.9: La courbe d'équation ajustée de la viscosité dépendante du temps de mortier fabriquée avec des résines et (50SC / 25SR / 25SD) à différentes vitesses de rotation [Benchaa en 2012]

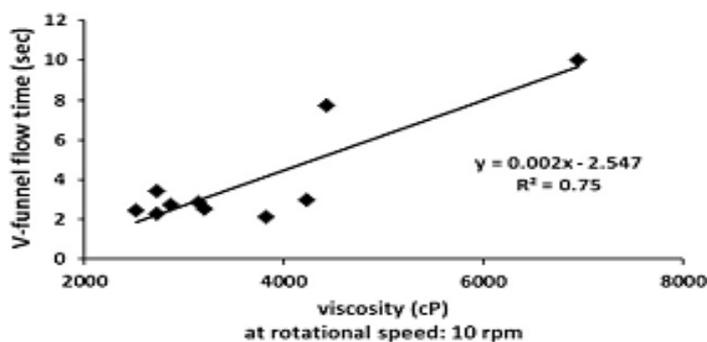


Fig. 2.10: Relation entre le temps d'écoulement de l'entonnoir en V et la viscosité du mélange témoin à une vitesse de rotation de 10 tr / min [Benchaa en 2012]

2.5.5 Résistance à la compression

Une recherche des Benchaa .B en 2012 a étudié les résultats des essais sur la résistance à la compression. Les compositions sont données à la Fig. 2.10. Il est clair que les mortiers contenant le sable de rivière à différents contenus avaient une résistance à la compression élevée. Que le mortier fabriqué avec des sables écrasés ou dunaires. En outre, le mortier avec des sables binaires ou ternaires était supérieure à celui du mortier fait avec du sable écrasé seulement à tous les âges.

C'était aussi Observé qu'il y avait une réduction de la résistance à la compression du Mortiers avec une teneur croissante en sable de dune (jusqu'à 50%) en binaire Et les sables ternaires. Une augmentation de la teneur en sable des dunes de 25% à 50% ont réduit la résistance à la compression de 13% à l'âge de 28 jours. Cette diminution de la résistance est attribuée à l'augmentation de la Surface des agrégats fins nécessitant plus de ciment pour revêtir la surface Des granulats. L'utilisation de sables binaires et ternaires a eu un effet positif Amélioration de la résistance à la compression pourvu que la quantité de dunes Le sable est limité à 25%. [Benchaa]

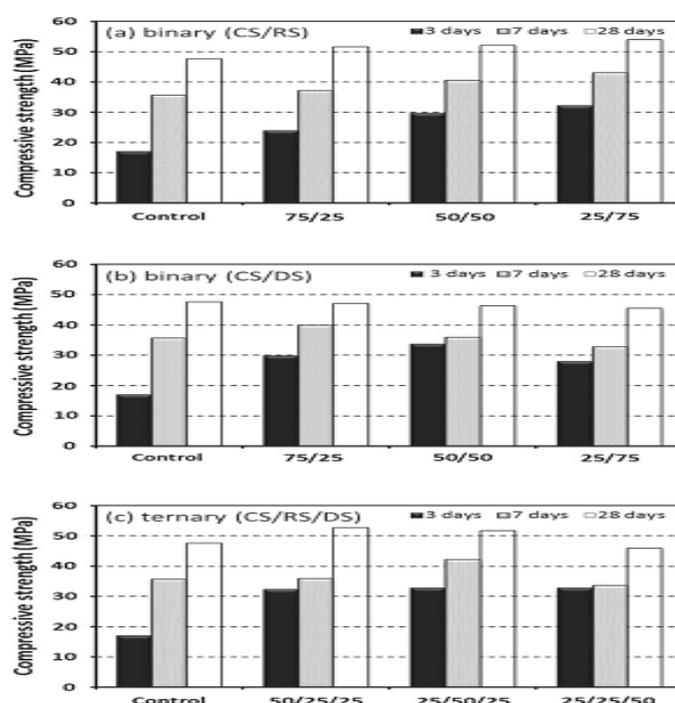


Fig. 2.11: Résistance à la compression à (3, 7 et 28 jours) de mortier fabriqué avec: (a) binaire et (SC / SR), (b) sable binaire (SC / SD), et (c) sable ternaire (SC / SR / SD). [Benchaa en 2012]

2.6 Effet des fines de calcaire sur les propriétés des mortiers

2.6.1 Ecoulement

Une recherche des Benchaa . B en 2012 Une recherche des Benchaa .B en 2012 a étudié Les résultats de l'essai d'écoulement sont donnés à la Fig. 2.11. Sur cette

figure, Est évident que, à mesure que le pourcentage de fines de calcaire dans le mortier augmente, L'écoulement diminue. Cela pourrait s'expliquer par Augmentation de la finesse et de la surface spécifique des agrégats fins En raison de l'augmentation de la teneur en fines et donc plus d'eau Nécessaire pour mouiller la surface des particules comme l'a également rapporté [Bosiljkov].

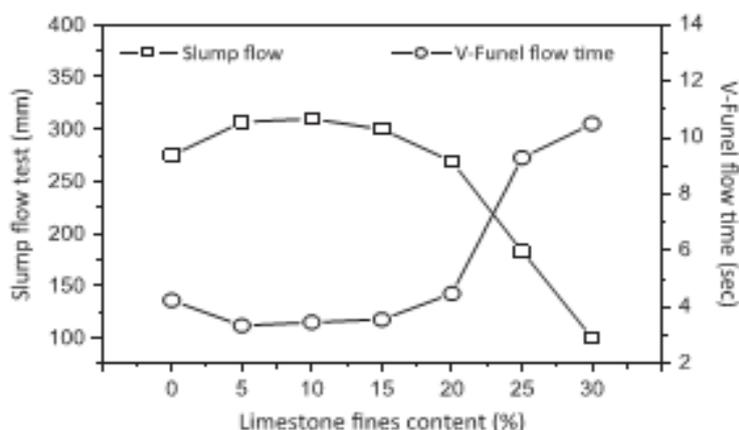


Fig. 2.12: Débit d'écoulement et temps d'écoulement de l'entonnoir en V du mortier fabriqué avec différentes matières fines de calcaire.

2.6.2 Test du temps d'écoulement à l'entonnoir en V

Une recherche des Benchara . B en 2012 Les temps d'écoulement en V. On peut voir à partir de cette étude que si les amendes de calcaire Teneur en mortier frais augmente, le temps d'écoulement du mortier frais augmente. On observe que lorsque la teneur en fines de calcaire est respectivement 10% et 15%, le mortier a obtenu une meilleure fluidité. Cependant, pour les particules fines de calcaire, plus de 15%, une perte d'écoulement a été obtenue. [Benchara]

2.6.3 Résistance à la compression

Une recherche des Benchara . B en 2012 Les résultats de la résistance à la compression à 3, 7 et 28 jours sont représentés sur la Fig. 2.12. On constate que la résistance à la compression À 3, 7 et 28 jours augmente à un maximum aux amendes de calcaire 3456/5000 Contenu entre 10% et 15%. Pour les amendes de

calcaire plus élevées De 15%, la résistance à la compression diminue. C'est probablement Due à une pâte de ciment insuffisante pour enrober toutes les particules d'agrégats d'ailettes Ce qui conduit par conséquent à une diminution de la compression force, Des résultats similaire sont été rapportés par Menadi [17] Sur la résistance du mortier incorporant du sable écrasé avec 15% Teneur en fines de calcaire. Pour les spécimens sans ou avec seulement 5% Fines de calcaire, il n'y a pas assez de particules fines pour remplir tous les vides Entre la pâte de ciment et les particules fines d'agrégats et Des valeurs de résistance à la compression plus faibles que celles 10-15% de teneur en fines de calcaire. .[14]

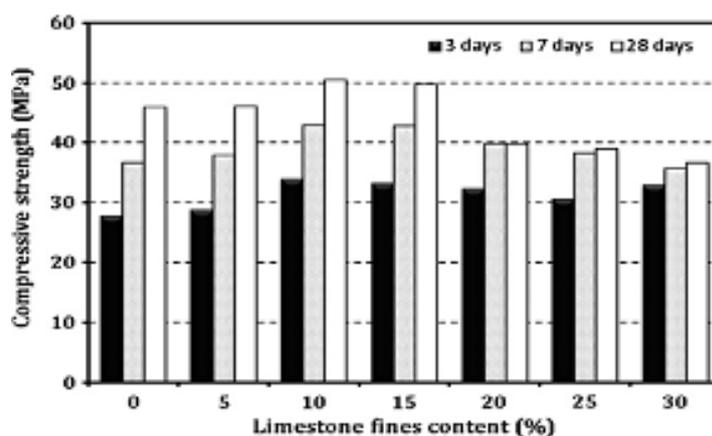


Fig. 2.13. Résistance à la compression à (3, 7 et 28 jours) de mortier fabriqué avec diverses fines fines de calcaire..[Benchaa en 2012]

2.7 Conclusion

Les recherches antérieures ont montré que la combinaison de plusieurs types de sables permet d'augmenter de la compacité du mélange granulaire, et par conséquent de réduire les vides inter granulaires. Par ailleurs, cette combinaison contribue à l'amélioration des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des BAP. En effet, avec un dosage donné en le superplastifiant, les propriétés à l'état frais sont optimales pour une proportion de 30% de sable de dune ou des proportions de 30 à 40% de sable concassé. Les résistances mécaniques de BAP sont augmentées par l'ajout de sable concassé au sable roulé et leur optimum est atteint pour 70% de sable concassé. Cependant, ces résistances à la compression

sont diminuées par l'addition de sable de dune au sable concassé et leur optimum est obtenu pour 15% de sable de dune. De la même manière, les résistances à la compression sont diminuées lorsque le sable roulé est remplacé par le sable de dune. Par ailleurs, les résistances à la traction sont élevées pour le BAP contenant de sable de carrières. Pour les BAP à dosage élevé en sable de dune, les résultats de résistance à la traction sont attirants.

CHAPITRE 3 : MATÉRIAUX UTILISÉS ET ESSAIS RÉALISÉS

3.1 Introduction

Ce chapitre, présente les caractéristiques de matériaux utilisés dans ce projet, ainsi que les différents essais expérimentaux. Ajoutons que ce travail expérimental a été effectué suivant les normes Européennes en vigueur, sauf les essais de l'étalement et temps d'écoulement de les MAP frais, qui ne sont pas normalisés.

3.2 Caractéristiques des matériaux

Dans le cadre de cette étude, nous avons confectionné les MAP en se basant sur les matériaux locaux suivants :

3.2.1 Sable

Nous avons utilisé trois types des sables de même classe granulaire 0/3 et prélevés tous de la région de Djelfa ;

- sable alluvionnaire (SA), de Djelfa.
- sable de carrière(SC), de Zakkar.
- sable de dune (SD), de Sidi Bayzid (Nabka).

Les échantillons de différents types de sables représentés respectivement dans la photo 3.1.



Photo 3.1 : Échantillons des sables

3.2.2 Ciment

Nous avons utilisé un seul type de ciment Portland CPA-CEM I 42,5 provenant d'une unique livraison de la cimenterie LAFARGE à M'sila. Ainsi, la qualité de ce ciment constitue une constante au niveau des paramètres d'étude. Ses analyses chimiques et physiques communiquées par le producteur sont données respectivement par les tableaux 3.1 et 3.2.

Tableau 3.1 : Analyse chimique de ciment

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	L.O.I
Teneur [%]	21.36	4.98	3.63	65.86	2.06	0.93	0.08	0.77	0.02	2.48

Tableau 3.2 : Propriétés physiques des ciments

Caractéristique physique	Valeur
Masse volumique apparente (kg/m ³)	1130
Masse volumique absolue (kg/m ³)	3100
Surface spécifique du ciment (cm ² /g)	3917
Consistance normale (%)	27.48
Début de prise	2 h 20 mn
Fin de prise	3 h 23 mn

3.2.3 Fillers calcaires

Nous avons utilisé des fillers calcaires broyés provenant de laboratoire Génie civil (Université de Laghouat). Ils possèdent les propriétés physiques suivantes ; densité absolue de 2,70, densité apparente de 1,14 et surface spécifique de 4180 cm²/g (photo 3.2). Ses analyses chimiques sont données par la photo 3.2, le tableau 3.3 et la figure 3.3.



Photo 3.2 : Fillers calcaires

Tableau 3.3 : Analyse chimique de fillers calcaires

Composant	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	PAF
Teneur [%]	0.76	0.41	0.23	54.9	0.61	0.24	0.04	0.61	0.005	36.3

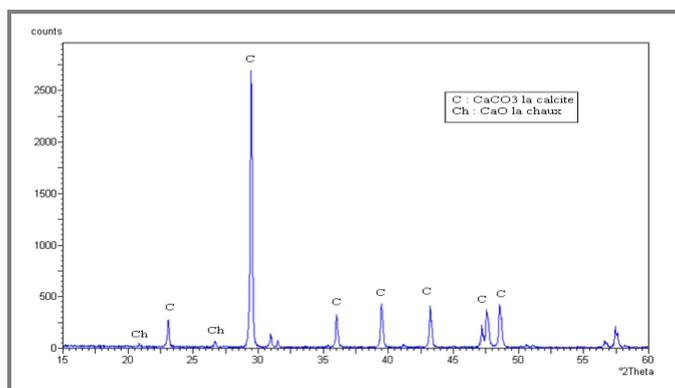


Figure 3.1 : Diffractogramme aux rayons X des fillers calcaires [Ben fattacha. M.2016]

3.2.4 Superplastifiant

Nous avons utilisé un super-plastifiant sous forme de liquide brune, conçu à base de polycarboxylates d'Ether conforme à la norme (EN 934-2. Il est un haut réducteur d'eau de la troisième génération.) (Photo. 3.4). Les caractéristiques de ce superplastifiant sont données par le tableau 3.4.



Photo 3.3 : Superplastifiant

Tableau 3.4 : Caractéristiques du superplastifiant

Masse volumique	1100 kg/m ³
PH	6 → 6.5
Teneur en chlore	< 0.1 g/l
Pourcentage d'extrait sec en masse	30 %
Plage de dosage recommandée	0.5 à 2.0 %

3.2.5 Eau de gâchage

Nous avons utilisé l'eau utilisée robinet de l'Université de Djelfa, qui contient peu de sulfate et dont la température est de $20^{\circ} \pm 1^{\circ}C$. Nous supposons que sa qualité répond à toutes les prescriptions de la norme (EN 1008) en matière de béton.

3.3 Essais réalisés

Durant notre étude, nous avons réalisé trois familles d'essais pour caractériser les mortiers au laboratoire ;

- Essais de la masse volumique.
- Essais d'Equivalent de sable.
- Essais de l'analyse granulométrique.
- Essais de la compacité des granulats.
- Essais de caractérisation de la pate et de mortier à l'état frais.
- Essais de la résistance à la compression des mortiers.

3.3.1 Essai de la masse volumique

3.3.1.1 Masse volumique apparente :

Nous avons mesuré la masse volumique apparente des sables de dunes étudiés, par la détermination de la masse d'un remplissage d'une mesure de un litre, qui doit être effectué sans aucun tassement. 3 essais ont été effectués. La précision de la balance utilisée est de 0.1grammes.

$$MVap = \frac{M}{V}$$

les valeurs moyennes obtenues sont représentées sur le tableau .

3.3.1.2 Masse volumique absolue :

Nous avons rempli l'éprouvette d'un volume d'eau (noté V_1). Ensuite nous avons introduit dans l'éprouvette environ 300g de l'échantillon testé (notée M_s). Après l'élimination de toutes les bulles d'air par une légère agitation, nous avons lu le nouveau volume (noté V_2). La Lecture des volumes a été faite en bas du ménisque. La masse est alors calculée : D'où la masse volumique:

$$MVab = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

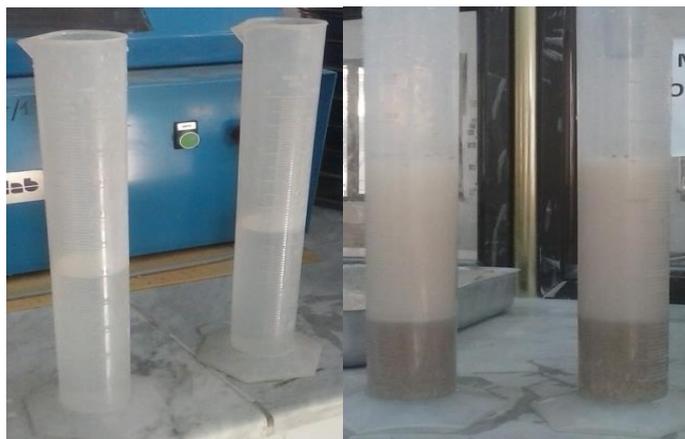


Photo 3.4 : Masse volumique absolue

Tableau 3.5 : Masse volumique apparente et absolue

Sables	Masse Moy [g]	MV App [g/cm ³]	MV Ab [g/cm ³]	Degré d'absorption [%]
Sable de Rivière	7710	1,542	2,516	0,320
Sable de Carrière	7630	1,526	2,636	0,350
Sable de Dune	7660	1,532	2,530	1,690

3.3.2 Essais d'Equivalent de sable

Le sable est un grain minéral dont le diamètre est inférieur à 5mm. Il est utilisé dans le mortier a fin de combler les vides entre les grains de gravier.

A l'état naturel, le sable se compose de grains de diamètres inférieurs à 5mm. Mais, il compose de grains minéraux comme de grains organiques (argile). Ces grains organiques sont un diamètre inférieur à 0.08mm. Le mélange est appelé sable à partir du moment ou à l'œil, il se compose d'avantage de grain supérieur à 0.08mm. Cela signifie que le mot sable désigne deux choses. Le sable brut composé uniquement de grains minéraux et le sable tel qu'on le trouve dans la nature composé d'un mélange de sable brut et d'argile.les valeurs moyennes obtenues sont représentés sur le tableau 3.6 .

$$Es = \frac{h2}{h1} \times 100$$

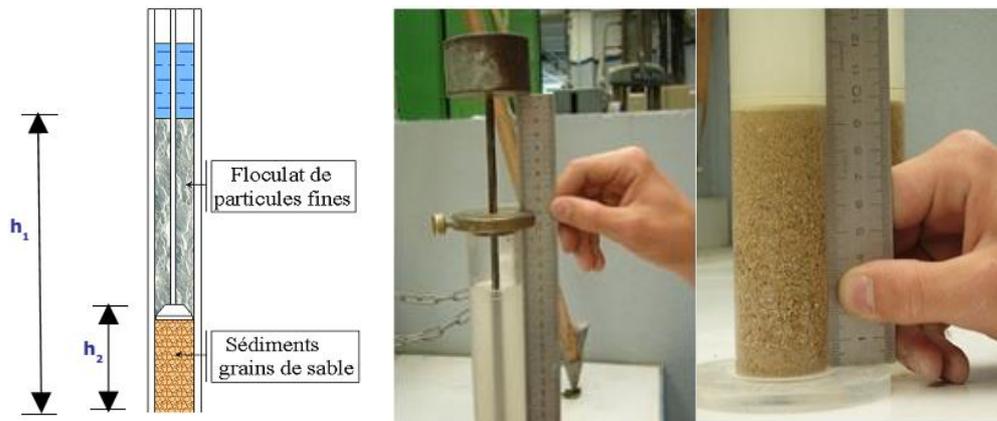


Figure 3.2 : Essais d'Equivalent de sable

Tableau 3.6 : Equivalent de sable

Sables non lavées	ES 1	ES 2	ES 3	ES
Sable de Rivière SR	88,80	77,30	78,00	81,37
Sable de Carrière SC	72,70	70,00	69,50	70,73
Sable de Dune SD	83,80	84,50	81,00	83,10

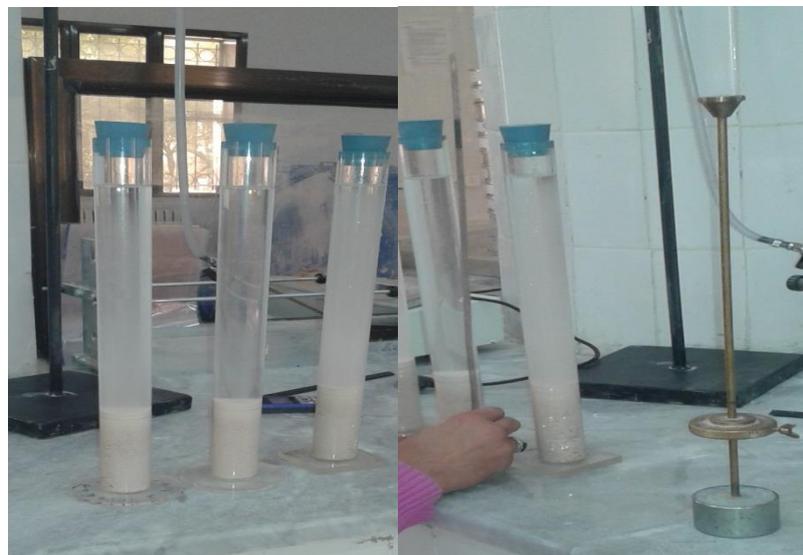


Photo 3.5 : Equivalent de sable

3.3.3 Essais de l'analyse granulométrique

Tamis [mm]	Sable rivière		Sable carrière		Sable dune	
	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]	Refus [%]	Tamisât [%]
6,3	3,65	96,35	0,00	100,00	1,66	98,34
5	4,45	95,55	0,07	99,93	2,23	97,77
4	5,10	94,90	0,27	99,73	2,77	97,23
3,15	5,72	94,28	3,47	96,53	3,34	96,66
2,5	6,39	93,61	10,67	89,33	3,77	96,23
2	7,00	93,00	19,53	80,47	4,11	95,89
1,6	7,63	92,37	29,71	70,29	4,39	95,61
1,25	8,35	91,65	38,79	61,21	4,70	95,30
1	9,26	90,74	46,32	53,68	4,98	95,02
0,8	11,04	88,96	56,02	43,98	5,56	94,44
0,63	15,01	84,99	63,05	36,95	7,34	92,66
0,5	21,92	78,08	71,01	28,99	11,50	88,50
0,315	70,81	29,19	79,59	20,41	67,86	32,14
0,25	82,39	17,61	84,17	15,83	83,21	16,79
0,2	90,36	9,64	88,26	11,74	92,97	7,03
0,16	95,40	4,60	92,50	7,50	97,76	2,24
0,08	98,93	1,07	96,56	3,44	99,75	0,25
Fond	99,93	0,07	99,83	0,17	99,96	0,04

Tableau3.7: Ouvertures des tamis en (mm)

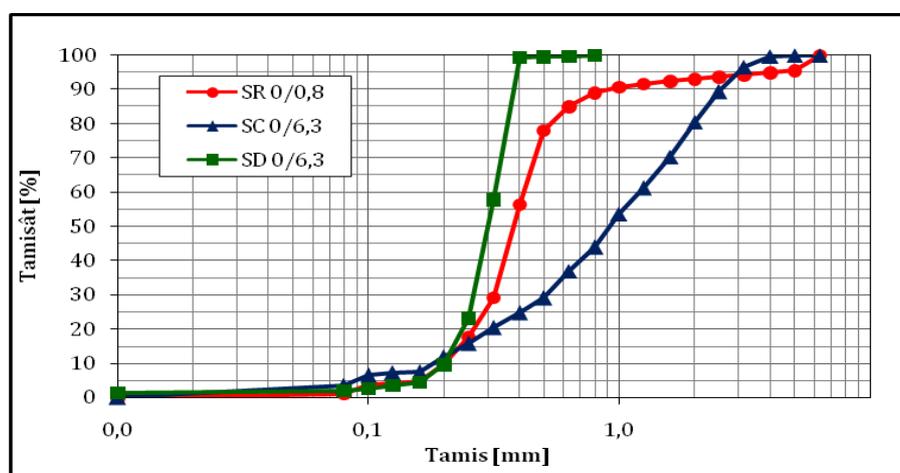


Figure 3.3 : Analyse granulométrique des sables

La norme XP P 18-540 définit : le module de finesse MF d'un sable qui caractérise sa granularité comme le 1/100 ème de la somme des refus, exprimés en pourcentages, sur les tamis des séries suivantes : (0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0) mm.

→**Sable de Rivière :**

$$Mf = (4.45+6.39+8.35+15.01+70.81+90.45) / 100 = 2.00$$

le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.

→**Sable de carrière :**

$$Mf = (0.07+10.67+38.79+63.05+79.59+92.50) / 100 = 2.85$$

le sable convient bien pour obtenir une moins bonne ouvrabilité et une résistance élevée avec des risques de ségrégations.

→**Sable de dune:**

$$Mf = (2.23+3.77+4.70+7.34+67.86+97.76) / 100 = 1.84$$

le sable convient bien pour obtenir une bonne ouvrabilité et une résistance satisfaisante.

3.3.4 Essais de la compacité lâche

–La compacité des granulats (graviers et sables) et des bétons est mesuré par une moule cylindrique rigide de 5 litres de volume (Pho. 3.4 & 3.5 &3.6). Le mode de versement est réalisé sans aucune énergie extérieure.



Photo 3.6 : Essai de la compacité des sables

3.3.5 Essais réalisés à l'état frais

Comme rapporté au chapitre 1, il existe dans la littérature plusieurs tests caractérisant les propriétés rhéologiques des MAP. Cependant, dans notre étude, nous nous basons seulement sur les essais résumés au tableau 3.10. Le programme de ces essais est représenté aux photos 3.7, 3.8 et 3.9.

Tableau 3.08 : Programme des essais réalisés à l'état frais

Type d'essais	Paramètre
étalement au mini cône de pate	fluidité
étalement au mini cône à mortier	fluidité
Temps d'écoulement au mini entonnoir à mortier	fluidité

Tableau 3.09 : L'étalement de la pate en fonction de dosage massique de FC et E/C

Liant : 100%C	Etalement Relatif Γ_m	18,66		20,21		23,35		26,01		28,82		33,28	
	Etalement [mm]	168,5		175		187,5		197,5		207,5		222,5	
Constituants	MV Ab [g/cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]
Ciment	3,10	500	161,29	500	161,29	500	161,29	500	161,29	500	161,29	500	161,29
Filler Calcaire	2,60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48
Dosage Superplastifiant : %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	161	500	161,29	500	161,29	500	161,29	500	161,29	500	161,29
Pâte		633	294	658	318,77	683	343,77	708	368,77	733	393,77	758	418,77
Liant : 90%C+10%FC	Etalement Relatif Γ_m	17,29		21,44		24,26		25,33		27,40		32,52	
	Etalement [mm]	162,5		180		191		195		202,5		220	
Constituants	MV Ab [g/cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]	Masse [g]	Volume [cm ³]
Ciment	3,10	450	145,16	450	145,16	450	145,16	450	145,16	450	145,16	450	145,16
Filler Calcaire	2,60	50	19,23	50,00	19,23	50	19,23	50	19,23	50	19,23	50	19,23
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48

Dosage Superplastifiant %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	164	500	164,39	500	164,39	500	164,39	500	164,39	500	164,39
Pâte		633	297	658	321,87	683	346,87	708	371,87	733	396,87	758	421,87
Liant : 80%C+20%FC	Etalement Relatif Γ_m	19,61		21,19		23,35		26,01		28,82		33,28	
	Etalement [mm]	172,5		179		187,5		197,5		207,5		222,5	
Constituants	MV Ab [g/cm³]	Masse [g]	Volum e [cm³]										
Ciment	3,10	400	129	400	129	400	129	400	129	400	129	400	129
Filler Calcaire	2,60	100	38	100	38	100	38	100	38	100	38	100	38
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48
Dosage Superplastifiant %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	167	500	167,00	500	167,00	500	167,00	500	167,00	500	167,00
Pâte		633	299	658	324,48	683	349,48	708	374,48	733	399,48	758	424,48
Liant : 70%C+30%FC	Etalement Relatif Γ_m	20,82		22,70		23,61		26,01		28,82		32,52	
	Etalement [mm]	177,5		185		188,5		197,5		207,5		220	
Constituants	MV Ab [g/cm³]	Masse [g]	Volum e [cm³]										
Ciment	3,10	350	113	350	113	350	113	350	113	350	113	350	113
Filler Calcaire	2,60	150	58	150	58	150	58	150	58	150	58	150	58
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48
Dosage Superplastifiant %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	171	500	171,00	500	171,00	500	171,00	500	171,00	500	171,00
Pâte		633	303	658	328,48	683	353,48	708	378,48	733	403,48	758	428,48
Liant : 60%C+40%FC	Etalement Relatif Γ_m	19,37		19,61		23,74		26,01		29,54		30,27	
	Etalement [mm]	171,5		172,5		189		197,5		210		212,5	
Constituants	MV Ab [g/cm³]	Masse [g]	Volum e [cm³]										
Ciment	3,10	300	97	300	97	300	97	300	97	300	97	300	97
Filler Calcaire	2,60	200	77	200	77	200	77	200	77	200	77	200	77
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48
Dosage Superplastifiant %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	

Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	174	500	174,00	500	174,00	500	174,00	500	174,00	500	174,00
Pâte		633	306	658	331,48	683	356,48	708	381,48	733	406,48	758	431,48
Liant : 50%C+50%FC	Étalement Relatif Γ_m	19,61		20,21		21,44		25,33		30,27		31,76	
	Étalement [mm]	172,5		175		180		195		212,5		217,5	
Constituants	MV Ab [g/cm ³]	Masse [g]	Volum e [cm ³]	Masse [g]	Volum e [cm ³]	Mas se [g]	Volum e [cm ³]	Masse [g]	Volum e [cm ³]	Masse [g]	Volum e [cm ³]	Masse [g]	Volum e [cm ³]
Ciment	3,10	250	81	250	81	250	81	250	81	250	81	250	81
Filler Calcaire	2,60	250	96	250	96	250	96	250	96	250	96	250	96
Eau	1	125	125	150	150	175	175	200	200	225	225	250	250
Superplastifiant	1,07	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48	8,00	7,48
Dosage Superplastifiant %L		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6		1,6	
Rapport massique : Eau /Ciment		0,25		0,30		0,35		0,40		0,45		0,50	
Liant		500	177	500	177,00	500	177,00	500	177,00	500	177,00	500	177,00
Pâte		633	309	658	334,48	683	359,48	708	384,48	733	409,48	758	434,48

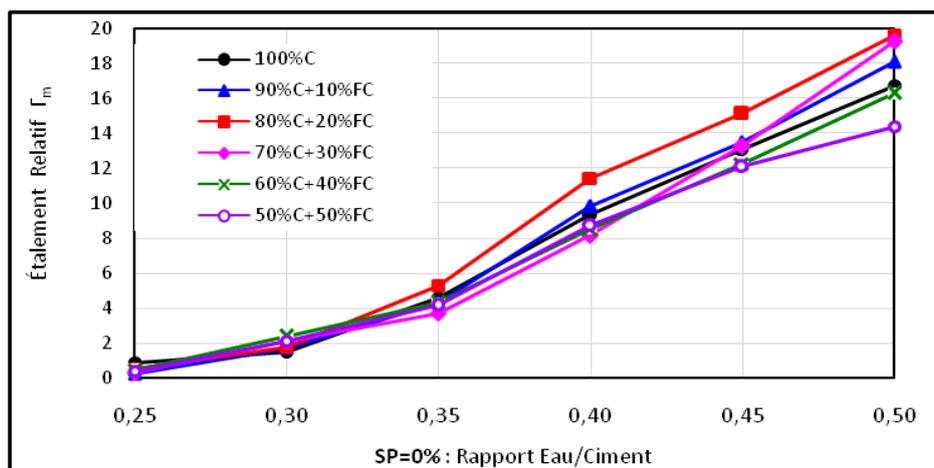


Figure 3.04 : Étalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP=0%

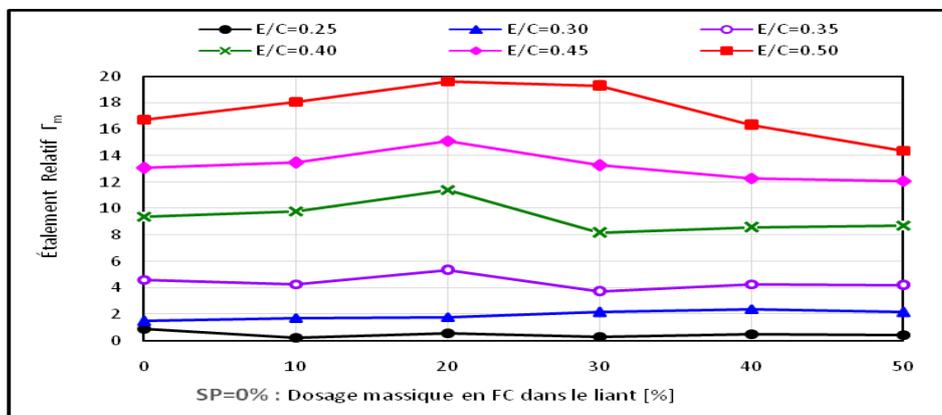


Figure 3.05 : Étalement relatif en fonction de rapport E/C

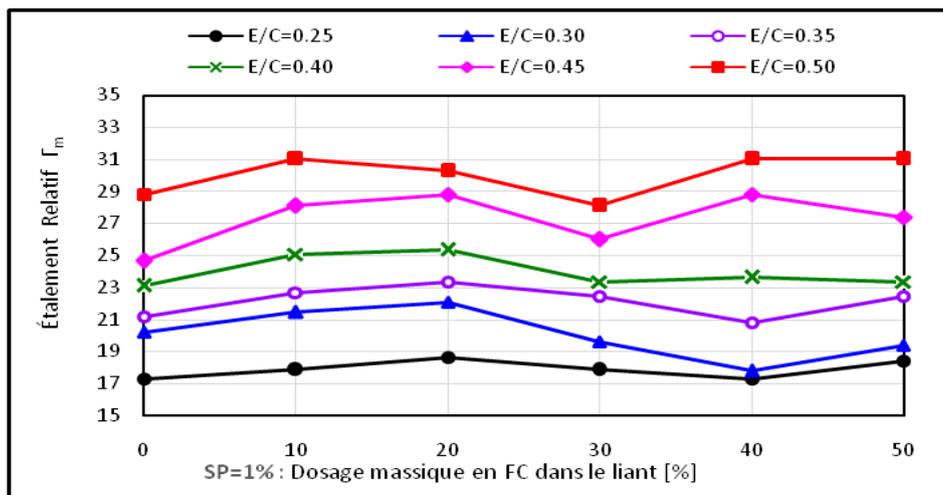


Figure 3.06 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1%

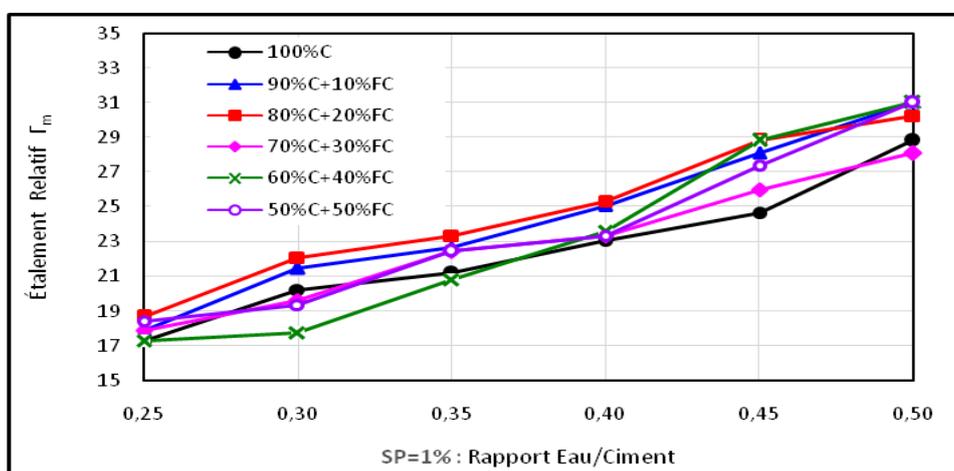


Figure 3.07 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C

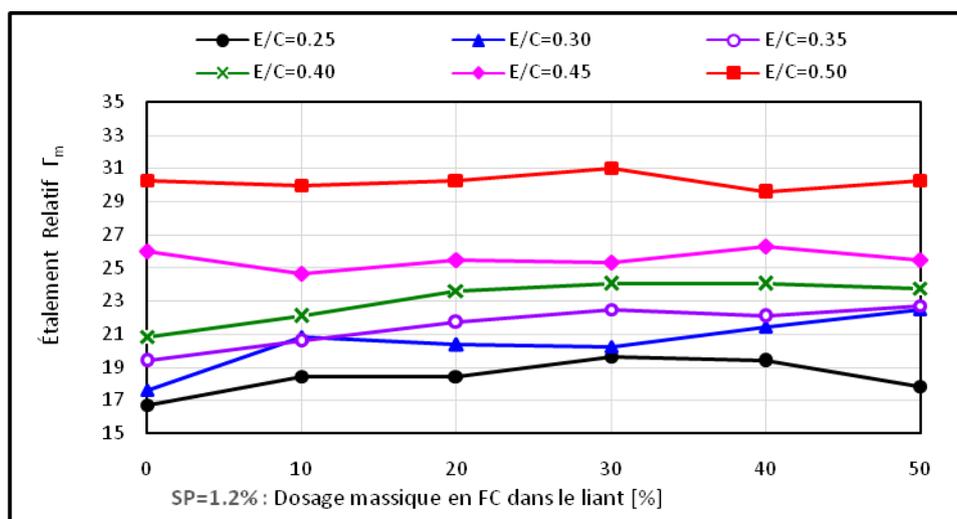


Figure 3.08 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.2%

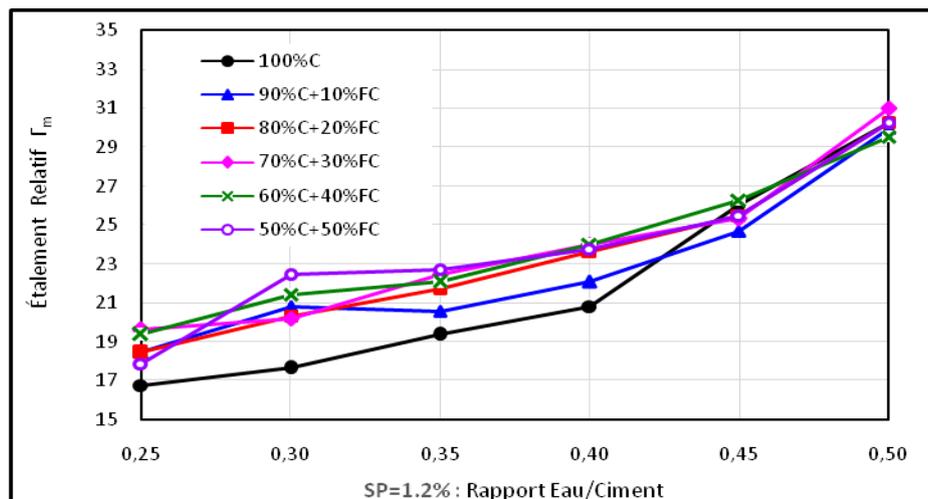


Figure 3.09: Etalement relatif en fonction de rapport E/C

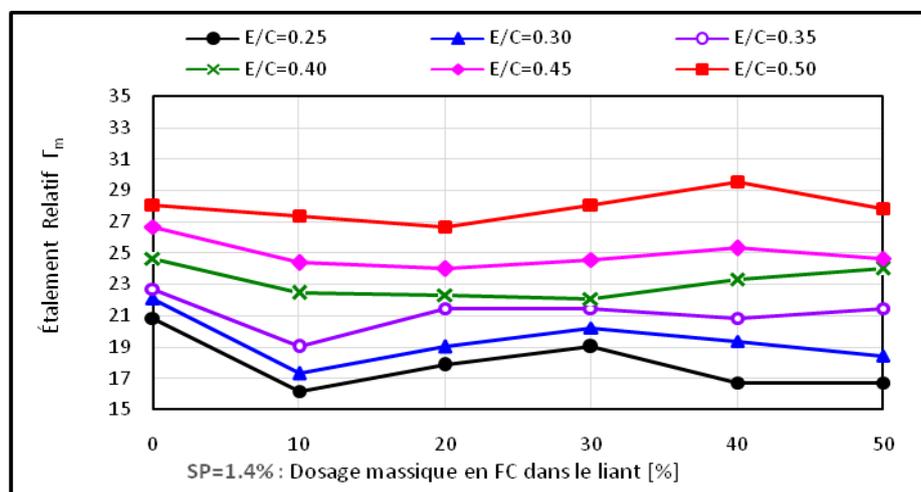


Figure 3.10 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.4%

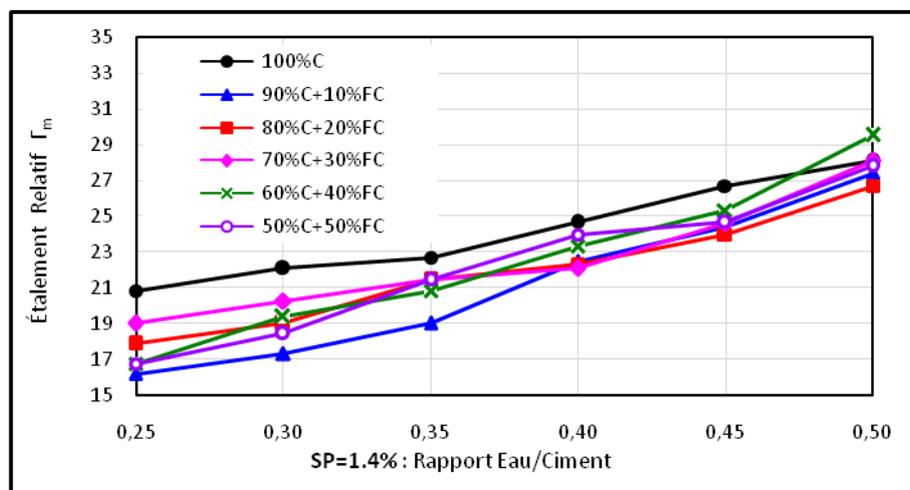


Figure 3.11 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C

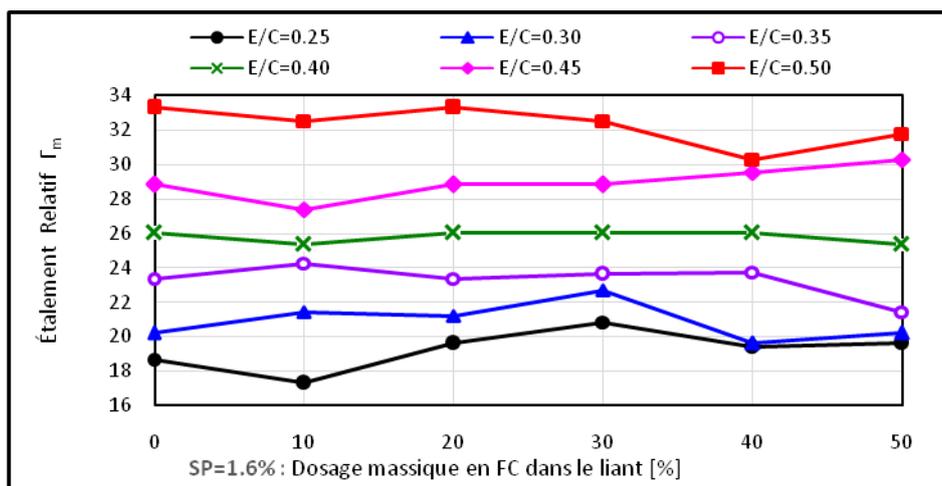


Figure 3.12 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.6%

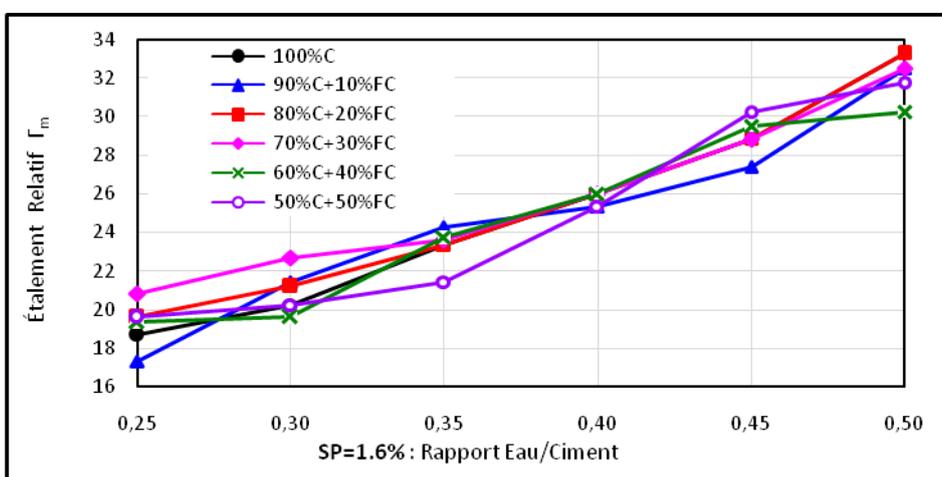


Figure 3.13 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C

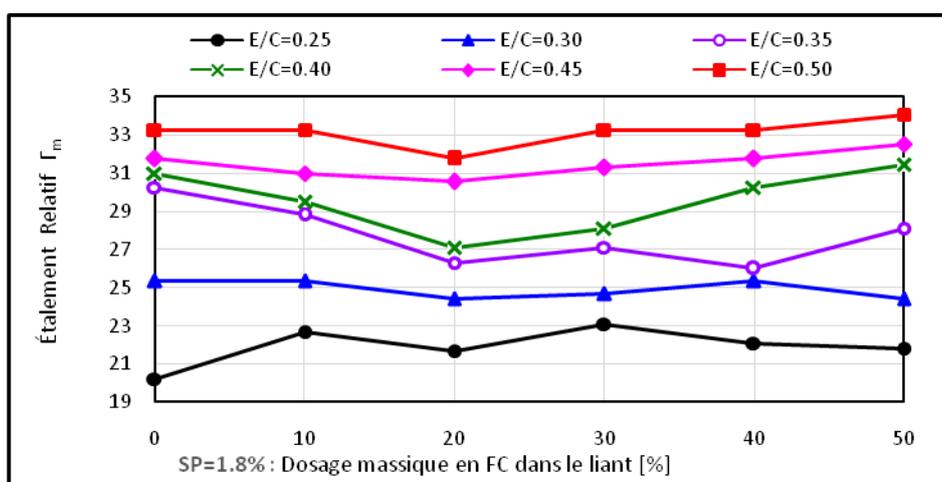


Figure 3.14 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 1.8%

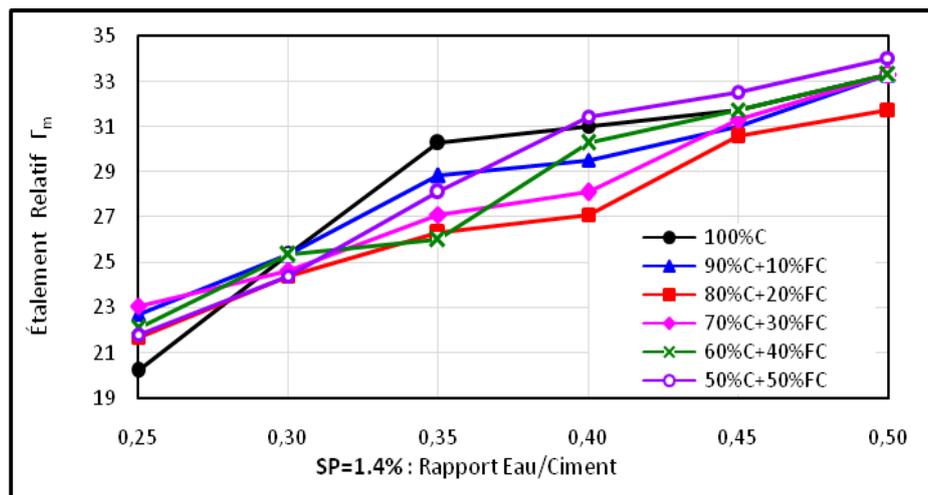


Figure 3.15 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C

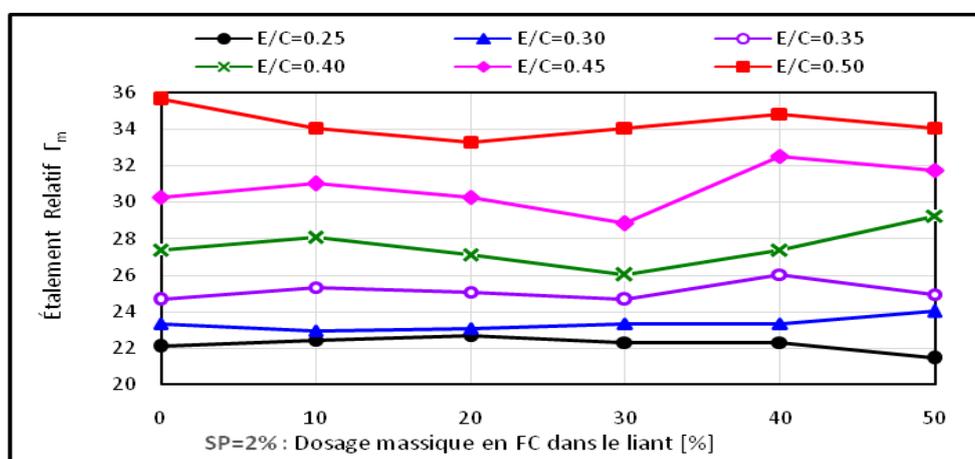


Figure 3.16 : Etalement relatif en fonction de dosage massique de FC et SP= 2%

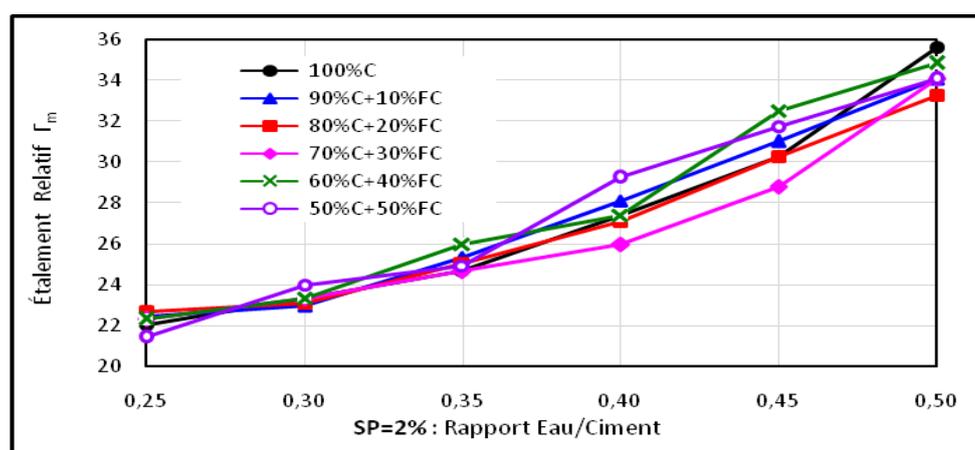


Figure 3.17 : Etalement relatif en fonction de rapport E/C



Photo 3.9 : Essai de l'étalement au mini cône de pate



Photo 3.08 : Essai de l'étalement au mini cône à mortier



Photo 3.9 : Essai de Temps d'écoulement au mini entonnoir à mortier

3.3.6 Essai de compression réalisé à l'état durci

Pour toutes les caractérisations physico-mécaniques, des spécimens prismatiques de $(4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3)$ mûries à l'eau. Les résultats de la résistance à la compression obtenus à 7 et 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons. La machine utilisée pour l'écrasement uniaxial des cylindres est une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 1500 kN en compression (photo 3.11).

La machine utilisée pour l'écrasement uniaxial des spécimens prismatiques est une presse hydraulique (photo 3.7).

Après avoir fini les essais sur les mortiers à l'état frais, on verse les mélanges sont versés dans des des spécimens prismatiques $(4 \times 4 \times 5 \text{ cm}^3)$ sans aucun mode de serrage. Les échantillons ont été démoulés 24 h après le coulage et puis ont été conservés à l'eau de température $(20 \pm 2 \text{ C})$ jusqu'à l'âge de l'essai. Les résultats des résistances à l'état durci représentent la moyenne de trois échantillons.

Les essais des résistances à la compression sont effectués, conformément à la norme EN 12390- 3, sur des spécimens prismatiques à deux échéances 7 et 28 jours.



Photo 3.10 : Essais de compression

3.4 Conclusion

Bien que les caractéristiques relatives aux matériaux utilisés ne soient pas tous disponibles, celles en notre disposition sont suffisantes pour réaliser notre étude expérimentale. De plus, il semble que la qualité de ces matériaux se classe parmi les meilleures dans le marché Algérien. D'autre part, les essais réalisés au cours de notre recherche permettent d'évaluer l'essentiel des propriétés des bétons confectionnés.

- L'utilisation de superplastifiant contribue à l'augmentation de l'étalement.
- L'augmentation de fines de calcaire contribue à diminution de la viscosité .

CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Introduction

Le MAP est un mélange de ciment, d'eau, d'addition minérale, de superplastifiant et éventuellement d'un agent colloïdal. On peut obtenir une infinité de mortiers, en faisant varier les proportions de ces constituants, et il est certain que, parmi ces mortiers, tant par leur nature propre qu'en raison du travail à exécuter, certains seront mauvais, d'autres seront acceptables, d'autres enfin, les moins nombreux, seront bons.

L'étude de la propriétés d'un mortier consiste à définir le mélange optimal des différents granulats, du dosage en liant, d'eau, ainsi que d'adjuvants afin de réaliser un mortier dont les qualités sont celles recherchées pour la construction de l'ouvrage, ou de la partie d'ouvrage en cause.

Ce chapitre présente la problématique soulevée dans les chapitres précédents concernant le développement des formulations des MAP. Aussi, il énonce l'objectif visé au cours de ce projet de recherche ainsi que les paramètres étudiés pour l'atteindre. Finalement, les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés en détail pour faire ressortir les meilleures formulations de MAP.

4.1 Problématique

Le problème de la formulation des bétons s'est renouvelé en profondeur au cours des dernières décennies, principalement du fait de l'utilisation croissante et souvent conjointe du superplastifiant et de l'agent colloïdal d'une part et des additions minérales d'autre part.

De nos jours, il n'existe pas encore de méthode de formulation généralisée permettant de choisir précisément les proportions des constituants en fonction des propriétés souhaitées du MAP. Les méthodes actuelles sont toutes relativement complexes, relativement peu précises et essentiellement basées sur

les résultats empiriques. Elles permettent généralement d'obtenir un MAP possédant les propriétés mécaniques désirées mais elles ne permettent pas toujours d'atteindre la maniabilité souhaitée. C'est pourquoi les chercheurs ont, par tâtonnement, optimisé les MAP par leur expérience acquise. Donc, l'optimisation de la formulation d'un MAP est encore plus un art qu'une science.

Par ailleurs, La problème de la plupart des chercheur essayer savoir l'effet de fines calcaire dans la mélange de la pâte et mortier avec de différent types de sables.

4.2 Objectif de la recherche

Pour ces raisons, l'objectif de cette mémoire a étudier les propriétés rhéologiques et mécanique de pate et de mortier autoplaçant réalisés avec l'incorporation de différents types de sables: sable de rivière, sable de carrière, sable de dune et mélange des sables différents.

4.3 formulations des MAP

Les formulations des BAP il se base pour optimisation de mortier autoplaçant (MAP) et sont basées sur le remplissage des vides inter granulaires par la pâte de liant afin d'obtenir une compacité maximale de mélange. Le tableau 4.1 décrit les constituants des MAP confectionnés.

Ciment (g)	Filler Calcaire (g)	Eau (cm3)	Superplastifiant (g)	Dosage Superplastifiant %L	Rapport massique: E /C	SR %	SC %	SD %	Masse de sable (g)
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	0	100	1 600,00
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	20	80	1 623,04
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	40	60	1 646,08
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	60	40	1 669,12
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	80	20	1 692,16
878	220	384	17,57	1,6	0,35	0	100	0	1 715,20
878	220	384	17,57	1,6	0,35	20	0	80	1 621,18
878	220	384	17,57	1,6	0,35	20	20	60	1 644,22
878	220	384	17,57	1,6	0,35	20	40	40	1 667,26
878	220	384	17,57	1,6	0,35	20	60	20	1 690,05
878	220	384	17,57	1,6	0,35	20	80	0	1 713,54
878	220	384	17,57	1,6	0,35	40	0	60	1 642,75
878	220	384	17,57	1,6	0,35	40	20	40	1 665,79
878	220	384	17,57	1,6	0,35	40	40	20	1 688,83
878	220	384	17,57	1,6	0,35	40	60	0	1 711,87

878	220	384	17,57	1,6	0,35	60	0	40	1 664,13
878	220	384	17,57	1,6	0,35	60	20	20	1 687,17
878	220	384	17,57	1,6	0,35	60	40	0	1 710,21
878	220	384	17,57	1,6	0,35	80	0	20	1 685,50
878	220	384	17,57	1,6	0,35	80	20	0	1 708,54
878	220	384	17,57	1,6	0,35	100	0	0	1 706,88

Tableau 4.1 : Compositions des MAP destinés à l'optimisation

4.4 Compacité lâche et compacté

Tableau 4.2 : Essai de la compacité des sables

Combinaison N°	SR %	SC %	SD %	Masse Lâche [g]	Masse volumique apparente Lâche [g/cm ³]	Compacité Lâche	Hauteur réduite Table vibrante [cm]	Volume réduit Table vibrante [cm ³]	Masse volumique apparente Compactée	Compacité Compactée
1	0	0	100	7 660	1,532	0,606	1,700	363,50	1,652	0,653
2	0	20	80	7 812	1,562	0,612	1,550	331,43	1,673	0,656
3	0	40	60	7 648	1,530	0,595	2,200	470,41	1,688	0,656
4	0	60	40	7 928	1,586	0,612	4,150	887,37	1,928	0,743
5	0	80	20	7 625	1,525	0,583	4,750	1015,67	1,914	0,732
6	0	100	0	7 630	1,526	0,579	3,375	721,66	1,783	0,676
7	20	0	80	7 677	1,535	0,607	2,050	438,34	1,683	0,666
8	20	20	60	7 868	1,574	0,618	2,000	427,65	1,721	0,675
9	20	40	40	7 727	1,545	0,601	2,000	427,65	1,690	0,658
10	20	60	20	7 871	1,574	0,608	2,500	534,56	1,763	0,680
11	20	80	0	7 506	1,501	0,575	3,500	748,39	1,765	0,676
12	40	0	60	7 727	1,545	0,612	1,800	384,88	1,674	0,663
13	40	20	40	7 972	1,594	0,626	2,375	507,83	1,775	0,697
14	40	40	20	7 791	1,558	0,607	2,950	630,78	1,783	0,695
15	40	60	0	7 763	1,553	0,600	3,475	743,04	1,824	0,705
16	60	0	40	7 732	1,546	0,613	1,925	411,61	1,685	0,668
17	60	20	20	7 917	1,583	0,623	1,675	358,16	1,706	0,671
18	60	40	0	8 107	1,621	0,632	2,475	529,22	1,813	0,707
19	80	0	20	7 922	1,584	0,629	1,325	283,32	1,680	0,667
20	80	20	0	8 025	1,605	0,632	1,825	390,23	1,741	0,685
21	100	0	0	7 710	1,542	0,613	2,275	486,45	1,708	0,679

4.5 Compacité des sables

Durant cette étape, nous visons à optimiser la compacité des sables par combinaisons massique de leurs différents types SA, SC et SD. Pour cet objectif, 21 mélanges de graviers ont été établis

Nous avons d'abord remplacé le SA par le SC et le SD par proportion de 20% et puis nous avons remplacé le SD par le SC par la même proportion de 20%.

Résultats et discussions

Les Figures : (4.1 & 4.2) représente la mesure de la compacité pour les combinaisons granulaires des différents types de sables SA, SC et SD.

Il est possible de remarquer l'amélioration de la compacité par la combinaison des sables. Par ailleurs, il est important de signaler que la combinaison granulaire de 60%SA + 40%SC donne la meilleure compacité, puis celle de 80%SA + 20%SD et 80%SA + 20%SC.

Cependant, la combinaison de SA+SC offre une amélioration claire de la compacité.

En fait, lors de la combinaison de deux types de sables différents, les plus petits grains des peuvent se placer entre les plus gros, ce qui diminue par conséquent le volume des vides et augmente de la compacité. Néanmoins, avec un excès de ces grains de petites dimensions, il est facile que le surplus de ces grains est expulsé hors de la combinaison granulaire et il forme donc entre eux d'autres volumes des vides.

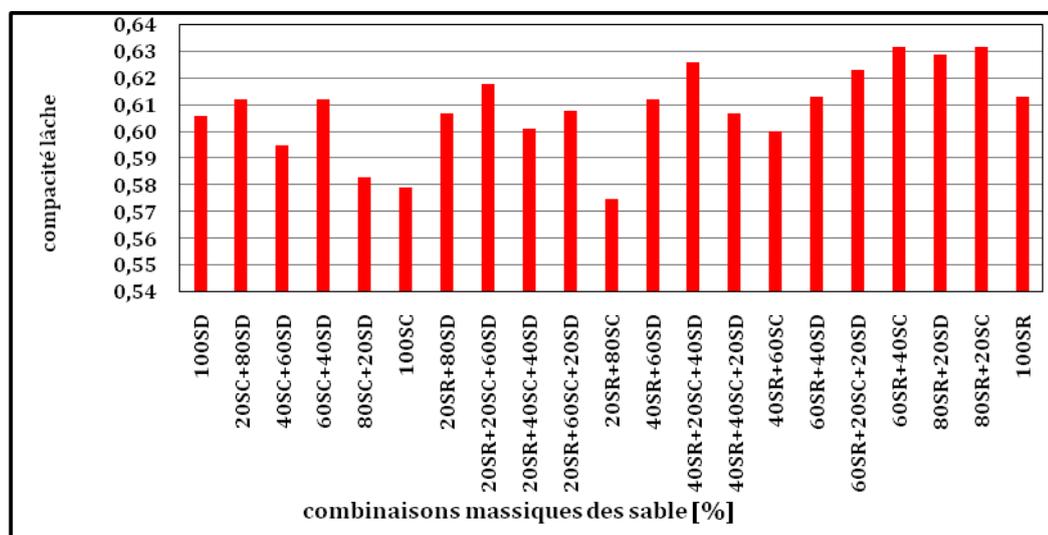


Figure 4.1 : Compacité lâche en fonction des combinaisons massiques des types de sables

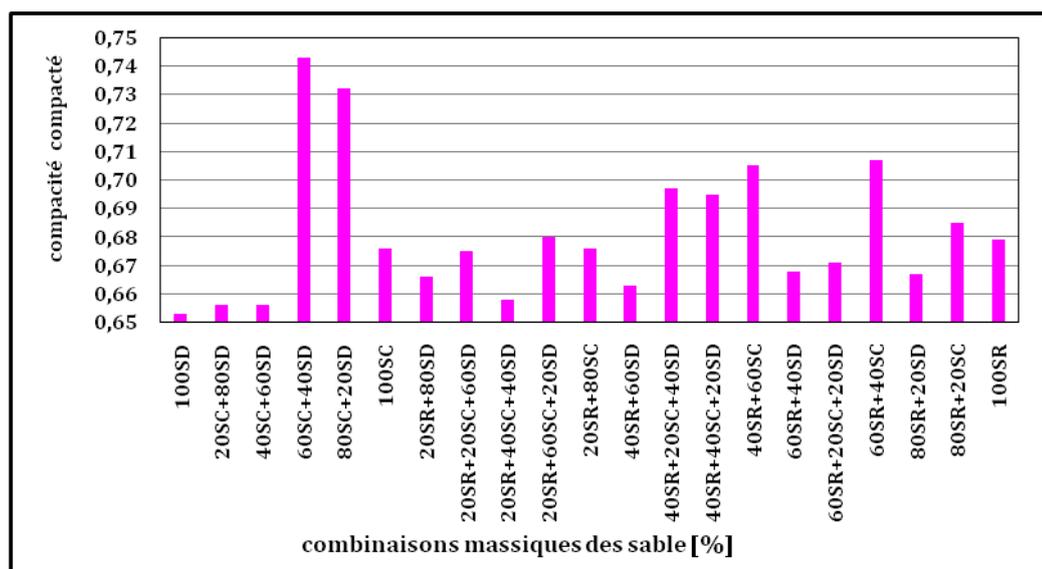


Figure 4.2 : Compacité en fonction des combinaisons massiques des types de sables

4.6 Etalement de la pâte

Durant cette étape, nous visons à optimiser l'étalement relatif de la pâte avec différent pourcentage de superplastifiant, de fillers calcaires et le rapport E/C. Cette essai permet la correction de mortier.

Résultats et discussions

Après les figures (3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 et 3.17) qui représente la variation de l'étalement au mini cône des pâtes en fonction de dosage massique de FC et SP% et l'étalement en fonction de rapport E/C, d'une manière générale, on remarque que l'augmentation de la teneur en SP induit conduit à l'augmentation de l'étalement et de la viscosité plastique de tous les mélanges étudiés. Par ailleurs, l'augmentation de FC résulte en diminution de la viscosité plastique des mélanges, indépendamment de la teneur en SP.

D'autre part, l'augmentation le rapport E/C conduit à l'augmentation de l'étalement et il réduit la valeur de la viscosité plastique des mélanges.

4.7 Optimisation des MAP

4.7.1 Influence des sables sur la fluidité

Les résultats d'écoulement du mortier avec différents types de sables sont représentés sur la fig. 4.03, Les diamètres d'écoulement de tous les mélanges ont été maintenus dans la plage de (250-300 mm) recommandée par Domone et Jin [Benchaa]. Toutefois, pour les mortiers faits de sable mélangé, teneur en sable de dune est jusqu'à 50% dans les mortiers binaires et ternaires, le sable de dune a considérablement réduit l'écoulement d'affaissement. Cela est dû à les dunes de sable qui requièrent une forte demande d'eau et une quantité plus importante de ciment que de sable broyé ou de atteindre une grande fluidité. Le sable de la rivière augmente le mortier avec un mélange de rivières et de sables concassés.

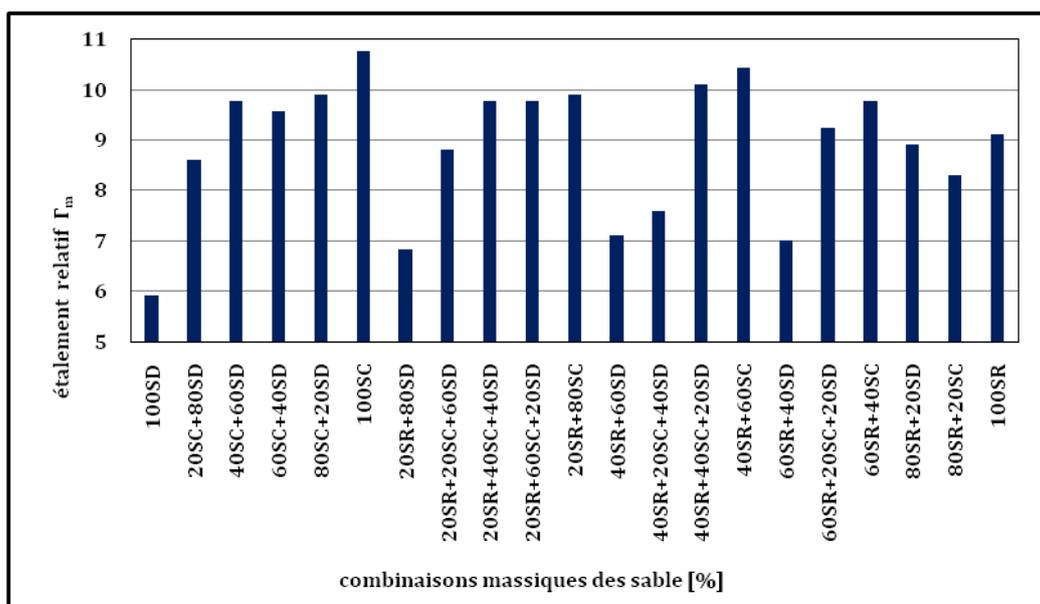


Figure 4.03 : Effet des types de sables sur la fluidité des MAP

4.7.2 Influence des sables sur temps d'écoulement

L'aptitude à l'écoulement du MAP a été évaluée au moyen d'un entonnoir mini-v. Tous les autres MAP ont donné des valeurs de temps d'écoulement recommandé de 2-10 s [Benchaa]. Les temps d'écoulement mesurés dépendent principalement sur le type de sable.

Pour mortiers à sable de dunes élevé contenu (80%), il n'y a pas de flux par l'entonnoir en V et cette perte de la fluidité pourrait être liée à la surface élevée du sable de dune.

Les résultats montrent que les sables de dune nécessite beaucoup d'eau par rapport autres sable agglomérée (sable de carrières et sable de alluvionnaire) pour donner une mortier avec bonne ouvrabilité. D'autre part, nous remarquons que plus le temps d'écoulement il est diminué l'étalement.

4.7.3 Test de viscosité

Variations de viscosité de MAP en fonction de la vitesse de rotation et le type de sable utilisé dans la préparation du mortier sont données à la Fig. 4.04, Il était observé que la vitesse de rotation élevée réduit la viscosité de mélanges quel que soit le type de sable utilisé. Les mortiers à sable de dune, tant dans les sables binaires que dans les sables ternaires, avait constamment une viscosité plus élevée que celle du mortier avec des sables broyés ou des sables de rivière. L'écoulement et les résultats du temps d'écoulement ont démontré que l'utilisation des sables des dunes dans les sables binaire et ternaire requiert une plus grande teneur en eau pour atteindre l'ouvrabilité souhaitée. En général, on a observé que à faible vitesse de rotation, un comportement visqueux est marqué, alors qu'à une vitesse de rotation élevée, un comportement fluide régité.

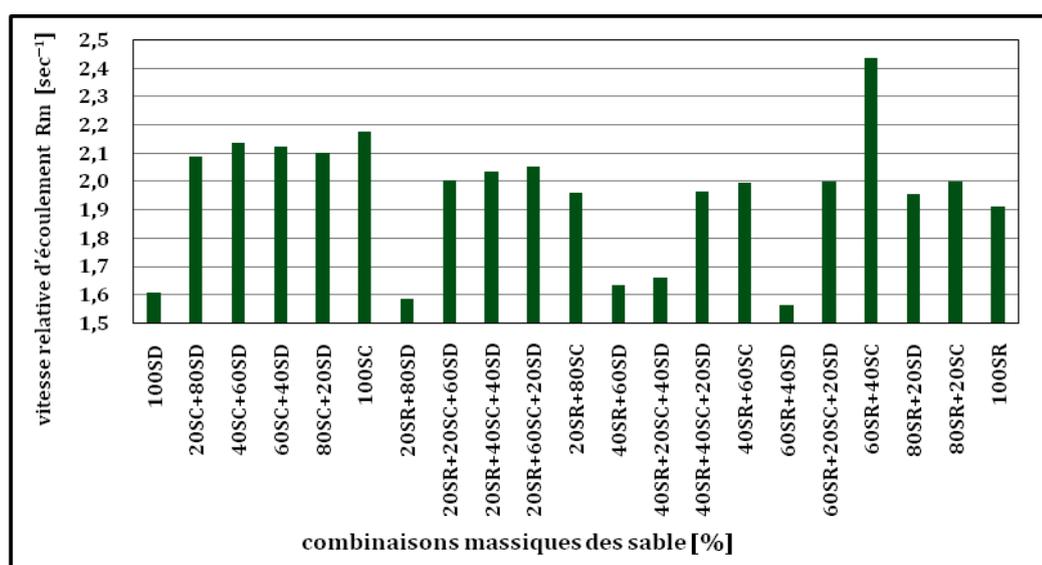


Figure 4.04 : Effet des types de sables sur temps d'écoulement a fluidité des MAP

4.7.4 Influence des sables sur la résistance à la compression

Les Fig. 4.05 & 4.06 représentent l'effet des types de sables sur la résistance à la compression de 7 et 28 jours. Les valeurs obtenues représentent la moyenne des trois spécimens testés pour chaque mortier à chaque échéance. Globalement, on remarque d'une part, une nette évolution des résistances de tous les mélanges. D'autre part, tous les MAP.

A travers ces résultats, nous remarquons que les valeurs de la résistance à la compression sont élevées et une grande lorsque de mortier compassant des sable de carrières où l'on a enregistré la valeur la plus élevée se situait à 7j = 41MPa. Et lorsqu'il est atteint aujourd'hui 28j = 47MPa.

Par ailleurs, toutes les résistances à la compression, quel que soit l'âge, sont améliorées proportionnellement à l'introduction de sable de concassé SC qui offre seul de MAP à hautes performances. Cette amélioration se traduit par l'augmentation de la compacité par trois effets qui agissent simultanément et de manière complémentaire ; effet physique, physico-chimique et l'activité chimique des fillers. Les fillers calcaires, de même nature que les granulats, modifient le comportement mécanique du composite, en améliorant notamment l'adhérence entre la pâte et le granulat.

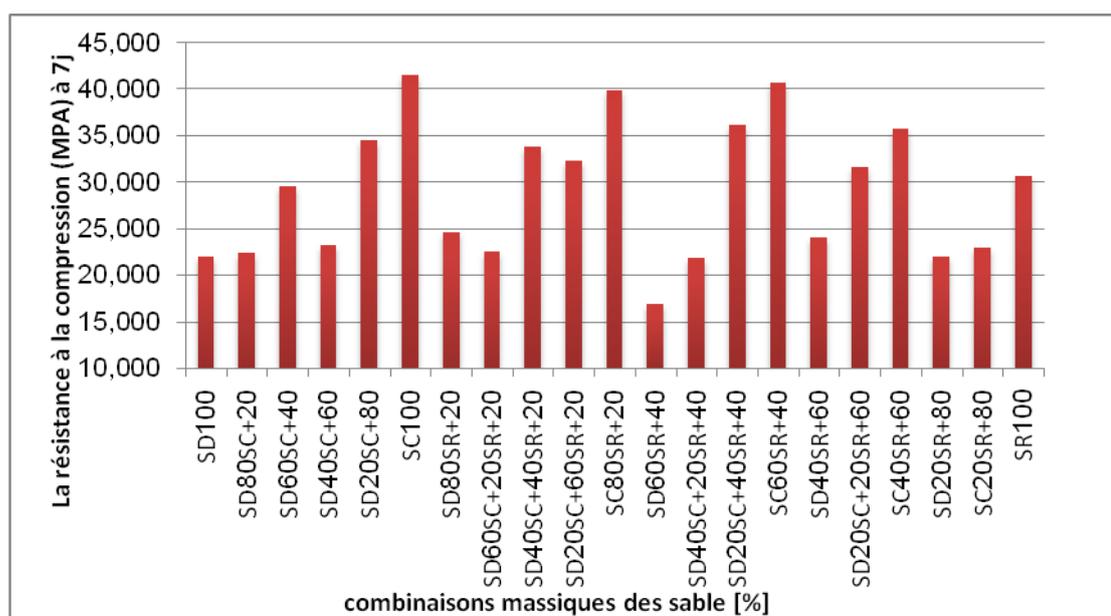


Figure 4.05 : Effet des types de sables sur la résistance à 7 jours des MAP

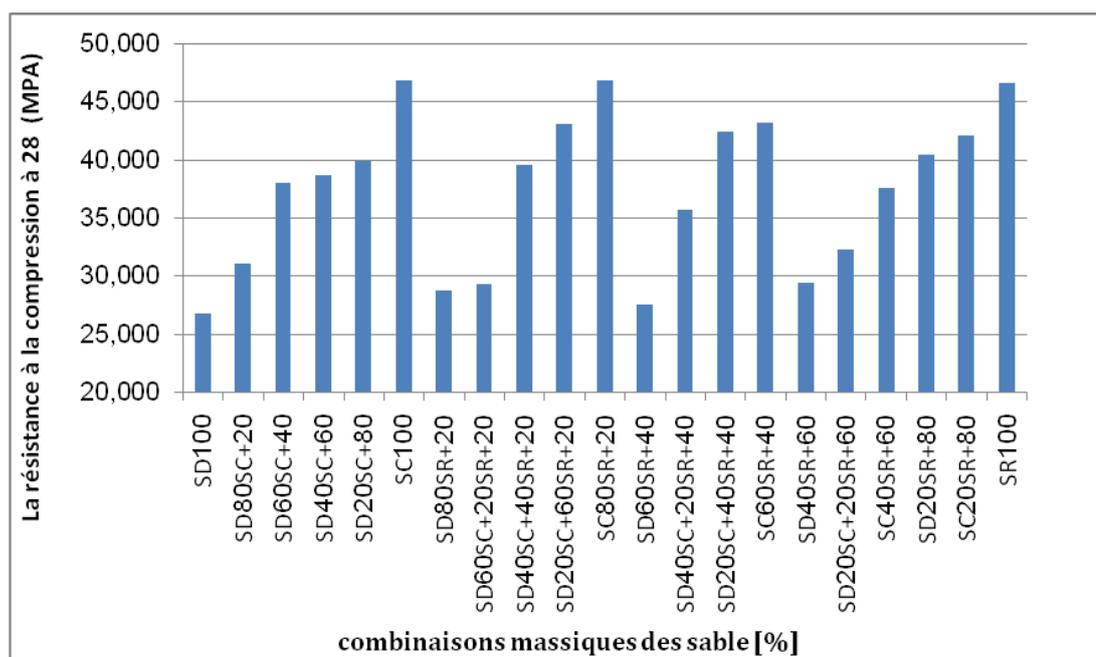


Figure 4.06 : Effet des types de sables sur la résistance à 28 jours des MAP

4.8 Conclusion

Cette études nous a permet de mettre en valeur l'influence de différent types de sables (sable alluvionnaire, sable de carrière et sable de dune) sur les propriétés de la pate et de mortier autoplaçant et de préciser un certain nombre de point :

L'amélioration de la compacité par la combinaison des sables.

La combinaison granulaire de 60%SA + 40%SC donne la meilleure compacité, puis celle de 80%SA + 20%SD et 80%SA + 20%SC.

Le sable alluvionnaire SA offre la compacité maximale pour le MAP et le sable de dune donne la minimale.

L'introduction de SA dans les autres sables SC et SD peut améliorer la compacité.

Le sable de dune a considérablement réduit l'écoulement d'affaissement.

Le sable de dune qui requiert une forte demande d'eau et une quantité plus importante de ciment.

Le sable de la rivière augmente le mortier avec un mélange de rivières et de sables concassés.

L'augmentation le rapport E/C conduit à l'augmentation de l'étalement.

L'augmentation le rapport E/C réduit la valeur de la viscosité plastique des mélanges.

Les résistances à la compression sont améliorées systématiquement avec l'introduction de SC qui offre des MAP et BAP à haute performances. Cette propriété est très intéressante du point de vue économique et environnemental. L'introduction de SC dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat.

CONCLUSION GÉNÉRALE

La plupart des bétons, en Algérie, sont exclusivement fabriqués avec de sable alluvionnaire. Cependant, beaucoup de régions du pays souffrent d'un manque remarquable en sable alluvionnaire approprié. En outre, les exigences d'environnement, l'impact sur les coûts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et l'éloignement des chantiers par rapport à ces gisements sont également des facteurs qui encouragent à chercher d'autres types de sables. En effet, le sable concassé produit énormément par les carrières ainsi que le sable de dunes disponible de quantités inépuisables dans le sud du pays ne sont pas encore exploités sérieusement dans la formulation des bétons. Ces sables, qui contiennent normalement des teneurs élevées en fines, se présentent comme une alternative attirante du point de vue technique, économique et écologique pour la formulation des bétons.

Le travail présenté dans ce mémoire s'inscrit dans la problématique générale d'amélioration et de maîtrise des propriétés des MAP et BAP. En effet, nous avons visé dans le programme expérimental à développer une série de MAP à hautes performances destinée aux ouvrages complexes et fortement armés, suivant une optimisation poussée de leurs paramètres clés de composition.

Nous avons également examiné l'effet de l'incorporation de sable de carrière et le sable de dune, en remplaçant le sable alluvionnaire, sur la compacité de la formulation de BAP.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

L'amélioration de la compacité par la combinaison des sables.

la combinaison granulaire de 60%SA + 40%SC donne la meilleure compacité, puis celle de 80%SC + 20%SD.

Le sable alluvionnaire SA offre la compacité maximale pour le MAP et le sable de dune donne la minimale.

l'introduction de SA dans les autres sables SC et SD peut améliorer la compacité.

le sable de dune a considérablement réduit l'écoulement d'affaissement.

le sable de dune qui requiert une forte demande d'eau et une quantité plus importante de ciment.

Le sable de la rivière augmente le mortier avec un mélange de rivières et de sables concassés.

l'augmentation le rapport E/C conduit à l'augmentation de l'étalement.

l'augmentation le rapport E/C réduit la valeur de la viscosité plastique des mélanges.

Les résistances à la compression sont améliorées systématiquement avec l'introduction de SC qui offre des MAP et BAP à haute performances. Cette propriété est très intéressante du point de vue économique et environnemental. L'introduction de SC dans la construction, peut soulager davantage le domaine d'habitat

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

CHAPITRE 1 : Concept et caractérisations de mortier autoplaçant

AbdelHamid R'MILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010

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

HOLCIM 2004 : Le béton autocompactant. Recommandation étudiée par la société Holcim. Suisse. 26 Novembre 2004.

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

Mr. GUELLIL Mustapha Khadir : FORMULATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS PAR LA METHODE DE LA PATE EN EXCES et soutenu le 2012

ASSOCIATION FRANÇAISE DE GÉNIE CIVIL AFGC 2008 : Groupe de Travail - Recommandations pour l'emploi es bétons autoplaçants. Documents scientifiques et techniques. 2^{ème} Édition. Janvier 2008.

M. YURUGI, N. SAKATA, M. IWAI & G. SAKAI 1993 : Mix proportion for highly workable concrete. Conference Concrete 2000. Dundee. 7-9 September 1993.

S. TANGTERMSIRIKUL, J. SAKAMOTO, T. SHINDOH & Y.H. MATSUOKA 1991 : Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and role of a new type of viscosity agent. Taisei Technical Research Report. N° 24, pp 369-376. December 1991.

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 et al. 1999 : Okamura H. and Ouchi. M., "Self-compacting concrete, development, present use and future", In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete; RILEM,1999.

Okamura et al. 2000: Okamura H., Ozawa K., and Ouchi M., "Self-compacting concrete." Structural Concrete, (1):3_17, March 2000.

Okamura et al. 2003 : Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April (2003).

K.H. KHAYAT, A. GHEZAL & M. HADRICHE 1999 : Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete. RILEM Materials and Structures. 1999

Khayat, 2004 : 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.

EN 1992-1 2005 : Norme NF EN 1992-1, 2005, "Eurocode 2 – Calcul des structures en béton Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments", AFNOR.

AbdelHamid R'MILI : Étude de formulation et de comportement des Bétons Auto-Plaçants : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert 13 janvier 2010.

CHAPITRE 2 : Sables dans le MAP

BEN FETTACHA Mohamed Abdou: de COMPACITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS AUX DIFFÉRENTS TYPES DE SABLES Soutenu le : 04/06/2016

M. EL BARRAK 2005 : Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, Juillet, p. 229.

F. DE LARRARD, F. BOSCH, 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

Bédérina M: de Mixture design approach to evaluate fresh properties of SCC made with various sands en 2014

German R. M., (1989) : "Particle packing characteristics", Metal Powder Industries Federation.

Abdelhamid Rmili, Mongi Ben Ouezdou, Mhamed Added, and Elhem Ghorbel : Incorporation of Crushed Sands and Tunisian Desert Sands in the Composition of Self Compacting Concretes. Part II: SCC Fresh and Hardened States Characteristics. International Journal of Concrete Structures and Materials. Vol.3, No.1, pp. 11~14, June 2009

Goupy J, Creighton L (2007): Introduction to design of experiments with JMP examples. 3rd ed. Cary, NC: SAS Institute Inc.

Leila Zeghichi, Zeid Benghazi and Laid Baali : Comparative Study of Self-Compacting Concrete with Manufactured and Dune Sand. Journal of Civil Engineering and Architecture, ISSN 1934-7359, USA. Volume 6, No. 10 (Serial No. 59), pp. 1429-1434. Oct. 2012

[Bosiljkov 2003]: Bosiljkov V.B., "SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler", Cement and Concrete Research (2003), Vol. 33, pp. 1279-1286.

R'mili A. , Ben Ouezdou M. : Incorporation du sable de concassage et du sable du désert dans la composition des bétons autoplaçants. INVACO2 : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GÉNIE CIVIL & MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION N° : 10-271. Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011

Menadi B, Kenai S, Khatib J, Ait Mokhtar A. Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. Constr Build Mater 2009;23:625-33.

Benchaa Benabed : Properties of self-compacting mortar made with various types of sand à 2012

CHAPITRE 4 : RÉSULTATS ET DISCUSSION

Benchaa Benabed : Properties of self-compacting mortar made with various types of sand à 2012