

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche Scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie

Département de génie civil



جامعة محمد بوضياف المسيلة

كلية التكنولوجيا

قسم الهندسة المدنية

Mémoire de Fin d'Études

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux

Mémoire présente pour l'obtention du diplôme de master Académique

Intitulé

**Effet du sable fin de Boussaâda et des billes de polystyrène sur
le Mortier autoplaçant à base de sable de Djamaâ**

Réalisé par :

- MOKHTARI Belkacem

- OUANOUGHI Mohamed El Amin

Devant le jury :

NOM et Prénoms	Grade	Qualité
BEDDAR Salim	Professeur	Président
CHIKOUCHE Med Aziz	MCA	Examineur
MAZA Mekki	Professeur	Encadrant
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Co-Encadrant

Année universitaire : 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Après avoir remercié Dieu Tout-Puissant de nous avoir permis d'accomplir cet humble travail, nous adressons nos sincères remerciements à nos chères familles qui nous ont constamment soutenus et encouragés à poursuivre le chemin de l'éducation et de la réussite et à terminer nos études universitaires.

Nous adressons également nos sincères remerciements à notre encadrant, le Professeur MAZA Mekki, le Professeur RAHMOUNI Zein El-Abidine qui ont encadré cette thèse de fin d'études, ainsi que pour leur grande patience et leurs précieux conseils scientifiques.

Nous n'oublions pas de remercier tous les professeurs qui nous ont enseigné durant nos études universitaires, notamment les professeurs du Département de Génie Civil, ainsi que tous les responsables de laboratoire qui ont été à notre service tout au long de la réalisation de ces travaux.

Dedicaces

Je dédié ce modeste travail à mes chère parents, à ma femme et mais

petites filles Amira, Roea et Alae, à mes frères, à mon amis

OUANOUGHI Mohamed El Amin, à tous les professeurs de génie civile,

à ma promotion de master matériaux, à la famille MOKHTARI,

KACEM, KIASSE et MAHI

MOKHTARI Belkacem

Je dédie ce modeste travail à mes chère parents, à mes frères, à mes amis

MOKHTARI Belkacem, MOUSSA Mohamed et GUESRI Sawssen

Fatima Zahra, à tous les professeurs de génie civile, , à ma promotion de

master matériaux, à la famille OUANOUGHI

OUANOUGHI Mohamed El Amin

تأثير الرمل الناعم من بوسعادة و حبات البوليسترين على الملاط الذاتي التموضع المعتمد على رمل

جامعة

ملخص

الملاط الذاتي التموضع هو ملاط يعتمد في مبداه على درجة السيولة بحيث تسمح له بأخذ شكل مستوي بعد تصلبه مع الحفاظ على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية والكيميائية المطلوبة، وهذا يتطلب التحكم في كمية ومعرفة جميع خصائص المواد المكونة له، مع مراعاة عدة محاور رئيسية وهي الجانب الإقتصادي، والتكنولوجي من أجل الحصول على منتج جيد.

في الجزء الأول قمنا بدراسة تجريبية للخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المكونة لهذا النوع من الملاط وكلها عبارة عن مواد محلية وهذا من أجل الحصول على تركيبة مثالية، بحيث تم التركيز على تصحيح التدرج الحبيبي للرمل، تحديد درجة تشبع الإسمنت المستعمل للتقليل من مسامية و تشقق الملاط بعد تصلبه وضبط اللزوجة بإستعمال مساعد سيولة و تقليل كمية الماء المستعملة لضمان إستوائيته بعد الصب.

في الجزء الذي يليه تم دراسة تأثير كرات البوليسترين على الملاط (5 , 10 , 15 %) ومدى تأثيرها عليه، بعدها تم تحديد التركيبة المناسبة لملاط ذاتي التموضع يتكون من الرمل، الإسمنت، كرات البوليسترين، الماء ومساعد السيولة .

الكلمات المفتاحية: رمل، إسمنت، ملاط ذاتي التموضع ، لزوجة، كرات البوليسترين.

Effet du sable fin de Boussaâda et des billes de polystyrène sur le mortier auto plaçant à base de sable de Djamaâ

Résumé

Le mortier autoplaçant est un mortier qui dépend dans son principe du degré de fluidité tel qu'il lui permet de prendre une forme plate après durcissement tout en conservant les propriétés mécaniques, physiques et chimiques requises. Cela nécessite d'en maîtriser la quantité et d'en connaître toutes les propriétés de ses matériaux constitutifs, en tenant compte de plusieurs axes principaux, à savoir les aspects économiques et technologiques afin d'obtenir un bon produit.

Dans une première partie, nous avons mené une étude expérimentale des propriétés physiques et chimiques des matériaux composant ce type de mortier, qui sont tous des matériaux locaux, afin d'obtenir une composition idéale.

L'accent a donc été mis sur la correction de la granulométrie du sable, la détermination du degré de saturation du ciment utilisé pour réduire la porosité et la fissuration du mortier après durcissement, l'ajustement de la viscosité à l'aide d'un fluidifiant et la réduction de la quantité d'eau utilisée pour assurer son uniformité après coulée.

Dans la partie suivante, l'effet des billes de polystyrène sur le mortier (5, 10, 15%) et l'étendue de leur effet sur celui-ci ont été étudiés. Ensuite, la composition appropriée pour un mortier auto-positionnant composé de sable, ciment, polystyrène. Des balles, de l'eau et un fluidifiant ont été déterminés.

Mots clé :

Sable, Ciment, mortier autoplaçant, viscosité, billes de polystyrène.

Effect of fine sand from Boussaâda and polystyrene beads on the self-placing mortar based on djamâa sand

Abstract

Self-compacting mortar is a mortar that depends in its principle on the degree of fluidity, or rather the degree of saturation of the cement, such that it allows it to take a flat shape after hardening while maintaining the required mechanical, physical and chemical properties. This requires controlling the quantity and knowing all the properties of its constituent materials, taking into account several main axes. It is the economic and technological aspect in order to obtain a good product.

In the first part, we conducted an experimental study of the physical and chemical properties of the materials that make up this type of mortar, all of which are local materials, in order to obtain an ideal composition.

So the focus was on correcting the grain gradation of the sand, determining the degree of saturation of the cement used to reduce the porosity and cracking of the mortar after it hardens, adjusting the viscosity using a fluidizer, and reducing the amount of water used to ensure its uniformity after pouring.

In the following part, the effect of polystyrene balls on mortar (5, 10, 15 %) and the extent of their effect on it was studied. After that, the appropriate composition for a self-positioning mortar consisting of sand, cement, polystyrene balls, water and a fluidizer was determined.

Keywords:

Sand, cement, self-compacting mortar, viscosity, polystyrene balls.

SOMMAIRE

Remerciements	
Dedicaces	
Résumé	
ملخص	
Abstract	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des symbols	
Introduction générale	

Chapitre I: Recherche Bibliographique

I .1.Introduction sur le mortier et le béton.....	1
I.2. Historique de béton autoplçant.....	2
I.3. Les caractéristique du béton autoplçant (BAP).....	2
I.4. Les Avantages et les inconvénients de BAP.....	3
I.5. Domaine d’emploi.....	3
I.6.Caractérisation rhéologique d’un BAP.....	4
I.7. Le mortier.....	5
I.7.1. Différents types des mortiers	5
I.7.2. Le rôle d’utilisation de mortier.....	6
I.7.3. Constituants de mortier	7
I.7.3.1. Le ciment.....	7
I.7.3.1.1. Les constituants principaux du ciment.....	7
I.7.3.1.2. Les constituants secondaires du ciment.....	11
I.7.3.1.3. Principe de fabrication de ciment courante	12
I.7.3.1.4. Propriétés de ciment.....	15
I.7.3.2. Le sable.....	23
I.7.3.3. L’eau de gâchage.....	29
I.8. Les adjuvants.....	31
I -9) Le polystyrene	35
I.10. Le Mortier autoplçant.....	37
I.10.1. Domaine d’application de MAP.....	38
I.10.2. Méthode de formulation de MAP.....	39
I.10.3. Fluidité et déformabilité de MAP.....	43
I.10.3.1. Essai au cône de Marsh (taux de saturation).....	44
I.10.3.2. Essai de l’étalement au mini cône de mortier	44
I.10.3.3 Essai de déformabilité de l’entonnoir en V-Funnel	45
I .11. Conclusion.....	46

Chapitre II: Matériaux, Matérielles et essais

II.1 Introduction.....	47
II.2. Caractéristiques des matériaux locaux de bases.....	47
II.2.1. Le sable	47
II.2.1.1 Composition chimique et minéralogique des sables utilisés	48
II.2.1.2 Equivalent de sable	48
II.2.1.3 La masse volumique	51
II.2.1.4 Porosité	54
II.2.1.5 Granulométrie des mixtures de sable	56
II.2.2 Le ciment	62
II.2.3. Superplastifiant	62
II.2.3.1 Taux de saturation	62
II.2.4. Eau de gâchage.....	63
II.2.5. Polystyrene	64
II. 3. Formulation de MAP	64
II.3.1. Formulation du mortier équivalent.....	64
II.3.2. Détermination du mortier équivalent autounivlnent.....	65
II.4. Les essais sur le MAP à l'état frais	69
II.4.1 Essai de déformabilité au mini v-Funnel	70
II.4.2 Essai de l'étalement au mini cône	72
II .5. Les essais sur le mortier à l'état durci	74
II .5.1. Résistance à la compression	74
II .5.2. Résistance à la traction par flexion	74
III.5. 3 Absorption de l'eau	75
II.5.3.1. Absorption capillaire	75
II.5.3.2. Absorption par immersion.....	76
II.6. Conclusion	78

Chapitre III : Analyse des résultats et discussions.

III.1. Introduction.....	79
III.2.Dénomination des différents mélanges	79
III.3. Les essais sur mortier équivalent autoplaçant frais	79
III.3.1. Essai d'étalement au mini cône	79
III.3.2. Essai au Mini V-Funnel	80
III.4. Essai sur mortier équivalent auto plaçant durci	82
III .4.1. Absorption de l'eau.....	82
III.4. 2.Masse volumique	84
III.4. 3.Résistance mécanique	86
III.4. 3. 1. Résistance à la compression	86
III.4.3 .2. Résistance à la traction et flexion	88
III.5.Conclusion.....	92
Conclusion générale	93
Références Bibliographiques	94
Annexes.....	96

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Exemple de composition d'un BAP.....	03
Tableau I.2 : Avantages et Inconvénients du BAP.....	03
Tableau I.3 : Les propriétés essentielles des BAP frais.....	05
Tableau I.4 : Les différents types de ciment.....	15
Tableau I.5 : Ciment courants.....	21
Tableau I.6 : Classe de ciment courant en fonction de résistance à compression.....	21
Tableau I.7 : Résistances garanties à compression pour des ciments courant.....	22
Tableau I.8 : Type de sable selon leurs diamètres.....	25
Tableau I.9 : Caractéristiques physiques générales des sables.....	26
Tableau I.10 : Les types de sables selon leur équivalent de sable.....	26
Tableau I.11 : Effets et domaines d'application des adjuvants.....	33
Tableau I. 12 : Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété.....	34
Tableau I.13 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment.....	34
Tableau III.1 : Composition de mortier équivalent autoplaçant	48
Tableau III.2 : L'étalement au mini cône pour les MAP.....	48
Tableau III.3 : Temps d'écoulement au mini v- Funnel pour les MAP.....	51
Tableau III.4 : Masse volumique des MPA après immersion dans l'eau.....	51
Tableau II.5 : Différentes mixtures du sable analysée.....	52
Tableau II .6 : Résultats de la masse volumique.....	54
Tableau II .7 : Résultats de la porosité.....	55
Tableau II .8: Résultats d'analyse granulométrique de sable de djamaa.....	59
Tableau II .9: Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S02).....	59
Tableau II .10: Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S2).....	60
Tableau II .11 : Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S3).....	60
Tableau II .12 : Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S4).....	61
Tableau II .13 : Classement du sable utilisé	62
Tableau II .14 : Résultats de l'sais de degré de saturation.....	62
Tableau II.15 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.....	63
Tableau II.16 : La masse volumique absolue de polystyrene.....	64
Tableau II.17 : La masse volumique apparente de polystyrene.....	64
Tableau II.17 : Résultats de l'étalement et temps d'écoulement.....	69
Tableau II.18 : Temps d'écoulement au mini v-Funnel des MAP.....	70
Tableau II.19 : L'étalement au mini cône pour les MAP.....	72
Tableau II.20 : Résultats de taux d'absorption par capillarité des MAP.....	76
Tableau II.21 : Résultats de coefficient d'absorption par immersion des MAP.....	77
Tableau III.1 : Composition de mortier équivalent autoplaçant	79
Tableau III.2 : L'étalement au mini cône pour les MAP.....	79
Tableau III.3 : Temps d'écoulement au mini v- Funnel pour les MAP.....	81
Tableau II.4 : Résultats de taux d'absorption par capillarité des MAP.....	82
Tableau II.5 : Résultats de coefficient d'absorption par immersion des MAP.....	83
Tableau III.6 : Masse volumique des MAP après immersion dans l'eau.....	84
Tableau III.5 : La moyenne de résistance à la compression des MAP.....	86
Tableau III.6 : La moyenne de résistance à la traction, flexion des MAP.....	89

Liste des figures

Figure I.1 : Application de BAP.....	04
Figure I.2 : Béton autoplaçant pour fondation.....	04
Figure I. 3 : Exemple d'un croquis de caractéristiques d'un ciment	23
Figure I.4 : Fuseau de spécification française du sable et gravier	27
Figure I.5 : Constituants des mortiers	37
Figure I.6 : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers autoplaçants.....	38
Figure I. 7:Utilisation de MAP pour remplir les conduites et les espaces vides	39
Figure I.8: Cône de Marsh utilisé.....	44
Figure I.9: Exécution de l'essai.....	45
Figure I.10 : Mesure de l'étalement.....	45
Figure I.11 : Dimensions de mini-entonnoir en V.....	46
Figure I.12 : Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V.....	46
Figure II .1 : Les matériaux utilisés.....	47
Figure II .2 : Mesures de l'équivalent de sable	50
Figure II .3: Méthode de l'éprouvette	54
Figure II .4 : La porosité de différentes mixtures de sable.....	55
Figure II.5 : Séries des tamis de l'analyse granulométrique.....	57
Figure II.6 : Courbes d'analyse granulométrique de trois mixtures des sables.....	61
Figure II.7 : Courbes du taux de saturation en adjuvant du ciment utilisé.....	63
Figure II.8: Cas de ressuage de mélange avec un rapport E /C = 0.45.....	65
Figure II.9 : L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport E /C = 0.45.....	66
Figure II.10 : Cas de ressuage du mélange avec un rapport E /C = 0.4.....	66
Figure II.11: L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport E /C = 0.4.....	67
Figure II.12 : Cas de ressuage de mélange avec un rapport E /C = 0. 35.....	67
Figure II.13 : L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport E /C = 0.35.....	68
Figure II.14 : L'autounivlement de mélange sans cas de ressuage avec E /C = 0.3.....	68
Figure II.15 : L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport E /C = 0.3.....	69
Figure II.16 : L'autounivlement de mélange sans polystyrene.....	70
Figure II.17 : Effet de 05% de polystyrene sur l'autounivlement.....	71
Figure II.18 : Effet de 10% de polystyrene sur l'autounivlement.....	71
Figure II.19 : Effet de 15% de polystyrene sur l'autounivlement.....	71
Figure II.20 : Temps d'écoulement au mini V- Funnel.....	72
Figure II.21 : Essai de l'étalement au mini -cône.....	73
Figure II.22 : Appareil de compression.....	74
Figure II.23 : Moulage des spécimens cubiques de dimensions (4x4x16 cm ³).....	74
Figure II.24 : Moulage des spécimens cubiques de dimensions (5x5x5 cm ³).....	75
Figure II.25 : Appareille de traction par flexion.....	75
Figure III.1: L'étalement au mini cône.....	80
Figure III.2: Temps d'écoulement au mini V- Funnel.....	81
Figure III. 3 : La relation entre l'étalement au mini cône avec le temps d'écoulement au mini V- Funnel.....	81
Figure III. 4: Variation de la masse volumique au cours du temps.....	85

Figure III.5 : La masse volumique en fonction de pourcentage de polystyrene	85
Figure III.6 : Résistance à la compression dans le temps des MAP.....	87
Figure III.7: Résistance à la compression en fonction de la masse volumique.....	87
Figure III.8: Résistance à la compression en fonction de pourcentage de polystyrene....	88
Figure III.9 : Résistance à la traction au cours du temps.....	89
Figure III.10 : Résistance à la traction en fonction de la masse volumique.....	90
Figure III.11 : Résistance à la traction en fonction de pourcentage de polystyrene.....	90
Figure III.12 : Résistance à la flexion au cours du temps.....	91
Figure III.13 : Résistance à la flexion en fonction de la masse volumique.....	91
Figure III.14 : Résistance à la traction en fonction de pourcentage de polystyrene.....	92

Liste des symboles

BAP : Béton autoplaçant
 MAP : Mortier autoplaçant
 C : Ciment
 G : Gravier
 S : Sable
 E : Eau de gâchage
 PSE : polystyrene
 γ : La masse volumique apparente
 ρ : La masse volumique absolue
 α : Coefficient
 Es : équivalent de sable
 EsV : équivalent de sable visuelle
 EsP : équivalent de sable de piston
 Rc : Résistance à la compression
 Rt : Résistance à la traction
 Rf : Résistance à la flexion
 D max : Diamètre maximum des granulats
 A : Coefficient
 A' : Coefficient
 Ab (%) : Pourcentage d'absorption
 E/C : Rapport de l'eau de gâchage sur le ciment
 C/S : Rapport de ciment sur le sable
 P_G : La porosité de gravier
 P : La porosité
 Mf : Module de finesse

INTRODUCTION GENERALE

Le béton autoplaçant (BAP) est un matériau innovant qui a été développé dans les années 1980 au Japon pour répondre aux besoins de construction complexes. Contrairement au béton traditionnel, le BAP est conçu pour se niveler et se compacter lui-même, sans nécessiter de vibration. Il est composé de granulats, de ciment, d'adjuvants et d'eau, avec des proportions spécifiques pour garantir ses propriétés d'auto-compactage.

L'utilisation du BAP s'est répandue dans le monde entier en raison de ses avantages, notamment une meilleure qualité de finition des surfaces, une réduction du temps de travail sur le chantier, une diminution des coûts de main-d'œuvre et une amélioration de la sécurité des travailleurs. Le développement continu des adjuvants et des technologies de formulation a permis d'optimiser les performances du BAP dans une variété d'applications de construction, allant des fondations aux éléments architecturaux complexes.

Sur la base de ce qui précède, dans cette mémoire, nous avons étudié les effets du sable fin de Boussaâda et des billes de polystyrène sur un mortier autoplaçant à base de sable djamâa, et il est attendu que ces composants aient des effets sur la diffusion (fluidité), la capacité de stabilisation (déformation) et résistance à la séparation inter granulaire (stabilité). Avec une porosité réduite, le tout pour de meilleures performances mécaniques.

Objectif du travail :

Notre objectif est d'étudier l'effet du sable fin de Boussaâda et des billes de polystyrène sur les propriétés du mortier équivalent autoplaçant à base de sable de Djamaa.

Cette recherche, nous a permis d'étudier les caractéristiques physiques et mécaniques du mortier équivalent et des matériaux locaux utilisés. Dans cette investigation nous avons réaliser plusieurs mixtures de sables à base du sable fin de Boussaâda et du sable de Djamâa avec différentes proportions afin de trouver la combinaison qui nous permet d'avoir une mixture possédant une porosité minimale et une granulométrie continue et en introduisant des billes de polystyrène permettant d'avoir un mortier équivalent autoplaçant léger avec un bon étalement sans ségrégation ni ressuage.

Ce mémoire est présenté de trois chapitres, une conclusion générale :

- Chapitre I : Recherche bibliographique
- Chapitre II : Matériaux, matériels et essais
- Chapitre III : Analyse des résultats et discussion
- Conclusion générale

CHAPITRE I :

RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1. Introduction sur le béton et le mortier :

Le béton a pris une part importante dans le domaine de la construction. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, et autres.

Depuis sa découverte et pendant de nombreuses décennies, ce matériau n'avait que peu évolué mais, à partir des années 1970-1980, d'importantes avancées ont été réalisées qui lui ont permis de diversifier les utilisations auxquelles il était jusque-là destiné. Ainsi, les études menées sur ses constituants granulaires ont conduit à améliorer ses propriétés existantes, en particulier avec les bétons à hautes performances (BHP). D'autres familles de béton, relatives à certaines applications, ont vu ensuite le jour comme les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres (BFM) et les bétons de poudre réactive (BPR).

Après la recherche du gain maximum de résistance et de durabilité, une étape supplémentaire a été franchie avec les bétons autoplaçants (BAP). Plus qu'une nouvelle famille de béton, les BAP constituent d'avantage une nouvelle technologie de construction. Celle-ci visait en effet au départ (fin des années 1980, au Japon) à optimiser la productivité des constructions en béton. Les différents avantages technico-économiques qu'elle présente ont suscité un intérêt grandissant des industriels à travers le monde, aussi bien dans les secteurs de la préfabrication que dans ceux des centrales à béton prêt à l'emploi. D'autre part, le champ d'utilisation des BAP est très varié du point de vue de la résistance mécanique (des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances) comme du point de vue des applications visées (des bâtiments aux ouvrages d'art). Ceci confirme l'existence des BAP en tant que bétons de structure à part entière.

Les bétons autoplaçants (BAP), développés depuis une vingtaine d'années, sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre.

Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraiillées ou dans des zones d'architecture complexe et

difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine. Les bétons autoplaçants (BAP), développés depuis une vingtaine d'années, sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre.

Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraiées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine.

I.2. Historique du béton autoplaçant

Le béton autoplaçant, aussi nommé béton autonivelant (BAN) ou bien béton auto-compactant, est un béton se différenciant des autres par son **importante fluidité**. Une caractéristique ayant longtemps été recherchée dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre du béton sur les chantiers. Il était fréquent de rajouter de l'eau au mélange afin d'obtenir un béton plus fluide mais cela le **fragilisait**. C'est pourquoi le BAP est une véritable révolution. Apparue dans les années 1980 au Japon, il s'est développé en France à la fin des années 1990. Si le béton autoplaçant possède une telle fluidité, c'est grâce aux divers **adjuvants superplastifiants** qui le composent. Ceci a rendu les constructions plus sûres et a grandement facilité les méthodes de mise en œuvre du béton. [1]

I.3. Les caractéristique du béton autoplaçant(BAP)

Le béton autoplaçant **facilite** grandement la tâche des ouvriers lors de la mise en place du béton. Ce type de béton peut s'écouler et se compacter simplement par l'effet de la gravité qui est exercé sur lui. L'hyper fluidité facilite ainsi le **remplissage** des coffrages et l'**enrobage** des éventuelles armatures, tout en conservant une homogénéité.

Si on observe le tableau des classes de consistance, le BAP se situerait dans les classes **S4 ou S5**. Autrement dit, c'est un béton **extrêmement fluide**. C'est ce qui rend ce béton si révolutionnaire dans le monde de la construction ! Avec le béton autoplaçant, **plus besoin de système de vibration** pour le mettre en place. Même sans vibration, le béton autonivelant enrobe parfaitement le

treillis soudé disposé au fond du coffrage (aussi appelé “armature”, servant à armer le béton pour le rendre plus résistant).

Une fois coulé dans le coffrage, le béton autonivelant offre, comme tout liquide, une planéité idéale. De ce fait, il n’est pas nécessaire d’araser le béton, c’est-à-dire de lisser sa surface au moyen d’une règle de maçon, d’une taloche à la main ou encore d’un aplanissoir (les aplanissoir sur perche vous permettent de lisser le béton traditionnel en hauteur sur une grande longueur).

Le béton léger se caractérise par un **volume de pâte élevé**. En effet, les quantités en matériau ajoutées au mélange sont plus importantes que dans un béton ordinaire. Ce volume important de pâte va **éloigner** les granulats présents dans la composition et **réduire** les éventuels frottements. Ceci permet donc au mélange d’être **plus fluide**, ce qui facilite le remplissage des coffrages.

Le béton a pour principal rôle d’être solide. C’est pourquoi on ajoute des fines (minéraux millimétriques) en quantité supérieure à celle des bétons classiques, cela afin de garantir une certaine maniabilité au BAP.

Les adjuvants sont essentiels dans la composition des BAP. Les adjuvants utilisés lors de la composition du BAP sont les **superplastifiants**. Ces derniers permettent d’obtenir un mélange très fluide. [1]

Tableau I.1 : Exemple de composition d’un BAP. [1]

Ciment	350 kg
Sable	800 kg
Gravillons	900 kg
Adjuvants	21 kg
Fines	200 kg
Eau de gâchage	180 L

I.4. Avantages et inconvénients de BAP :

Tableau I.2 : Avantages et inconvénients du BAP. [1]

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Absence de vibration pour sa mise en place • Facilité et rapidité de la mise en œuvre • Amélioration des conditions de travail suite à l’absence de nuisances sonores • Excellent remplissage des coffrages • Béton de qualité et surface plane, régulière 	<ul style="list-style-type: none"> • Comme c’est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire

I.5. Domaine d'emploi de (BAP) :

Le BAP est majoritairement retrouvé dans les constructions au sol. Il est employé dans de nombreuses applications :

- Dalles
- Radiers
- Plancher chauffant
- Poteaux, poutres, voiles
- Fondations superficielles [1]



Figure I.1 : Application de béton fluide - © sharplaninac, Fotolia



Figure I.2 : Béton fluide pour fondation - © photo 5000, Fotolia

I.6. caractérisation rhéologique d'un BAP :

On peut mentionner trois principaux essais permettant de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP et leurs propriétés à l'état frais.

• Fluidité et mobilité en milieu non confiné :

Est caractérisée par l'essai de l'étalement au cône d'Abrams, L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis de le soulever et de mesurer le diamètre moyen de la galette d'étalement, plus le diamètre est grand, plus le matériau est fluide, le diamètre doit être entre (60 – 75 cm). Norme d'essai : NF EN 12350-8. [6]

• Mobilité en milieu confiné :

Est caractérisée par l'essai de la boîte en forme de L, L'essai consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte en forme de L, puis en levant une trappe (séparant les parties verticale et horizontale de la boîte) de laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers des armatures de diamètre 12 mm (ferrailage complexe : 3 barres distantes de 41 mm, ou simple : 2 barres distantes de 59 mm). Après écoulement du béton, on mesure la différence de

hauteur dans les parties verticale (H1 côté trappe) et horizontale (H2). Norme d'essai : NF EN 12350-10. [6]

- **Résistance à la ségrégation et stabilité du mélange.**

Est caractérisée par l'essai de stabilité au tamis, Il consiste à déverser une quantité de béton sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Au bout de 15 min, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.

Le pourcentage en masse de laitance passée à travers le tamis, par rapport à la masse de l'échantillon initial, exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 %. Plus il est faible, plus le béton est stable. Au-delà de 20 %, le béton présente un risque de ségrégation. Norme d'essai : NF EN 12350-11. [6]

Tableau I.3: conditions rhéologiques fondamentales des BAP.

fluidification de la pâte	cette fluidification est obtenue sans ajout d'eau par utilisation de superplastifiants à fort pouvoir défloculant
limitation des frottements entre les granulats	pour favoriser l'écoulement et la fluidité doit être augmenté le volume de pâte et diminué du Dmax des granulats_(10 et 16 mm)
stabilisation du mélange	pour éviter le ressuage et les risques de ségrégation
maintien de la rhéologie	pendant la durée pratique d'utilisation souhaitée

I.7.Le mortier :

Le terme mortier désigne un mélange de liant (ciment ou plâtre ou chaux) et de sable gâché avec une certaine quantité d'eau en proportion convenable, des adjuvants et des colorants peuvent aussi être ajoutés. [3]

I.7.1. Différents types des mortiers :

- **Les mortiers de ciments :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement, le dosage entre le ciment et le sable est, en général, un rapport volumétrique de 1 /3 : (1/3 de ciment et 2/3 de sable).

Le dosage de l'eau correspond au rapport (en kg) Eau/Ciment (E/C) qui est environ égal à 0,35. Il faut savoir qu'un dosage optimum en ciment rend les mortiers pratiquement imperméables.

- **Les mortiers de chaux :**

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

- **Les mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers dont le liant est un mélange de ciment et de chaux.

Généralement, on utilise la chaux et le ciment par parties égales (50/50). Des fois, on prend une quantité plus ou moins grande de l'un ou de l'autre suivant l'usage et la qualité recherchée.

- **Les mortiers gras :**

Le mortier gras (dosage en ciment plus élevé : 1/3 de liant pour 2/3 de sable) possède une structure beaucoup plus dense et laisse à peine passer l'eau. Il est quasiment imperméable. Il est utilisé pour réalisation de joints, d'enduits, etc.

- **Les mortiers maigres :**

Le mortier maigre (dosage en ciment peu élevé : 1/4 de liant pour 3/4 de sable) est plus facile à travailler. Néanmoins il est légèrement perméable. Il est utilisé pour maçonner les agglos, la pierre, etc.

- **Les mortiers rapides :**

Ils sont fabriqués avec du ciment prompt, ils sont rapides et résistants pour les scellements.

Les mortiers industriels :

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

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.
- Mortier de ragréage.

- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- Mortier de réparation [2]

I.7.2.Le rôle d'utilisation de mortier :

Le mortier peut jouer plusieurs rôles essentiels :

- Assurer la liaison et la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire assurer la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.
- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Former des enduits muraux étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton.
- Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux et divers éléments moulés.
- Consolide certains sols de fondations sous forme d'injection. [3]

I.7.3. Constituants de mortier :

I.7.3.1. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui, mélangée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium, la proportion de chaux et de silice réactive devant être au moins de 50 % de la masse du ciment.[4]

I.7.3.1.1. Les constituants principaux du ciment :

Les ciments courants ont pour constituant le clinker, auquel il peut être ajouté suivant leur type :

- du calcaire,
- du laitier de haut fourneau,
- des cendres volantes.
- des fines calcaires,
- de la pouzzolane naturelle.
- des schistes calcinés,
- des fumées de silice,

Dans le but de modifier certaines de leurs propriétés et de proposer une gamme de produits capables de résoudre les différents problèmes qui se posent lors de la réalisation de certains ouvrages, soit en raison des conditions d'environnement, soit pour des raisons de performances mécaniques.[4]

- **Clinker Portland (K) :**

Le clinker, obtenu à la sortie des fours à la suite de la cuisson des matières premières constituées principalement de calcaire, d'argile et de matières de correction, est un matériau hydraulique se présentant sous la forme de petits nodules très durs composés essentiellement des quatre phases cristallines suivantes :

- le silicate tricalcique appelé aussi « alite », C₃S, dont la formule est 3CaO, SiO₂;
- le silicate dicalcique ou « bélite », C₂S, de formule 2CaO, SiO₂ ;
- l'aluminate tricalcique C₃A, de formule 3CaO, Al₂O₃ ;
- alumino-ferrite tétracalcique C₄AF, de formule 4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃ (le ciment Portland contient au moins 95 % de clinker).

Les proportions moyennes respectives de ces différentes phases sont en moyenne :

50 à 70 % pour le C₃S ;

5 à 25 % pour le C₂S ;

2 à 12 % pour le C₃A ;

0 à 15% pour C₄AF.

Les propriétés des ciments varient en fonction des pourcentages respectifs de ces différentes phases, c'est ainsi que :

- C₃S qui dégage lors de l'hydratation une quantité de chaleur proche double de celle libérée par le C₂S, donne au ciment une résistance rapide et élevée ; cette phase est responsable de la résistance aux premiers âges.
- C₂S permet au ciment d'atteindre des résistances élevées à moyen et long terme ; à fort pourcentage, la chaleur d'hydratation dégagée par le phénomène est plus faible.
- L'aluminate tricalcique C₃A est la phase présentant la plus grande vitesse de réaction initiale d'où l'obtention de résistances initiales élevées. C'est la phase dont la réaction d'hydratation est la plus exothermique. De ce fait, il contribue essentiellement à la prise de la pâte de ciment alors qu'il contribue assez peu à la résistance finale. Elle est par ailleurs facilement attaquée par

les sulfates.

- L'alumino-ferrite tétracalcique C₄AF, qui forme une solution solide de C₂A et C₂F, réagit moins vite que C₃A ; son rôle est mineur dans le durcissement du ciment.

En dehors de ces quatre principales phases, le clinker comprend également :

- chaux libre dont le pourcentage ne doit pas dépasser 2% dans le clinker pour ne pas risquer de provoquer une expansion en présence d'eau ;
- l'oxyde de magnésium MgO, également appelé Périclase, qui, non combiné, peut-être à l'origine d'une expansion par réaction avec l'eau.

De ce qui précède, il ressort qu'un ciment contenant par exemple 60% de C₃S ainsi qu'un pourcentage en C₃A supérieur à 10 %, présentera de fortes résistances initiales et pourra être avantageusement utilisé par temps froid, alors qu'un ciment dont le pourcentage de C₃S est supérieur à 40% et celui de C₃A n'excède pas 5%, présentera une chaleur d'hydratation réduite et seront avantageusement utilisés par temps chaud.

- **Laitier granulé de haut-fourneau (S) :**

Le laitier, sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidi par aspersion d'eau, est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de 40 à 50 %, de la silice entre 25 et 35 %, de l'alumine entre 12 et 30 % ainsi que de la magnésie et d'autres oxydes en très faibles quantités, tous ces éléments étant pratiquement les mêmes que ceux du clinker.

Le laitier retient moins bien l'eau de gâchage que le Portland et craint donc davantage la dessiccation. Par contre il résiste normalement mieux à l'action destructrice des sulfates, à la dissolution de la chaux par les eaux pures ainsi que par celles contenant du gaz carbonique. [4]

- **Cendres volantes (V et W) :**

Les cendres volantes, produits pulvérulents de grande finesse, proviennent du dépoussiérage des gaz des chaudières des centrales thermiques et peuvent être :

- siliceuses (V), auquel cas elles présentent des propriétés Pouzzolanique c'est à dire qu'elles sont capables de fixer la chaux à température ambiante, faisant prise et durcissant par hydratation ;
- ou calciques (W), auquel cas, outre leurs propriétés Pouzzolanique, elles peuvent présenter des propriétés hydrauliques.

Les cendres volantes siliceuses (V) sont constituées de silice réactive, entre 40 et 55 %, proportion qui ne doit jamais être inférieure à 25 %, et l'alumine entre 20 et 30 % environ, la proportion de chaux réactive devant être inférieure à 5 %. Les cendres calciques (W), moins souvent utilisées, doivent contenir, quant à elles, une proportion de chaux réactive supérieure à 5 %. [4]

- **Pouzzolanes naturelles (Z) :**

Les pouzzolanes naturelles sont des produits généralement d'origine volcanique, ou des roches sédimentaires, présentant des propriétés Pouzzolanique. Elles sont essentiellement composées de silice réactive (dans des proportions supérieures à 25 %), d'alumine et d'oxyde de fer. [4]

- **Schistes calcinés (T) :**

Ces produits, obtenus à des températures de l'ordre de 800 °C, présentent, outre leurs propriétés Pouzzolanique, des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés. Actuellement les ciments fabriqués en France ne comportent pas de schistes calcinés. [4]

- **Calcaires (L) :**

Les calcaires utilisés comme constituant du ciment et non comme constituant secondaire, c'est à dire lorsqu'ils représentent plus de 5 % de la masse totale du ciment, doivent présenter une proportion de carbonate de calcium CaCO_3 supérieure à 75 % en masse, une teneur en argile telle que l'absorption au bleu de méthylène soit au plus de 1,20 g pour 100 g et une teneur en matières organiques (TOC) au plus égale à 05 %.[4]

- **Fumées de silice (D) :**

Les fumées de silice, constituées de particules environ 100 fois plus petites que les grains de ciment avec un diamètre moyen de l'ordre de 1/10 de micron, présentent des propriétés Pouzzolanique en raison de leur forte teneur en silice amorphe. En outre, en raison de leur finesse, elles complètent la granulométrie des ciments. Ces deux effets entraînent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction Pouzzolanique des fumées de silice.

Elles doivent contenir au moins 85 % de silice réactive, la réaction Pouzzolanique s'avérant plus élevée que celles des pouzzolanes naturelles ou des cendres volantes. [4]

I.7.3.1.2. Les constituants secondaires du ciment :

Les constituants secondaires peuvent être :

- soit l'un des constituants définis précédemment s'ils sont en proportion ≤ 5 %, exception faite du clinker:
- soit des fillers (F), leur nature exacte et leur proportion devant d'ailleurs être précisées par le fabricant dès que cette proportion dépasse 3 %.

Lorsque le constituant secondaire est un filler, il s'agit de poudres minérales très fines, généralement inertes mais pouvant parfois présenter des propriétés légèrement hydrauliques ou Pouzzolanique. Ces poudres peuvent améliorer la maniabilité du ciment, ce qui conduit à une augmentation de la maniabilité du béton. [4]

• Sulfate de calcium

Le sulfate de calcium a pour effet de réguler la prise du ciment.

Le sulfate de calcium qui peut être du gypse, de l'anhydrite ou de l'hémi hydrate, doit être ajouté en faible quantité, c'est à dire de l'ordre de 3 à 5 % maximum. [4]

• Additifs

Les additifs ne doivent présenter aucune action nocive sur les propriétés des ciments mais ils peuvent, suivant les cas, modifier certaines de leurs caractéristiques.

Il peut s'agir d'agents de mouture, fréquemment employés, qui sont des sels organiques solubles utilisés à des doses extrêmement faibles. Ils agissent comme défloculant, empêchant ainsi les phénomènes de ré agglomération des grains en cours de broyage.

Il peut s'agir également de sels solubles, tels certains adjuvants pour mortiers, bétons ou coulis qui, dans ce cas, agissent sur une caractéristique précise mais dont la présence dans le ciment doit être obligatoirement indiquée en vue d'éviter d'éventuelles incompatibilités avec d'autres produits.

La proportion d'additifs doit toujours rester très faible, le pourcentage admis ne devant pas dépasser 0,5 % de la masse totale, valeur dans laquelle se trouve comprise la proportion d'agent de mouture, et ceci pour tous les ciments à l'exception des CHF-CEM II/A ou B et des CLK-CEM III/C, pour lesquels la proportion de sels chlorés (NaCT) est autorisée jusqu'à 1 %. [4]

I.7.3.1.3. principe de fabrication de ciment courante :

Sans vouloir entrer dans le détail de la fabrication des ciments, il est cependant nécessaire d'en connaître les principes généraux et les différentes phases.

Les matières premières entrant dans la fabrication du clinker sont le calcaire et l'argile dans des proportions respectivement proches de 80 et 20 %.

Le calcaire apporte le calcium ; l'argile apporte la silice SiO_2 l'alumine Al_2O_3 et l'oxyde ferrique Fe_2O_3 nécessaires au processus de formation du clinker.

Ces matières premières contiennent par ailleurs d'autres éléments que ces oxydes fondamentaux, tels de la magnésie MgO , des sulfates, des sulfures, des alcalis K_2O et Na_2O ... dont les pourcentages doivent être contenus en deçà de limites précises. [4]

La fabrication du ciment comporte les étapes suivantes :

• EXTRACTION :

L'extraction consiste en général pour le calcaire, à abattre la roche à l'explosif, dans des carrières généralement à ciel ouvert, de façon à la fragmenter en blocs chargés ensuite dans des dumpers pour alimenter les concasseurs, alors que l'argile, beaucoup plus meuble est exploitée au moyen d'excavateurs ou de roues-pelles avant d'être transportée par camions. [4]

• CONCASSAGE :

Les matériaux extraits des carrières présentant des granulométries rosières allant jusqu'au m?, le concassage effectué le plus souvent sur les lieux mêmes de l'extraction a pour but d'en limiter la granulométrie à 50, voire 100 mm au maximum. Les matériels utilisés à cette fin peuvent être mobiles, ou fixes.[4]

• PRÉPARATION DU CRU :

La préparation du cru au cours de laquelle on réalise le mélange homogène du calcaire et de l'argile dans des proportions définies en fonction de leurs compositions chimiques particulières, mais toujours proches du rapport 80% de calcaire pour 20 % d'argile, peut se faire suivant différents procédés, le résultat final devant permettre l'obtention d'un clinker dont la teneur moyenne des différents oxydes constitutifs est de l'ordre de :

- 65% de CaO fourchette de 60 à 69 %,
- 21% de SiO_2 fourchette de 18 à 24 %,
- 6% d' Al_2O_3 fourchette de 4 à 8%,

- 3% de Fe_2O_3 fourchette de là 8 % ,
- 2% de MgO fourchette de 0 à 5 % maximum,
- 1% d' **alcalis** fourchette de 0 à 2% maximum,
- 1 % de SO_3 fourchette de 0 à 3 % maximum,

Ces proportions permettant de prévoir certaines des qualités ultérieures du ciment.

La préparation du cru peut être réalisée suivant quatre procédés différents :

- la voie sèche, la plus généralement utilisée
- la voie humide, pratiquement abandonnée parce que grande consommatrice d'énergie et qui consiste à préparer une pâte dans des délators, pâte qui est ensuite homogénéisée et stockée. Cette voie s'impose lorsque les matériaux extraits présentent un taux d'humidité élevé ;
- la voie semi-sèche qui consiste à humidifier la poudre obtenue après broyage et séchage pour l'agglomérer sous forme de granules qui sont ensuite cuits sur une grille mobile :
- la voie semi-humide qui consiste à filtrer la pâte réalisée de façon analogue à la voie humide mais, après filtration, à en faire des boudins qui sont ensuite cuits sur une grille.[4]

La fabrication par voie sèche, comporte les phases suivantes :

- **Pré homogénéisation :**

Cette phase qui a pour but de réaliser un mélange préliminaire, consiste à déposer les matériaux constitutifs du cru en couches successives, de faible épaisseur, formant le « tas de pré homogénéisation ». [4]

- **Broyage-séchage**

Repris à l'aide de roues-pelles ou de gratteurs, le mélange précédent est envoyé à la station de broyage afin d'être réduit en une poudre de grains inférieurs à 160 microns.[4]

- **Séparation**

Cette phase consiste, suivant le type de séparateur utilisé, à renvoyer au broyeur les particules insuffisamment broyées et à récupérer les fines contenues dans les gaz.

- **homogénéisation**

C'est au cours de cette phase que grâce à un brassage pneumatique ou mécanique vigoureux, peut être obtenu un produit parfaitement homogène, de caractéristiques chimiques uniformes, apte à être cuit. [4]

- **CUISSON**

Réalisée dans des fours rotatifs dont les dimensions les plus courantes sont de l'ordre de 5 m de diamètre et de 80 à 100 m de longueur dans le procédé par voie sèche (de 150 m dans le procédé par voie humide), à une température comprise entre 1 400 et 1 500 °C, la cuisson permet la transformation du cru en clinker, le cycle du traitement comportant les phases suivantes :

- le préchauffage qui s'effectue dans un échangeur de chaleur situé à l'amont du four, les gaz chauds provenant du four y brassant la farine à contre-courant ;
- la décomposition des argiles qui se situe au dessus de 500°;
- la décarbonatation des calcaires qui s'effectue à 950 °C dans la partie médiane du four dont les températures sont comprises entre 550 et 1000 °C;
- la formation du clinker ou clinkérisation à 1 450 °C qui s'effectue en partie aval du four près du brûleur. [4]

- **REFROIDISSEMENT**

Cette opération a pour but d'abaisser la température du clinker qui est de l'ordre de 1 200 à 1 450 °C à la sortie du four à environ 50/250 °C suivant les types de refroidisseurs. Cette opération a également une incidence sur la qualité du ciment, un refroidissement trop lent pouvant amener la libération de chaux libre et la transformation du C_3S en C_2S qui entraîne une baisse des résistances. [4]

- **BROYAGE**

Il est réalisé en continu dans des broyeurs alimentés à partir des stocks de clinker et des différents constituants et ajouts.

Le broyage a pour objectif, d'une part de réduire les granules de clinker en poudre, d'autre part de procéder à l'ajout du gypse (dont le rôle est de réguler le phénomène de prise), ainsi qu'à celui des éventuels autres constituants (laitier, cendres...), ce qui permet d'obtenir les différents types de ciments normalisés. [4]

- **STOCKAGE, ENSACHAGE ET EXPÉDITION**

À la sortie du broyeur, le ciment est transporté vers des silos de stockage, pour être soit ensaché soit expédié en vrac. L'ensachage, qui dans les pays industrialisés ne représente qu'environ 30 % de la production de ciment, s'effectue dans des sacs en papier kraft à l'aide de machines capables de remplir de 2 000 à 4 000 sacs par heure.

La livraison en vrac est assurée par camions, wagons ou péniches.

Selon que des constituants, autres que le gypse, sont ou non ajoutés au clinker lors des opérations de fabrication, on obtient les différents types de ciments définis par la norme. Le tableau ci-dessous donne la liste des différents types de ciments courants normalisés avec indication, pour chacun d'eux, de leur désignation propre et des pourcentages respectifs de constituants qu'ils comportent. [4]

Tableau I-04 : les différents types de ciment [4]

Désignations	Types de ciments	Teneur en clinker	Teneur en % de l'un des constituants suivants : laitier – pouzzolanes – cendres – calcaires – schistes – fumées de silice	Teneur en constituants secondaires
CPA-CEM I	Ciment Portland	95 à 100 %		0 à 5 %
CPJ-CEM II/A	Ciment Portland composé	80 à 94 %	– de 6 à 20 % de l'un quelconque des constituants, sauf dans les cas où le constituant est des fumées de silice auquel cas la proportion est limitée à 10 % (*); – de 21 à 35 % avec les mêmes restrictions que ci-dessus (*).	0 à 5 %
CPJ-CEM II/B		65 à 79 %		0 à 5 %
CHF-CEM III/A	Ciment de haut-fourneau	35 à 64 %	36 à 65 % de laitier de haut-fourneau	0 à 5 %
CHF-CEM III/B		20 à 34 %	66 à 80 % de laitier de haut-fourneau	0 à 5 %
CLK-CEM III/C		5 à 19 %	81 à 95 % de laitier de haut-fourneau	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/A	Ciment pouzzolanique	65 à 90 %	10 à 35 % de pouzzolanes, cendres siliceuses ou fumées de silice, ces dernières étant limitées à 10 %. 36 à 55 % comme ci-dessus	0 à 5 %
CPZ-CEM IV/B		45 à 64 %		0 à 5 %
CLC-CEM V/A	Ciment au laitier et aux cendres	40 à 64 %	18 à 30 % de laitier de haut-fourneau et 18 à 30 % de cendres siliceuses ou de pouzzolanes. 31 à 50 % de chacun des 2 constituants comme ci-dessus	0 à 5 %
CLC-CEM V/B		20 à 39 %		0 à 5 %

(*) Le pourcentage de fillers est limité à 5 %.

I.7.3.1.4. Propriétés de ciment :

A. Caractéristiques physiques :

A.1. Comportement physico-chimique de la pâte :

- Silicate tricalcique C_3S
- Silicate bicalcique C_2S
- Aluminate tricalcique C_3A
- Alumino-ferrite tétracalcique C_4AF

Une fois la poudre de ciment mélangée à l'eau, les réactions d'hydratation se développent, il se produit alors une cristallisation qui aboutit à un nouveau système de constituants hydratés stables avec formation de cristaux en aiguilles plus ou moins enchevêtrées produisant la prise.

Chacune des phases précédentes a un rôle spécifique dans l'acquisition des propriétés du ciment hydraté et l'on peut scinder la réaction d'hydratation en 4 étapes ou phases :

- une phase initiale, au cours de laquelle le silicate tricalcique se dissout superficiellement pour former un mono silicate de calcium hydraté et l'ettringite ;
- une phase dite dormante, au cours de laquelle la pâte reste fluide, les réactions précédentes se poursuivant moins rapidement pendant une durée de 2 à 3 heures ;
- une phase de prise, au cours de laquelle la pâte acquiert une certaine consistance due à l'interpénétration des cristaux ;
- une phase de durcissement, qui se développe environ 8 heures après le début de l'hydratation et qui se poursuit pendant des années à une vitesse de plus en plus lente et dont le résultat est l'augmentation de la résistance mécanique et de la compacité.

La réaction chimique d'hydratation s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important selon les ciments et la rapidité de prise.

Il faut noter que la quantité d'eau qu'il est nécessaire d'ajouter pour le gâchage correct du ciment est supérieure à celle strictement nécessaire aux seules réactions chimiques, car il faut distinguer :

- l'eau de cristallisation ou d'hydratation fixée chimiquement dans les nouveaux constituants hydratés et qui est nécessaire à leur structure cristalline, son pourcentage étant en général de l'ordre de 20 à 25 % du poids du ciment ;
- l'eau absorbée ;
- l'eau libre (dans les fins réseaux capillaires) qui s'élimine plus ou moins par séchage et qui est nécessaire pour obtenir la plasticité et l'onctuosité indispensables au gâchage et à la mise en place des bétons. [4]

A.2. Indice d'hydraulicité :

L'indice d'hydraulicité ou indice de Vicat est le rapport de la fraction acide du ciment à la fraction basique :

$I = \text{fraction acide } \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{fraction basique } \text{CaO} + \text{MgO}$

La résistance chimique des ciments est d'autant meilleure que leur indice d'hydraulicité est plus élevé :

- quand $I > 0,5$, le ciment est dit basique (Portland);
- quand $I < 0,5$, le ciment est dit neutre (riche en laitier);
- quand $I \neq 1$, le ciment est dit acide (conventionnellement); ce sont ceux qui font prise en mettant en liberté non de la chaux mais de l'alumine (ciment alumineux).

Actuellement on préconise les règles suivantes :

$1,40 < \text{CaO} / \text{SiO}_2 < 1,45$ et $0,45 < \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2 < 0,50$. [4]

A.3. Prise :

Le phénomène de prise, qui s'accompagne d'un dégagement de chaleur plus ou moins important, est lié à de nombreux paramètres ;

- le type du ciment, certains d'entre eux ayant des temps de prise beaucoup plus courts que d'autres dans les mêmes conditions d'ambiance ;
- la finesse de mouture, le début de prise étant d'autant plus rapide que la finesse de mouture est grande ;
- la température ambiante, la prise étant stoppée à 0°C , alors qu'elle est très accélérée dès que la température dépasse 30°C ;
- la présence de matières organiques dans l'eau ;
- l'excès d'eau de gâchage qui agit alors comme retardateur.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de :

- 1 h 30 pour les ciments des classes 32,5 et 32,5 R;
- 1 h pour les ciments des classes 42,5 — 42,5 R — 52,5 - 52,5 R.

D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2 h 30 à 3 h 30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C . [4]

A.4.Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours des quelles les résistances mécaniques continuent de croître.

Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « R » c'est à dire ayant la caractéristique complémentaire « rapide ». Il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA qui après quelques jours a atteint la quasi totalité de sa résistance.

A.5. Fausse prise :

Dans la composition des ciments rentre en général un peu de gypse (sulfate de calcium hydraté à deux molécules d'eau : $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Si les clinkers sont trop chauds ou s'échauffent trop au cours du broyage, il se forme alors un peu de plâtre ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) dont la prise très rapide donne l'impression d'un début de prise, c'est la « fausse prise ». Dans ce cas, il ne faut surtout pas ajouter d'eau mais augmenter la durée de malaxage. Les ciments les plus sensibles sont ceux à très fine mouture ou à assez fort pourcentage de gypse. [4]

A .6.Chaleur d'hydratation

La dissolution des différents constituants est exothermique et, selon leurs pourcentages relatifs. le dégagement de chaleur est donc plus ou moins important, c'est le cas par exemple des ciments riches en C_3A que l'on cherchera à utiliser par temps froid ou en préfabrication, alors qu'on aura intérêt à les éviter par temps chaud. Suivant les ciments, cette chaleur est comprise à 12 heures, approximativement, entre 65 J/g par exemple pour certains CHF-CEM III/B et 300 J/g pour certains CPA-CEM I. [4]

La finesse de mouture a également une action sur l'exo-thermie.

A.7. Finesse de mouture :

La finesse de mouture, également appelée finesse Blaine, exprimée en **m²/kg** représente la surface spécifique ou surface développée d'une masse de **1 kg** de ciment.

Elle est d'une façon générale, comprise entre 300 et 350 (pour mémoire rappelons que la finesse s'exprimait auparavant en cm^2/g et que de nombreux utilisateurs continuent à l'exprimer ainsi ; il ressort qu'une finesse de 300 m^2/kg

correspond à 3000 cm²/kg). Certains ciments tels les ciments prompts naturels « CNP » ont un Blaine supérieur à 450 m²/kg.

Plus la finesse est grande, plus les résistances sont précoces et élevées, mais par contre, plus les risques de retrait et par conséquent de fissuration ainsi que d'éventement du ciment sont accrus. [4]

A .8. Retrait :

C'est la diminution du volume apparent de la matière. On le mesure sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4 x 4 cm. conservées dans l'air à une température de 20 °C et une hygrométrie de 50 %.

La norme impose les valeurs limites, à 28 jours, de :

- 800 μm /m pour les ciments Portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de la classe 32,5 ;
- 1 000 μm/m pour des types de ciment identiques mais des classes 32,5 R - 42.5 et 42,5R.

Les principaux paramètres agissant sur le retrait sont :

- La nature du ciment (la proportion de certains constituants a une action défavorable sur la valeur totale du retrait);
- La finesse de mouture ;
- Le dosage en ciment, dans le béton;
- Le dosage en eau;
- La propreté et la nature des granulats;
- La protection après collage.

Il est parfois utile d'avoir une estimation de la grandeur du retrait du béton, le ciment n'étant pratiquement jamais utilisé pur. À défaut de mesures au cas par cas, le **BAEL91** indique, en fonction des conditions climatiques, les valeurs suivantes dans le cas de pièces non massives, à l'air libre, comportant un pourcentage moyen d'armatures :

- $1,5 \times 10^{-4}$ dans les climats très humides;
- 2×10^{-4} en climat humide ;
- 3×10^{-4} en climat tempéré sec;
- 4×10^{-4} en climat chaud et sec;
- 5×10^{-4} en climat très sec ou désertique. [4]

A.9. Expansion :

Les causes possibles de l'expansion proviennent de l'hydratation des oxydes de calcium ou de magnésium que peuvent contenir certains ciments sous forme de chaux ou de magnésie libres. Les ciments doivent être stables, car les risques d'expansion dans le temps peuvent provoquer des désordres importants par dislocation des maçonneries.

La stabilité se détermine par l'essai de Chalutier, qui consiste à mesurer l'écartement de deux aiguilles solidaires d'un moule rempli de la pâte de ciment à tester, et conservé dans de l'eau bouillante. La valeur de l'expansion mesurée doit être inférieure à 10 mm pour tous les types de ciments courants. Le pourcentage maximal de magnésie est limité ; sa valeur, spécifiée par la norme, doit être au plus égale à 5 % pour les CPA-CEM I ainsi que pour le clinker ; pour certains autres ciments le pourcentage limite. [4]

A.10. Gonflement :

Bien que non normalisé, il est utile de rappeler qu'alors qu'il se rétracte dans l'air, le ciment augmente de volume lorsqu'il est immergé dans l'eau, ses variations dimensionnelles étant environ le $1/10^e$ de celles constatées dans l'air.

B. Caractéristiques chimiques :

B.1. Ciments courants :

D'une façon générale, les ciments doivent satisfaire au respect d'un certain nombre d'exigences, résumées dans le tableau ci-après, quant à leur composition chimique.

Tableau I.5 : ciment courants [4]

Propriétés	Type de ciment	Classe de résistance	Valeur maximale en % de la masse
Perte au feu	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Oxyde de magnésium MgO	CPA-CEM I	toutes classes	≤ 5
Résidu insoluble	CPA-CEM I CHF-CEM III CLK-CEM III	toutes classes	≤ 5
Sulfates SO ₃ limite supérieure	CPA-CEM I et CPJ-CEM II (*)	32,5 32,5 R 42,5	≤ 3,5
	CPZ-CEM IV et CLC-CEM V	42,5 52,5 52,5 R	≤ 4
	CHF-CEM III	toutes classes	≤ 4
Chlorures	tous types de ciment (**)	52,5 R toutes les autres classes	≤ 0,05 ≤ 0,10

(*) valable pour les CPJ-CEM II/A et B à l'exception des ciments ne contenant que des schistes calcinés comme constituant, autre que le clinker, pour lesquels la limite est de 4,5 % pour toutes les classes de résistance.

(**) les CHF-CEM III/A et B et les CLK-CEM III/C peuvent contenir plus de 0,10 % de chlorures mais dans ce cas la teneur réelle doit être déclarée.

C. Caractéristiques mécaniques des ciments courants :

Les ciments courants sont classés en fonction de leurs résistances mécaniques à la compression exprimées en MPa à 28 jours, la norme spécifiant une limite inférieure et une limite supérieure dont les valeurs sont les suivantes :

Tableau I.6: classe de ciment courant en fonction de leur résistance à compression [4]

Classe des ciments	Résistance à 2 jours	Résistance minimale à 28 jours	Résistance maximale à 28 jours
32,5		≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 13,5	≥ 32,5	≤ 52,5
42,5	≥ 12,5	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20	≥ 42,5	≤ 62,5
52,5	≥ 20	≥ 52,5	-
52,5 R	≥ 30	≥ 52,5	-

Les classes « R », rapides, présentent aux jeunes âges des caractéristiques mécaniques plus élevées et trouvent leur intérêt particulièrement dans certaines circonstances telles que bétonnage par temps froid, décoffrage rapide, préfabrication.....

Il y a lieu de distinguer les valeurs spécifiées pour chaque classe de ciment par la norme, la probabilité étant statistiquement de 95 % pour les résistances minimales et de 90 % pour les résistances maximales, et les valeurs garanties que le fabricant doit respecter à 100 % et qui sont indiquées dans le tableau ci-dessous :

Tableau I-7: Résistances garanties à compression pour différents type de ciment courant [4]

Classe des ciments	Résistances garanties à 2 jours	Résistances garanties à 7 jours	Résistances garanties à 28 jours
32,5		17,5	30
32,5 R	12		30
42,5	10		40
42,5 R	18		40
52,5	18		50
52,5 R	28		50

D. Marquage des sacs :

Les inscriptions portées sur les sacs comportent outre la marque du ciment (nom du fabricant et de l'usine) :

- le type du produit, ex. : Ciment Portland Composé - CPJ-CEM I/A ;
- l'indication des constituants autres que le clinker;
- l'indication de la norme à laquelle il se réfère, ex. : NF P 15-301;
- la classe de résistance, ex. : 32,5 R;
- les caractéristiques complémentaires éventuelles, ex. : PM, ES, CP2;
- une indication sous forme d'astérisque (*) pour les CPA-CEM I lorsque la teneur en constituant secondaire est supérieure à 3 %;
- la nature et le pourcentage d'adjuvant lorsque le ciment en comporte, (ex : Re = 0,3 %), l'identification des différents adjuvants correspondant aux mentions suivantes :
 - HR Haut réducteur d'eau
 - Re Réducteur d'eau plastifiant
 - H Hydrofuge

- F Fluidifiant — Superplastifiant
- E Entraîneur d'air
- P Plastifiant
- Ap Accélérateur de prise
- Ad Accélérateur de durcissement
- Rp Retardateur de prise

À titre d'exemple, le sac d'un ciment Portland CPA-CEM I de classe 42,5 ayant les caractéristiques complémentaires prise mer « PM », tenue aux eaux à haute teneur en sulfates « ES » à teneur limitée en sulfures « CPI », comportant en plus un adjuvant réducteur d'eau plastifiant présentera les indications figurées sur le croquis suivant.[4]

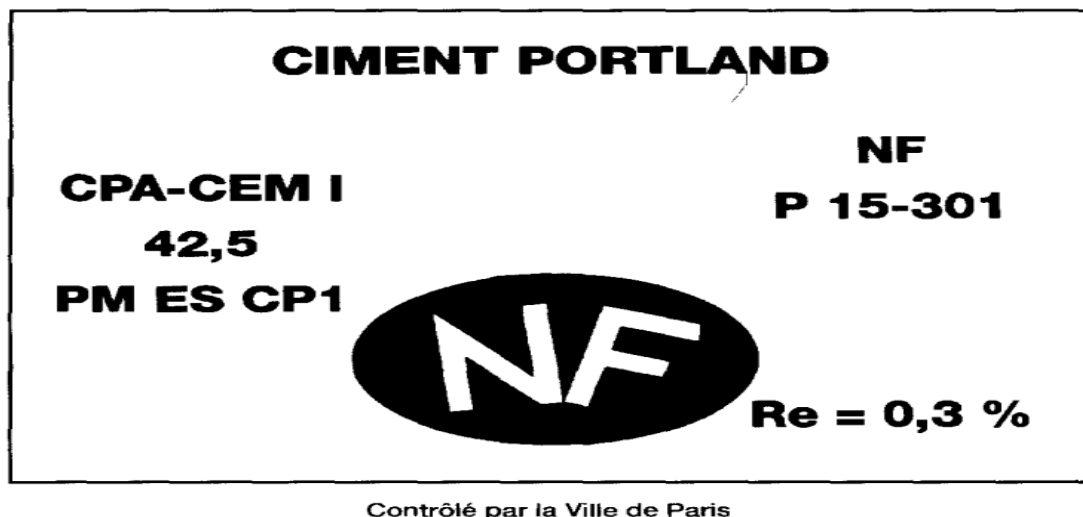


Figure I. 3 : Exemple d'un croquis de caractéristiques d'un ciment

I.7.3.2. Le sable :

A. Définition des sables :

Les sables sont des grains de roches ou de minéraux ayant un diamètre compris entre 0,0625 mm (limon) et 3 mm (gravier) ou 4,75 mm et 5 mm, selon la définition des matériaux granulaire en géologie. Sa composition peut révéler jusqu'à 180 minéraux différents (quartz, micas, feldspaths) ainsi que des débris calcaires de coquillage et de corail Le sable provient de l'altération et la désagrégation naturelle des roches et autres matériaux de la surface terrestre, sous l'effet du climat. Les matériaux fragmentés peuvent ensuite être transportés par l'eau et le vent, ultimement jusque dans les océans qui bordent les continents. Des accumulations exploitables de sable peuvent se former durant leur long transport vers les océans. [3]

B. Composition du sable :

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

Cependant, les débris d'origine synthétique ne sont présents que dans les sables de plage et de delta marins actuels en formation et les débris d'origine organique ne sont abondants que dans les sables marins. Un delta marin est une zone d'accumulation alluviale de forme grossièrement triangulaire, édifiée par un courant d'eau à son arrivée dans une mer ou dans un lac. Les sables d'origine glaciaire ou Fluvio-glaciaire ne contiennent jamais de débris synthétiques et très rarement des débris organiques.

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

D'autres minéraux comme la magnétite (oxyde naturel de fer Fe_3O_4 , possédant des propriétés magnétiques), à la fois durs et inaltérables, peuvent se concentrer dans le sable, par disparition des minéraux fragiles durant le transport. [3]

C. Propriétés microstructurales des sables :

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

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

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

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

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

Ainsi, toute variation volumique d'un échantillon de sable s'explique par le déplacement relatif des grains : le dés enchevêtrement des grains provoque la dilatation et l'enchevêtrement entraîne la compaction. Les résistances des sols ayant une structure lâche ou dense diffèrent fortement. Le comportement hydraulique est également influencé par la structure, en effet, la perméabilité d'un sable lâche est plus grande que celle d'un sable dense. [3]

D. Quelques propriétés des sables :

Les sables sont identifiés grâce à leur granulométrie (la grosseur et distribution des grains).

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

Tableau I.8 : type de sable selon leurs diamètres. [3]

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

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

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

Tableau I.9: Caractéristiques physiques générales des sables.[3]

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

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

Tableau I.10 : Les types de sables selon leur équivalent de sable. [3]

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

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

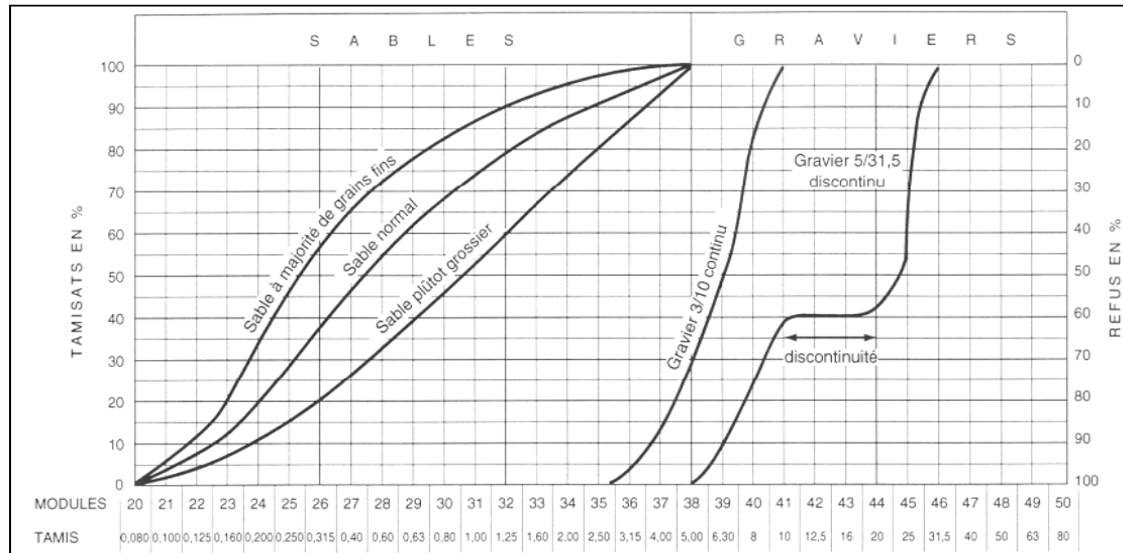


Figure I.4 : fuseau de spécification française du sable et gravier pour béton hydraulique [5]

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

Les normes spécifient le M_f des sables comme suit :

- Sables gros $M_f > 2,5$
- Sables moyen $2 < M_f < 2,5$
- Sables fin $1,5 < M_f < 2$
- Sables très fin $1 < M_f < 1,5$

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons, avec : $M_f = R_c / 100$

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

E. Les différents types de sables :

- **Sables naturels :**

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

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

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

En fin, le sable de feuilles est un sable fin, comportant de nombreux vides d'air qui imposent lors de son utilisation une association avec d'autres sables. Ce sable est récupéré sur les reliefs montagneux. [3]

- **Sables artificiels**

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

Les avantages du sable concassé résident dans sa disponibilité régulière, sa qualité contrôlée et sa conformité aux normes techniques spécifiées. En utilisant du sable concassé, on peut obtenir une granulométrie uniforme, ce qui peut conduire à une meilleure compacité, une meilleure résistance et une meilleure adhérence dans les matériaux de construction.[3]

- **Sable de dune**

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

Le sable de dune est intéressant du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction très faible, et de sa propreté apparente. Il constitue une solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir. [3]

I.7.3.3.L'eau de gâchage

L'eau joue un rôle déterminant dans la fabrication des mortiers et des bétons à base de liants hydrauliques. Elle agit non seulement pour conduire à la prise de ces matériaux, par réaction entre les constituants anhydres des ciments, mais aussi pour leur conférer certaines de leurs caractéristiques à l'état frais.

L'eau joue un double rôle dans la formulation du béton :

- déclencher l'hydratation du ciment (liant hydraulique) qui conduit à la prise et au durcissement du béton par la formation de constituants hydratés qui ont des propriétés liantes ;
- assurer la maniabilité du béton frais pour faciliter sa mise en place.

Le dosage en eau qui se traduit par le rapport Eau/Ciment (E/C) est un paramètre déterminant vis-à-vis de la porosité, de la résistance et donc de la durabilité du béton. Plus le rapport E/C est faible plus ces propriétés sont favorisées. En règle générale le rapport E/C est compris entre 0,4 et 0,6.

La quantité d'eau nécessaire à l'hydratation du ciment est de l'ordre de 20 à 25 % de la quantité de ciment en masse. Le reste de l'eau permet d'assurer la maniabilité du béton à l'état frais. Pour limiter la quantité d'eau dans la formulation du béton, on utilise généralement des adjuvants tels que les plastifiants et les superplastifiants.

Ces adjuvants permettent d'obtenir une maniabilité adaptée à la mise en œuvre en réduisant la quantité d'eau de gâchage utilisée pour la fabrication du béton.

L'eau utilisée pour formuler le béton doit être conforme à la norme NF EN 1008 «Eaux de gâchage» ; cette norme :

- Définit les spécifications relatives à la qualité de l'eau utilisable pour la production de béton ;
- Décrit les méthodes permettant d'apprécier son aptitude à l'emploi selon des critères chimiques (teneur en chlorures, sulfates, alcalins, sucres...) et mécaniques (temps de prise, résistance...);
- Définit les différents types d'eaux et leur aptitude à l'emploi.

L'eau du réseau de distribution d'eau potable convient parfaitement. Les eaux de nappes phréatiques ou de captage doivent être analysées par des essais

définis dans la norme NF EN 206/CN ; cette norme fixe dans son annexe NAF et les tableaux NAF1 à NAF4, le rapport E efficace/Liant équivalent maximal en fonction de chaque classe d'exposition. [6]

- **Les différentes eaux du béton :**

- **Eau efficace :**

L'eau efficace correspond à la différence entre la quantité d'eau contenue dans le béton frais et la quantité absorbée par les granulats. C'est en fait l'eau disponible pour hydrater le ciment. Eau totale L'eau totale correspond à toute l'eau contenue dans le béton. [6]

- **Eau totale :**

L'eau totale correspond à toute l'eau contenue dans le béton.

C'est la somme de l'eau d'apport, de l'eau contenue à la surface ou dans les granulats (liée à leur porosité), l'eau apportée par les adjuvants et éventuellement les additions introduits sous forme liquide. [6]

- **Eau d'humidité des granulats :**

Cette eau provient des eaux pluviales auxquelles ont été exposés les granulats pendant leur stockage ou de l'eau de lavage. Elle doit être prise en compte lors de la fabrication du béton. Elle doit être déduite de la quantité totale prévue lors de la formulation. [6]

- **Eau absorbable par les granulats :**

Elle correspond à l'eau qui peut être absorbée par les granulats du fait de leur porosité. Les granulats peuvent être saturés en eau lors de leur introduction dans le malaxeur, cette eau n'intervient pas dans l'hydratation du ciment. Si les granulats ne sont pas saturés en eau, le calcul de l'eau d'apport devra tenir compte de la quantité d'eau nécessaire pour saturer les granulats. [6]

- **Eau d'apport (ou eau d'ajout) :**

L'eau d'apport correspond à l'eau à introduire dans le malaxeur indépendamment de l'eau introduite par les autres constituants.[6]

- **Conditions :**

- L'eau joue un rôle fondamental pour le béton, elle lui est indispensable pour son hydratation, mais en trop grande quantité, elle peut être néfaste pour sa résistance ou sa durabilité.
- L'eau en quantité insuffisante ne permet pas l'hydratation correcte du ciment.
- L'eau en excès dégrade les caractéristiques mécaniques, la durabilité et l'aspect du béton et peut conduire à des phénomènes de ségrégation ou de ressuage.

- En effet, un excès d'eau augmente la porosité du béton et donc diminue sa résistance mécanique et sa résistance aux agents agressifs (CO₂, chlorures, sulfates...). Il accentue aussi les phénomènes de retrait.
- Plus la quantité d'eau sera importante, plus l'ouvrabilité du béton frais sera élevée mais au détriment de la résistance mécanique du béton durci. 25 à 30% d'eau par rapport au poids du ciment sont nécessaires à l'hydratation. Le reste sert à adapter l'ouvrabilité du béton. [6]

I.8. Les adjuvants :

A) Généralité :

Un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis, lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci.

Les adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934, partie 2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Définition – exigences – conformité – marquage et étiquetage.

L'utilisation d'adjuvants remonterait aux Romains qui utilisaient du sang de bœuf et du jaune d'œuf dans leur mélange de chaux et de pouzzolane.

Le pouvoir coagulant du sang était utilisé pour accélérer la prise des mortiers. Au début, les adjuvants étaient à base de matière organique et utilisés de manière empirique.

Au cours du XX^e siècle, des progrès scientifiques ont permis de développer des adjuvants avec des propriétés spécifiques. Leur utilisation s'est généralisée ces dernières décennies. Ils sont aujourd'hui incorporés dans tous les types de bétons, qu'ils soient livrés prêts à l'emploi, utilisés en usine de préfabrication ou fabriqués sur chantier.[7]

B) Historique :

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment Portland vers 1850, commencent les recherches sur l'incorporation de produits susceptibles d'améliorer certaines de ses propriétés. On cherche à agir sur les temps de prise, les caractéristiques mécaniques et de mise en œuvre et la porosité. Dès 1881, Candlot étudie l'action des accélérateurs et des retardateurs de prise.

Le sucre, déjà connu comme retardateur de prise, est souvent employé à partir de 1909. Entre 1910 et 1920, débute la commercialisation d'hydrofuges et d'accélérateurs à base de chlorure de calcium. À partir de 1930, les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés. Depuis 1960, avec le développement du béton

préfabriqué et du béton prêt à l'emploi, les adjuvants prennent une place grandissante, fruit d'une expérimentation progressive.

Le développement important des adjuvants nécessite la création en 1964, de la COPLA (commission permanente des Liants hydrauliques et des Adjuvants de béton). Elle a pour mission l'agrément et le contrôle des adjuvants et la mise à jour d'une liste officielle.

En 1968, est créé le SYNAD (Syndicat National des Adjuvants) avec pour vocation de développer et faire connaître les adjuvants.

Le développement des normes d'adjuvants à partir de 1972 a défini en 1984 à la mise en place d'une certification avec la marque NF Adjuvants, véritable label de qualité. [7]

Tableau I.11 : Effets et domaines d'application des adjuvants. [7]

DÉFINITION	EFFETS SUR BÉTON FRAIS	EFFETS SUR BÉTON DURCI	DOMAINES D'APPLICATION PRIVILÉGIÉS
LES PLASTIFIANTS RÉDUCTEURS D'EAU			
Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire la teneur en eau du béton (réducteur d'eau), ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent l'affaissement, l'étalement (plastifiant), ou qui produisent les deux effets à la fois	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amélioration de la maniabilité et maintien de l'ouvrabilité sans modifier la teneur en eau ■ Facilité de mise en œuvre des bétons ■ Réduction de la teneur en eau sans modifier la consistance ■ Diminution du ressuage ■ Diminution de la ségrégation ■ Amélioration de la pompabilité des bétons ■ Réduction de retrait hydraulique ■ Effets secondaires possibles à fort dosage : retard de prise et/ou entraînement d'air 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme ■ Diminution de la porosité ■ Augmentation de la durabilité ■ Amélioration de l'adhérence entre la pâte cimentaire et les granulats ■ Amélioration de la liaison béton/armatures ■ Amélioration de l'esthétique des parements 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétons à Hautes Performances ■ Bétons préfabriqués ■ Ouvrages de Génie Civil ■ Dalles, voiles fortement ferrailés ■ Majorité des bétons
LES SUPERPLASTIFIANTS – HAUTS RÉDUCTEURS D'EAU			
Adjuvants qui, sans modifier la consistance, permettent de réduire fortement la teneur en eau du béton (haut réducteur d'eau), ou qui, sans modifier la teneur en eau, en augmentent considérablement l'affaissement et l'étalement (superplastifiant), ou qui produisent les deux effets à la fois	<ul style="list-style-type: none"> ■ Diminution de la teneur en eau sans modifier la consistance ■ Amélioration de la consistance et de la maniabilité sans modifier la teneur en eau ■ Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2 h 30 – 3 h 00 à 20 °C) ■ Diminution du ressuage ■ Diminution de la ségrégation ■ Amélioration de la pompabilité des bétons 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amélioration des résistances mécaniques à court et à long terme ■ Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport granulats/liant) ■ Amélioration de la liaison béton/armatures ■ Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment ■ Amélioration de la compacité ■ Diminution du coefficient de perméabilité ■ Accroissement de la durabilité ■ Diminution du fluage ■ Réduction du retrait hydraulique 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétons préfabriqués ■ Bétons précontraints ■ Bétons pour fondations superficielles et profondes : pieux, puits, parois moulées... ■ Bétons à Hautes Performances ■ Bétons autoplaçants ■ Bétons pompés ■ Radiers industriels ■ Ouvrages de Génie Civil
LES ACCÉLÉRATEURS DE PRISE			
Adjuvants qui diminuent le temps de début de prise du béton : temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide	<ul style="list-style-type: none"> ■ Accélération de la prise du béton ■ Augmentation de la chaleur d'hydratation ■ Accélération de la rotation des coffrages 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas d'effet sur béton durci ■ Amélioration des résistances à court terme 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ouvrages de Génie Civil ■ Bétonnage par temps froid ■ Bétons préfabriqués ■ Bétonnage en zone de marnage ■ Bétons à hautes résistances initiales ■ Bétons projetés ■ Béton prêt à l'emploi (augmentation des cadences de production sur chantier)
LES ACCÉLÉRATEURS DE DURCISSEMENT			
Adjuvants qui augmentent la vitesse de développement des résistances initiales du béton, avec ou sans modification du temps de prise	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas d'effet sur le béton frais, sauf temps de prise 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Décoffrage rapide ■ Accroissement de la vitesse de montée en résistance du béton ■ Amélioration des résistances à court terme 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Tous les bétons nécessitant une bonne résistance à court terme ■ Bétons pour décoffrages rapides ■ Bétons précontraints ■ Bétonnage par temps froid ■ Bétonnage sous l'eau ■ Préfabrication sans étuvage
LES RETARDATEURS DE PRISE			
Adjuvants qui retardent le début de prise du béton : augmentation du temps de début de transition du mélange pour passer de l'état plastique à l'état rigide	<ul style="list-style-type: none"> ■ Allongement du temps de début et fin de prise ■ Maintien de l'ouvrabilité du béton dans le temps ■ Régulation de la chaleur d'hydratation du ciment ■ Régulation de la prise 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amélioration des résistances à long terme 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétonnage par temps chaud ■ Transport du béton sur longues distances ■ Bétons pompés ■ Bétons pour ouvrages en grande masse ■ Coulage du béton en continu ■ Reprise de bétonnage
LES HYDROFUGES DE MASSE			
Adjuvants qui permettent de limiter la pénétration de l'eau dans les pores et les capillaires du béton et donc de réduire l'absorption capillaire du béton durci, sans altérer ses qualités plastiques et esthétiques	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pas d'effet sur le béton frais 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Obturation du réseau capillaire du béton ■ Réduction du risque d'efflorescences ■ Augmentation de la durabilité ■ Réduction de la perméabilité et de l'absorption d'eau du béton par capillarité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétons de fondation ■ Bétons de radier ■ Bétons de réservoir en béton ■ Bétons préfabriqués : bordures, pavés ■ Bétons étanches dans la masse ■ Ouvrages hydrauliques ■ Mortiers d'étanchéité

LES ENTRAÎNEURS D'AIR			
Adjuvants qui permettent d'incorporer pendant le malaxage une quantité contrôlée de fines bulles d'air entraîné uniformément réparties, qui subsistent après durcissement et qui, en jouant le rôle de vase d'expansion, protègent le béton des effets du gel	<ul style="list-style-type: none"> ■ Amélioration de l'ouvrabilité grâce aux bulles d'air ■ Diminution des phénomènes de ségrégation et de ressuage ■ Mise en place facilitée 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Protection contre les cycles de gel/dégel et les sels de déverglaçage ■ Amélioration de l'aspect du béton au décoffrage ■ Baisse des résistances mécaniques 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétons exposés aux cycles gel/dégel ■ Bétons extrudés ■ Bétons routiers ■ Matériaux autocompactants ■ Bétons préfabriqués exposés au gel
LES RÉTENTEURS D'EAU			
Adjuvants qui permettent de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter l'homogénéité et la stabilité du mélange	<ul style="list-style-type: none"> ■ Diminution du ressuage et de la ségrégation ■ Réduction de la perte en eau ■ Cohésion du béton 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Limitation des risques de fissuration liée au retrait plastique ■ Meilleure hydratation du ciment ■ Amélioration des performances mécaniques à court et à long terme ■ Amélioration de la durabilité 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Bétons horizontaux et ouvrages présentant une surface d'évaporation importante ■ Dallages industriels ■ Dalles décoratives ■ Ouvrage en grande masse ■ Coulage dans l'eau

Tableau I. 12 : Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété. [7]

PROPRIÉTÉ		ADJUVANTS							
		Réteneur d'eau	Plastifiant	Superplastifiant	Accélérateur de durcissement	Accélérateur de prise	Retardateur de prise	Entraîneur d'air	Hydrofuge de masse
Ouvrabilité			+	+				+	
Temps de prise						-	+		
Résistances	Court terme	+	+	+	+	+	-	-	
	Long terme	+	+	+	=	=	+	-	
Air occlus								+	
Résistance au gel du béton durci		+						+	
Compacité		+	+	+					
État de surface			+	+				+	
Perméabilité sous pression hydraulique			-	-					-

Tableau I.13 : Dosage en adjuvants par rapport au poids du ciment. [7]

ADJUVANTS	DOSAGE EN %
Plastifiants	0,15 à 1,2
Superplastifiants	0,6 à 2,5
Accélérateurs de prise	1 à 3
Accélérateurs de durcissement	0,8 à 2
Retardateurs de prise	0,2 à 0,8
Hydrofuges	0,5 à 2
Entraîneurs d'air	0,05 à 3
Rétenteurs d'eau	0,1 à 2

I .9. Le polystyrène :

A) Généralité :

Le polystyrène expansé (PSE) est un matériau alvéolaire rigide, peu dense, dont les principales utilisations sont l'isolation thermique des bâtiments et l'emballage des produits industriels ou alimentaires.

Il existe deux grandes familles de produits :

- Les polystyrènes expansés moulés (PSE-M), obtenus à partir de perles de polystyrène expansible, dans lesquelles a été dissous un agent d'expansion (en général du pentane) et qui sont expansées et moulées par action de la chaleur (procédé inventé par la société BASF en 1952) ;
- Les polystyrènes expansés extrudés (PSE-E), obtenus par extrusion directe de polystyrène avec injection d'un agent d'expansion tel que l'hydrochlorofluorocarbure (HCFC) 142 b ou le pentane (procédé inventé par la société Dow Chemical en 1943), ces produits représentant en 1993 environ 30 % en tonnage du marché mondial total du PSE et 20 % en volume.

Les propriétés les plus remarquables du polystyrène expansé sont :

- Sa faible masse volumique ;
- Son pouvoir isolant thermique ;
- ses excellentes propriétés mécaniques (résistance en compression, capacité d'amortissement des chocs) ;
- Son insensibilité à l'eau ;
- Sa facilité de mise en forme (moulage, découpage) ;
- Sa recyclabilité.

Enfin, la production de styrène à grande échelle et la facilité de polymérisation de ce monomère conduit à un compromis propriétés/prix particulièrement intéressant pour les deux marchés principaux du polystyrène expansé. [9]

B) Billes de polystyrène : qu'est-ce que c'est ?

Le polystyrène comme son nom l'indique est une multiplication du monostyrène par expansion ou extrusion. Son composant principal est une déduction de produits pétroliers comme le styrène et le benzène. La technique de production des billes de polystyrène requiert une très faible teneur en humidité.

Les billes de polystyrène existent sur plusieurs formes. On en trouve sous forme de mousses compactes ou sous forme de granulaires. On peut également le retrouver mélangé à d'autres matières plastiques ou d'autres additifs.

Par expansion, le polystyrène est une fusion de petits bouts de plastique formant une masse solide. Il a un poids extrêmement léger. Il est obtenu par compression de thermoplastiques sous forme de plaques isolantes. Quant au type de polystyrène obtenu par extrusion, il est issu de la transformation de matériaux durs en petites particules de feuillets. La forme moussée est constituée en très grande majorité d'airs.

La mise en œuvre du polystyrène expansible comporte trois étapes. Les perles sont d'abord expansées par mélange avec de la vapeur d'eau dans une cuve agitée : c'est la pré expansion ou pré moussage. C'est à ce stade que la densité finale du matériau est déterminée.

Les perles expansées, dont le volume peut représenter jusqu'à 60 fois le volume des perles avant expansion, sont alors stockées pendant quelques heures à l'air libre : cette étape correspond à la stabilisation, ou maturation, des perles.

C) Quelques propriétés du polystyrène :

- **Propriétés électriques et thermiques :**

Les polymères tyranniques possèdent de bonnes propriétés d'isolation électrique. Ils peuvent recevoir des additifs pour devenir antistatiques ou conducteurs. Ils conduisent faiblement la chaleur. [10]

- **Comportement au feu :**

Les polymères tyranniques sont facilement combustibles et dégagent une odeur sucrée. Lors d'une combustion, ils se décomposent vers 300 °C en formant du dioxyde de carbone (CO₂) et de la vapeur d'eau, mais les combustions incomplètes ajoutent de l'oxyde de carbone (CO). Puisque toutes les combustions ou vertes utilisent l'air contenant 78 % d'azote en plus de l'oxygène, des oxydes d'azote sont toujours présents. Pour améliorer leur tenue au feu, des additifs ignifugeants sont ajoutés pour certaines applications. La combustion ajoutera alors les produits de décomposition de ces ignifugeants.

- **Vieillessement :**

Une exposition prolongée à l'extérieur provoque l'oxydation des polymères tyranniques. La couche superficielle des objets devient jaunâtre et s'effrite.

L'incorporation d'agents protecteurs ou la coloration permet d'améliorer la résistance au vieillissement. Des produits de décomposition complémentaires résulteront de la combustion. [10]

- **Résistance aux produits chimiques – Corrosion :**

Les PS sont facilement attaqués par de nombreux solvants organiques. Leur résistance aux produits inorganiques (comme des solutions aqueuses) et aux produits alimentaires est bonne. Ils ont une bonne résistance aux acides, bases, aux agents oxydants et réducteurs. Les PS gonflent ou se dissolvent au contact des acides concentrés et des hydrocarbures. Leur stabilité dimensionnelle (capacité à maintenir ses dimensions face aux variations de température, d'humidité et à certaines charges physiques) est excellente. [10]

I.10. Le Mortier autoplaçant :

Le mortier autoplaçant MAP se caractérise par une grande fluidité et une grande capacité de remplissage. Il garantit aussi de bonnes performances mécaniques et de durabilités. De telles caractéristiques sont directement liées à leurs compositions. En effet les recherches menées, au cours des dernières années, montrent que les MAP sont formulés différemment des mortiers ordinaires : ils contiennent plus d'éléments fins, ils doivent comporter au moins une addition minérale, et un dosage élevé en superplastifiant.

Le mortier autoplaçant est une alternative économique au coulis de ciment en plus d'offrir une stabilité volumétrique supérieure. Il est composé de ciment, d'eau de sable, et d'adjuvant spécialisé. Ce produit peut être pompé pour être mis en place.

Les Figures (Fig I.5 ; Fig I. 6) montrent les constituants des mortiers et la différence entre les mortiers ordinaires et les mortiers autoplaçants. [11]

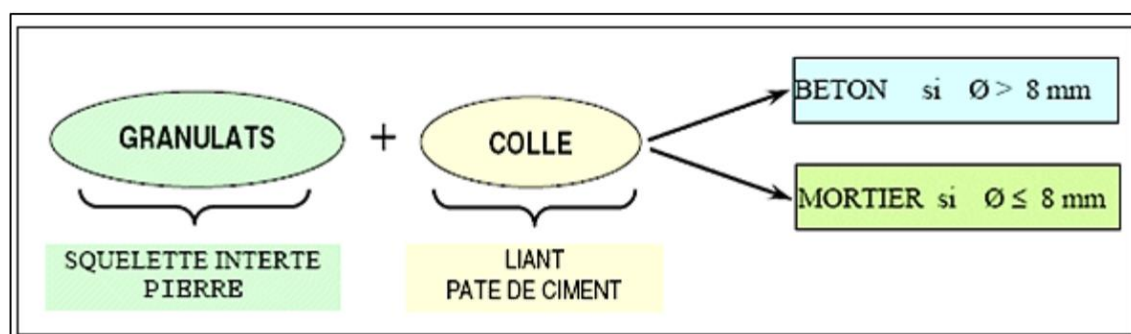


Figure I.5 : Constituants des mortiers [11]

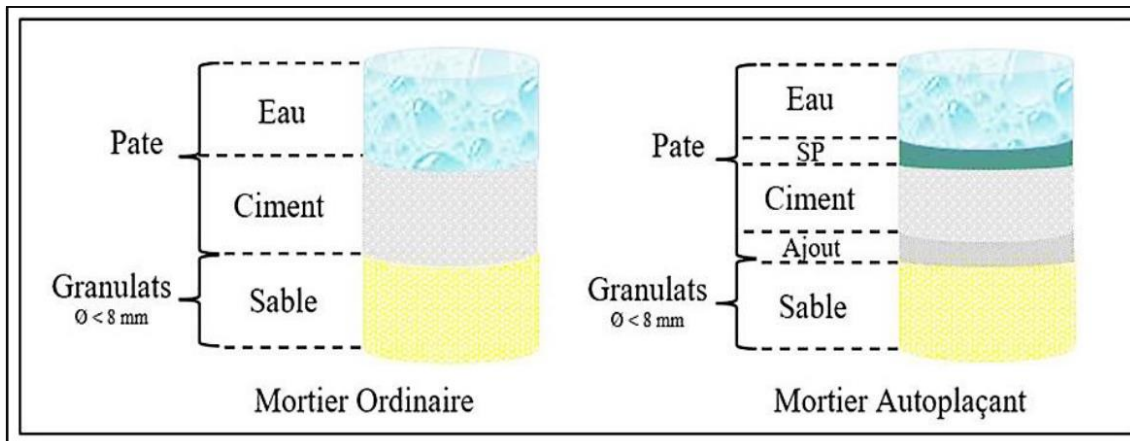


Figure I.6 : La différence entre les constituants des mortiers ordinaires et des mortiers autoplaçants. [11]

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.

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, voire ternaire ; ciment portland mélangé avec cendres volantes, laitier, fillers calcaires, pouzzolanes naturelles, ou fumée de silice. [11]

I.10. 1. Domaine d'applications MAP :

Le mortier autoplaçant est habituellement utilisé pour remplir des conduites (Figure I.7), des réservoirs souterrains, des espaces vides.

Le mortier autoplaçant peut être injecté pendant 2 heures sur des distances allant jusqu'à 100 mètres. [11]



Figure I. 7:Utilisation de MAP pour remplir les conduites et les espaces vides [11]

I.10.2. Méthode de formulation de MAP :

La formulation est basée sur la méthode des volumes absolue (B.G Scramtaeiv), pour obtenir un mortier équivalent, et après on détermine la composition nécessaire pour le mortier autoplaçant avec l'utilisation des rapports C/S et E/C de notre mélange, et de suite on utilise un superplastifiant pour prendre une bonne caractéristique à l'état frais comme l'écoulement, la fluidité et l'étalement....ex.

Le dosage de super plastifiant est optimisé par l'essai de cône de Marsh (taux de saturation).

- **Présentation de la méthode :**

Cette méthode a été formulée par l'académicien de l'ex-URSS B.G.Scramtaeiv. Elle a été considérée comme la plus rationnelle au concours en Ex URSS en 1960. Cette méthode est basée sur le principe suivant :

La somme des volumes absolus de tous les matériaux composant 1 m³ de béton frais est égale à 1000 litres. C'est à dire la porosité du béton frais est considérée nulle [7,20]. Après cette méthode de la détermination de la composition du béton comprend quatre parties suivantes :

A. Définir les données nécessaires :

- Déterminer la grosseur maximale des grains de gros granulats D_{max} :
 - $D_{max} \leq (1/3 - 1/4)$ d'épaisseur de l'élément de construction
 - $D_{max} \leq (2/3 - 3/4)$ de la distance entre deux barres de l'armature.
- Déterminer la fluidité requise du béton frais après le tableau 1.

Tableau 1 : Fluidité des bétons frais	
Type des constructions ou des éléments de construction	Affaissement du cône d'Ahrms, Cm
- Lits des fondations des bâtiments et des chaussées, sols.	0
- Revêtement des routes et d'aérodromes, constructions massives sans armatures (murs d'appuis, blocs massifs, fondations)	0 – 2 2 – 4
- Dalles, poutres, poteaux de grandes et moyennes section	4 – 6
- Constructions à parois minces, à armatures très dense	

- Si le sable n'est pas admissible au point de vue granularité, il est indispensable de le mélanger avec un autre sable et d'établir le rapport optimal entre les deux sables.

- Si le gravier ou la pierre concassée est composés de plusieurs fractions, il est indispensables d'établir le rapport optimal entre eux en utilisant le diagramme de la meilleur granularité ou en faisant le choix d'une composition ou la quantité des vides soit plus petite possible.

- Déterminer les caractéristiques des matériaux utilisés par l'essai :

- Classe du ciment (activité du ciment).
- Masse volumique apparente et masse spécifique du ciment, sable et gravier (pierre concassée) à l'état sec.
- Porosité du gravier (pierre concassée) calculée après sa masse volumique apparente et masse spécifique.

B) Calcul de la composition du béton :

- Déterminer le rapport C/E selon les expressions :

- Pour béton à $C/E \leq 2,5$

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0,5)$$

D'où :

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} + 0,5 \quad (1)$$

➤ Pour béton à $C/E > 2,5$

$$R_b = A' \cdot R_c (C/E - 0,5)$$

D'où :

(2)

$$\frac{C}{E} = \frac{R_b}{A' \cdot R_c} + 0,5$$

C) Déterminer la quantité d'eau de gâchage pour 1 m³ de béton frais. Après sa fluidité et le type de gros granulat (gravier ou pierre concassée) en employant le tableau 2 :

<u>Tableau 2 : Dosage en eau dans les bétons</u>			
Fluidité du béton frais (affaissement du cône d'Abrams) cm	Quantité d'eau dans 1 m ³ du béton, (1) par rapport à la grosseur du gravier, mm		
	10	20	40
0	175	160	145
1	185	170	155
2	190	175	160
3	195	180	165
5	200	185	170
7	205	190	175
8	210	195	180
10	215	200	185

Remarque :

- Les données du tableau sont justes pour les bétons au ciment portland, au sable moyen et au gravier utilise comme gros granulat.
- Dans des conditions différentes la quantité d'eau indiquée au tableau, augmente
- En cas d'utilisation d'un ciment portland Pouzzolanique, (de 15 à 20l/m³);
- En cas on le gravier est remplacer par des pierres concassées de 10l/m³;
- Pour le sable fin, de 10l/m³.

D) Déterminer la quantité de ciment pour 1 m³ de béton frais :

$$C = E \cdot C/E$$

Déterminer la quantité de gravier (pierre concassée) pour 1 m³ de béton frais. Après le principe de la méthode, la somme des volumes absolus de tous les composants du béton frais est égale 1 m³. (1000 L).

$$\frac{C}{\rho_C} + \frac{E}{\rho_E} + \frac{S}{\rho_S} + \frac{G}{\rho_G} = 1000L \quad (3)$$

Où :

C, E, S et G sont respectivement les dosages en ciment, eau, sable et gravier (pierres concassées) en Kg.

ρ_C, ρ_E, ρ_S et ρ_G Sont respectivement les masses spécifiques de ces matériaux, en Kg/m³ ; $\rho_E = 1kg/l$

La solution ciment-sable remplit les vides entre les grains du gravier (pierres concassées) avec un certain écartement alors on peut écrire :

$$\frac{C}{\rho_C} + \frac{S}{\rho_S} + E = P_G \cdot \frac{G}{\gamma_G} \cdot \alpha \quad (4)$$

Où :

P_G : Porosité du gravier ;

G / γ_G : Volume apparent du gravier

$P_G \cdot G / \gamma_G$: Volume des vides.

α : Coefficient d'écartement (ou coefficient d'excès de mortier) α est défini après le tableau 3 pour les bétons fluides.

En résolvant simultanément les équations (3), (4), on détermine la quantité du gravier (Kg) pour 1 m³ de béton frais :

<u>Tableau 3 : Dosage en eau dans les bétons</u>					
Dosage en ciment (Kg) dans 1 m ³ de béton frais	Valeur de α				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,30	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,46	-	-	-

$$G = \frac{1000}{P_G + \frac{\alpha}{\gamma_G} + \frac{1}{\rho_G}} \quad (5)$$

E) Déterminer la quantité du sable (Kg) pour 1 m³ de béton frais :

La quantité du sable est déterminée à partir de équation (3) :

$$S = \left| 1000 - \left(\frac{C}{\rho_C} + \frac{E}{\rho_E} + \frac{G}{\rho_G} \right) \right| \cdot \rho_S \quad (6)$$

- Déterminer les composants pour 1 m³ de béton frais (C, E, S, G). [12]

I-10-3) Fluidisée 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.

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

Un mortier fortement fluide peut être obtenu sans réduction significative de sa cohésion en améliorant sa résistance à la ségrégation

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 [14]

I.10.3.1. Taux de saturation avec l'essai au cône de Marsh (méthode du coulis) :

Pour étudier le comportement rhéologique d'un ciment en présence de superplastifiant on utilise la méthode du coulis qui consiste à mesurer la perte de fluidité dans le temps d'un coulis de ciment. Le cône de Marsh (PHOTO I-4) est utilisé depuis longtemps par l'industrie pétrolière pour mesurer la fluidité des coulis de ciment ou de bentonite. C'est pourquoi cette technique est adoptée pour la mesure de la fluidité et l'étude des propriétés rhéologiques des coulis de ciment. L'essai consiste à mesurer le temps qu'il faut pour vider un cône contenant 1 litre de coulis à travers un orifice d'évacuation de 5 mm de diamètre.



Figure I.8: Cône de Marsh utilisé

Le cône de Marsh doit être solidement fixé pour ne pas être déplacé par les vibrations et sa partie supérieure doit être horizontale. On commence par obturer l'orifice d'évacuation inférieur et on verse 1 litre de coulis dans le cône. On démarre le chronomètre au moment où on libère l'orifice. On arrête le chronomètre dès que le litre de coulis s'est déversé dans un cylindre gradué que l'on place sous l'orifice du cône. Le temps d'écoulement que l'on mesure permet d'évaluer la fluidité du coulis. Plus ce temps est long, plus le coulis est visqueux et plus il est court, plus le coulis est fluide. Dans le cas des coulis de ciment Portland, on mesure le temps d'écoulement à 5 et à 60 minutes après le début du malaxage. [15]

I.10.3.2. Essai de l'étalement au mini cône de mortier :

- **Appareillage :** L'essai d'étalement au mini-cône nécessite les éléments suivants : plaque d'étalement, mini-cône, règle, seau, truelle, chiffon humide, main écope et niveau.
- **Mode opératoire :** L'essai consiste à remplir un mini-cône en MAP, et à le soulever verticalement (Figure.9). Une fois que le cône est enlevé, le MAP

s'étale sur la plaque. Après l'arrêt de l'écoulement, on mesure l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires d_1 et d_2 (Figure I.10). L'étalement final est la moyenne des deux valeurs obtenues. Un contrôle visuel de la galette du mortier peut s'avérer intéressant. [16]



Figure I.9: exécution de l'essai

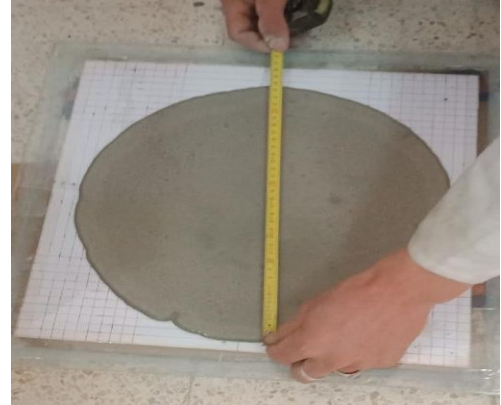


Figure I.10 : mesure de l'étalement.

I.10.3.3. Essais de déformabilité de l'entonnoir en V-Funnel :

- **Appareillage :** Le matériel utilisé pour l'exécution de cet essai est le suivant : mini-entonnoir en V dont ses dimensions sont montrées sur la règle, truelle, chiffon humide, chronomètre et niveau.
- **Mode opératoire :** La méthode consiste à remplir un mini-entonnoir en V en MAP tout en maintenant le clapet qui se situe à la base du mini-entonnoir fermé. Le clapet est ensuite ouvert permettant au MAP de s'écouler au travers l'orifice. Le temps d'écoulement T_v est le temps qui sépare l'instant de l'ouverture du clapet et l'instant où la lumière du jour devient visible du haut du mini-entonnoir (Fig I.11 ; Fig I.12). [16]

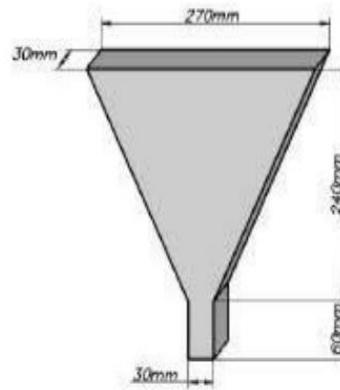


Figure I.11 : Dimensions de mini-entonnoir en V

Figure I.12 : Essai d'écoulement au mini-entonnoir en V

I.11. conclusion :

L'utilisation de bétons et de mortiers autoplaçants est devenue largement utilisée dans le monde en raison de leurs nombreuses propriétés, telles que l'ouvrabilité, la résistance et maniabilité, ce qui leur permet d'être uniques dans cette propriété, en particulier dans les installations contenant des armatures denses. , espaces étroits, etc.

À cette distinction s'ajoute leur formule spéciale qui dépend de la cohésion granulaire des éléments de granulats grâce à plusieurs additifs qui permettent de combler le plus grand nombre de vides possible et de rendre le mélange plus cohésif par rapport au mélange normal, ce qui les rend plus résistants. et moins absorbant l'eau, ainsi qu'en utilisant le moins d'eau de gâchage grâce à l'utilisation d'un fluidifiant, ce qui donne au mélange une plus grande viscosité qui facilite la maniabilité.

Dans ce chapitre, nous avons rassemblé les informations nécessaires à leur sujet, qui nous permettront, à partir de nombreuses références, de nous aider dans nos études, de réaliser les expériences nécessaires et d'évaluer les résultats obtenus.

CHAPITRE II :

MATERIAUX, MATERIELES ET ESSAIS

II.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons mené des expérimentations sur les propriétés des matériaux utilisés et déterminé le mortier équivalent autonivelant, et réalisé des expérimentations sur celui-ci à l'état frais et durci.

Tout cela a été réalisé dans le laboratoire de génie civil, Faculté de Technologie, l'Universitaire Mohamed Boudiaf de M'sila. Nous avons utilisé les matériaux locaux suivant :

- sable de dune fin de fraction (0/2) de Boussaâda ;
- Le sable de fraction (0/5) de Djamaâ ;
- Ciment Mâtine de la cimenterie Lafarge de Hammam Dhalaâ wilaya de M'sila (CPJ-CEM II/B 42,5 R NA 442) ;
- Eau de gâchage c'est une eau potable prise au niveau du laboratoire de génie civil de l'université de M'SILA ;
- L'adjuvant c'est un superplastifiants (MEDAFLAW 30) ;
- Les billes de polystyrene.



Figure II .1 : les matériaux utilisés

II.2. Caractéristiques des matériaux locaux de bases

II.2.1. Sable

Dans notre travail expérimental nous avons utilisé deux types de sable :

- Sable fin (sable de dune) de Boussaâda
- Sable de la région de Djamaâ

Nous avons réaliser et expérimenté plusieurs mélanges des deux sables avec différentes proportions afin de trouver la combinaison qui nous permet d’avoir un mélange qui donne une porosité minimale et une granulométrie continue permettant d’avoir un mortier (autonivelant avec un bon étalement sans ressuage).

II.2.1.1 Composition chimique et minéralogique des sables utilisés

- La composition chimique du sable de la région de (Boussaâda, M’sila), est présentée au tableau II.1 :

Tableau II.1 : composition chimique du sable de Boussaâda. [02]

Teneur %								
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl ⁻
89.67	0.90	0.91	5.96	0.2	0.05	0.3	0.01	0.019

- La composition chimique du sable de la région de (djamaa), est présentée au tableau II.2 :

Tableau II.2 : composition chimique du sable de djamaa. [17]

Constituants								
Elément	Silice	Alumine	Oxyde de ferrique	Chaux	Oxyde de magnésium	Sulfate	Potassium	Sodium
Symbole	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cao	MgO	So ₃	K ₂ O	Na ₂ O
Teneur en (%)	92.96	2.21	2.039	0.79	0.02	0.15	1.16	0.34

II.2.1.2 Equivalent de sable :((NF EN 933-8+A1 JUILLET 2015)

Les grains de sable, de même origine que les granulats, ont un diamètre inférieur à 3 mm. Cette roche sédimentaire doit être propre et sans poussières argileuses.

Il existe des bétons ou des mortiers de ciment, contenant uniquement du sable, du ciment et de l’eau.

Il sert principalement en maçonnerie pour lier les briques ou les parpaings, et pour dresser les enduits sur les murs.

Le sable est un constituant important de la plupart des sols il est très abondant comme dépôt de surface, le long des cours d'eau, sur les rives des lacs et des mers et dans les régions arides.

Différents types de sables s'utilisent dans la fabrication du verre, en fonderies pour réaliser des moulages et dans la fabrication des céramiques, des plâtres et des ciments.

La propreté des granulats peut s'apprécier de différentes façons telles que l'essai au bleu de méthylène, d'équivalent de sable à 10 % de fines etc., mais dans ce travail pratique, on va parler que sur l'essai d'équivalent de sable.

Il s'a git là aussi d'une expérience normalisée dont chaque carrier doit pouvoir fournir les résultats pour ses sables. Elle permet de déterminer le pourcentage de fines dans le sable.

On met, dans une éprouvette à deux repères conçue spécialement, une solution lavante (vendue toute prête) jusqu'au premier repère. On ajoute alors une quantité de sable sec et on attend 10 minutes. Ensuite on agite l'éprouvette (à raison de 90 coups en 1 minute avec des battements de 30 cm) et on la remplit de solution lavante jusqu'au deuxième repère. Au bout de 20 minutes, le sable s'est déposé au fond et les fines forment une couche de « boue » par dessus. On mesure donc la hauteur totale (sable + fines) et la hauteur du sable propre, et on calcule le pourcentage que représente ce dernier.

Ce pourcentage est appelé équivalent sable (E.S.).

Si on mesure la hauteur du sable propre avec une règle, on parle d'E.S.V. (E.S. à vue). Si on utilise un piston (plus précis), on parle d'E.S.P (E.S. au Piston)

- **But de l'essai :**

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers, une procédure normalisée permet de définir un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté du sable.

Principe de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction 0/3 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur h1 : sable propre + éléments fins,

- hauteur h₂ : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable par la relation ci-dessous.

L'essai dit d'équivalent de sable - permet de déterminer le degré de propreté du sable :

$$E_s = \frac{h_1}{h_2} \times 100$$

Selon que la hauteur h₂ est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ESP

• **Matériel utilisé :**

- Tamis de 3,16 mm d'ouverture de mailles avec fond
- Spatule
- Balance de précision
- Chronomètre
- Réglette de 500mm
- Eprouvettes
- Un piston taré
- Entonnoir a large ouverture
- Une machine d'agitation
- Solution savante

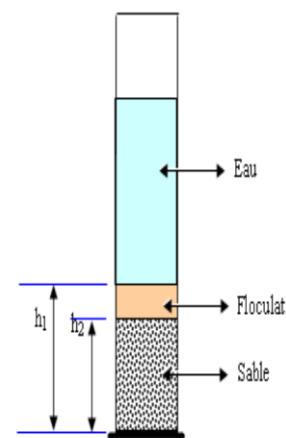


Figure II .2 : Mesures de l'équivalent de sable

• **Matériaux d'analyse :**

Sable de Boussaâda, sable de Djamaâ.

a-Préparation des échantillons de sable :

- Faire passer l'échantillon par une passoire de 3,16 mm.
- Étuver l'échantillon et laisser 1% d'humidité.

b-Préparation de la solution lavante :

- 111g de chlorure de calcium.
- 480g de glycérine de qualité pharmaceutique.
- 120.13g de solution aqueuse à 4% en volume de formaldéhyde de qualité pharmaceutique.
- On ajoute l'eau distillé.

• **Mode opératoire :**

- Verser la solution au tube (éprouvette en plexiglas) jusqu'au trait ferrière.
- Verser la quantité de sable (120g) dans le tube pendant 10minute pour absorber l'eau.
- Fermer l'éprouvette et on met dans l'agitateur pendant 30secondes.

- Laisser l'éprouvette 20 minutes sans vibration.
- Lire la hauteur H1 et H2 par la règle H' 2 par le piston.
- On refait la même expérience une autre fois.

• **Résultats :**

Les résultats des essais seront reportés dans le tableau ci-dessous

- Équivalent de sable visuel E.S.V : $E.S.V = (H2 / H1) \times 100\%$.
H2 : hauteur de sable propre déterminée visuellement.
- Équivalent de sable au piston E.S.P : $E.S.P = (H' 2 / H1) \times 100\%$.
H' 2 : hauteur de sable propre déterminée au piston.
H1 : hauteur de sable propre + hauteur imputées.

Tableau II.3 : résultats d'ESP et ESV pour le sable de Djamaâ

Mesures	H1 (cm)	H2 (cm)	H' 2 (cm)	EsV(%)	EsP(%)
Essai 1	7.5	5.2	6.2	84.66	82.66
Essai 2	7.5	6.5	6.2	86.66	82.66
Essai 3	7.5	6.4	6.1	85.33	81.33
Moyenne				84.88	82.21

Tableau II.4 : résultats d'ESP et ESV pour le sable de Boussaâda

Mesures	H1 (cm)	H2 (cm)	H' 2 (cm)	EsV(%)	EsP(%)
Essai 1	7.8	5.4	5.2	69.23	66.66
Essai 2	7.5	5.1	5	68.00	66.66
Essai 3	7.5	5.2	5	69.33	66.66
Moyenne				68.85	66.66

II.2.1.3 La masse volumique :(NF EN 1097 -6 (2001))

La masse volumique est nécessaire à connaître lorsque par exemple on élabore une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires mélangées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Parmi les propriétés principales des matériaux de construction on a la masse volumique, dans ce travail on va connaître et calculer la masse volumique des matériaux par plusieurs méthodes.

A) Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté. La masse volumique apparente d'un granulat dépend de la forme et de la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité. La valeur apparente est utilisée dans le cas où l'on effectue les dosages en volume des différentes composantes du béton. Cette méthode toutefois présente des risques certains à cause du foisonnement.

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent, après passage à l'étuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$, notée γ_a est exprimée en (g/cm^3 , kg/dm^3 , t/m^3)

• **Le But :**

Déterminer les masses volumiques apparentes du matériau, c'est - à -dire sa densité à l'état naturel (en présence des pores).

Matérielle Utilise :

- Balance technique avec une précision de 1 g.
- Un récipient de 1L.
- Un entonnoir.
- Une petite règle plate métallique.
- Un tamis de 0.08mm pour le ciment.
- Un tamis de 3.5mm pour le sable.
- **Matériaux D'analyse :**
- Sable Boussaâda (Sb) ;
- Sable de djamâa (Sd) ;
- Les mixtures des deux sables dans les pourcentages suivantes :

Tableau II.5 : différentes mixtures du sable analysée

Mixtures	S01	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S02
Sb (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sd (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

• **Mode Opératoire :**

- Tamiser le sable dans le tamis de 3.5mm.
- Peser le récipient de 1L de volume vide soit m_1 .
- Remplir le récipient par l'entonnoir avec une distance de chute de 5cm.
- Araser la couche supérieure du récipient à l'aide d'une réglette que l'on anime d'un mouvement de « va et vient », peser le récipient plein : soit $m_2(\text{g})$ sa masse.

B) Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Les masses volumiques s'expriment en t/m³, en kg/dm³, ou en g/cm³:

- **But de l'essai :**

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

- **Matériel utilisé :**

Balance technique avec une précision de 1 g.

- Une éprouvette graduée.
- Un entonnoir.
- Un tamis de 3.5mm pour le sable.

- **Matériaux d'analyse :**

Les mêmes mixtures (Tableau II.5)

Mode opératoire : (Méthode de l'éprouvette graduée)

Cette méthode est très simple et très rapide. Elle utilise du matériel très courant de laboratoire. Toutefois sa précision est faible.

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau.
2. Peser un échantillon sec M de granulats (environ 200 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique est alors donnée par la relation :

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Pour opérer dans de bonnes conditions, utiliser une éprouvette graduée en verre de 500 cm³ de volume. La lecture des niveaux V_1 et V_2 doit se faire en bas du ménisque formé par l'eau. En effet, celle-ci a tendance à remonter sur les bords de l'éprouvette sur une hauteur de 1 à 2 mm, ce qui fausse bien sûr la lecture des volumes si la lecture est effectuée en haut du ménisque.

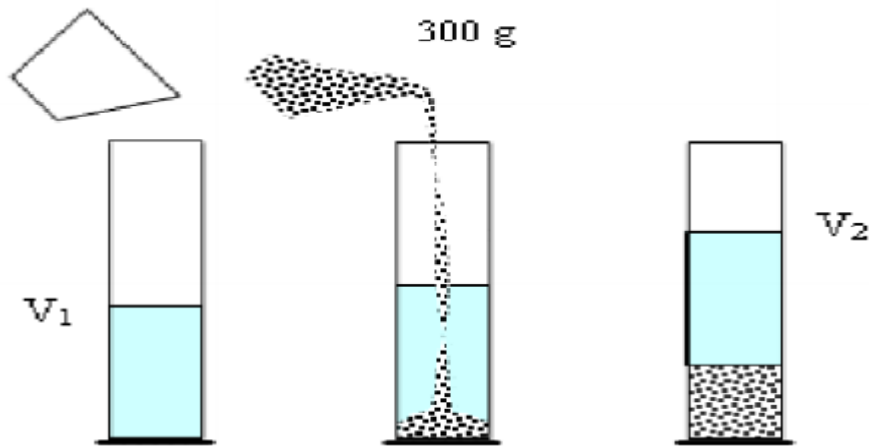


Figure II .3: méthode de l'éprouvette

- **Les résultats obtenus :** les résultats sont résumés dans le tableau II .6 :

Tableau II .6 : résultats de la masse volumique.

Mixtures	S01	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S02
Sb (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sd (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
γ (gr /cm ³)	1.50	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51	1.49	1.49	1.47	1.46	1.43
ρ (gr /cm ³)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60

II.2.1.4 Porosité :(NF EN 1097-3 Août 1998) :

La porosité est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique qui conditionne les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat. En général le calcul de la porosité est exprimé par le rapport du volume des vides au volume du matériau.

La porosité est déterminée est calculée à partir des mesures effectuée par essai de la masse volumique apparente et absolu par le calcule suivant :

$$P(\%) = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume totale}} \rightarrow P(\%) = \frac{V_t - V_{s.v}}{V_t} = \frac{\frac{V_t}{M} - \frac{V_{s.v}}{M}}{\frac{V_t}{M}} \times 100$$

$$\rightarrow P(\%) = \frac{\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho}} \times 100 = \left(\frac{1}{\gamma} - \frac{1}{\rho}\right) \cdot \gamma \times 100 = \left(1 - \frac{\gamma}{\rho}\right) \times 100$$

$$P(\%) = \frac{\rho - \gamma}{\rho} \times 100$$

Nous avons expérimenté plusieurs mélanges de deux sables avec différentes proportions afin de trouver la combinaison qui nous permet d'avoir un mélange optimum avec une porosité minimale et une granulométrie continue permettant d'avoir un mortier (autonivelant avec un bon étalement sans ressuage).

Tableau II .7 : résultats de la porosité.

Mixtures	S01	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S02
Sb (%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Sd (%)	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
γ (gr /cm ³)	1.50	1.51	1.51	1.52	1.51	1.51	1.49	1.49	1.47	1.46	1.43
ρ gr /cm ³)	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60
P (%)	42.23	42.00	41.88	41.38	41.85	41.92	42.77	42.88	43.58	43.85	44.96

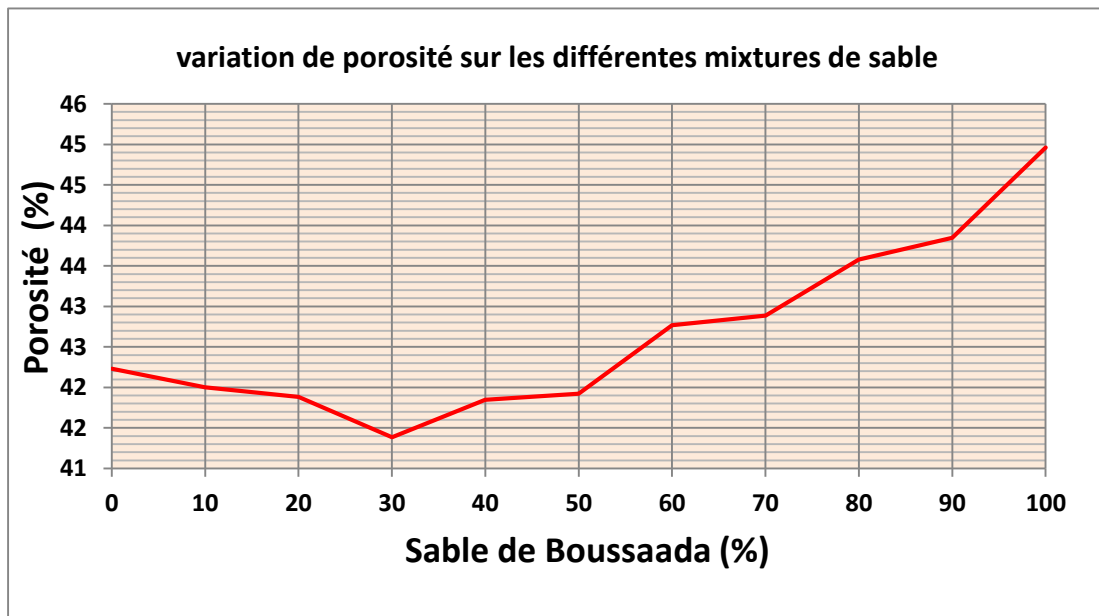


Figure II .4 : la porosité de différentes mixtures de sable

A partir des résultats obtenus on a choisis la mixture qui donne la porosité minimale qui est représentée par la mixture de sable **S3** (30% de Sb + 70% de Sd), et prend les deux sables proche à l'optimum sont les mixtures **S2** (20% de Sb+80% de Sd) et **S4** (40% de Sb+60% de Sd).

II.2.1.5 Granulométrie des mixtures de sable:(NF P94-056) :

L'analyse granulométrique est l'opération qui consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, etc.). Habituellement, l'analyse granulométrique fournit les proportions de grains de différents diamètres ; cette analyse peut se faire aussi bien par tamisage que par sédimentation dans l'eau en application de la loi de Stokes.

En fonction de la dimension et du nombre des grains composant un granulat, on dénomme les granulats, fines, sables, gravillons ou caillou. Cependant, pour un granulat donné, tous les grains qui le constituent n'ont pas tous la même dimension.

Pour cela, on procède au classement des grains sur une série de tamis emboîtés les uns dans les autres. Les dimensions des mailles des tamis sont décroissantes du haut vers le bas. Le granulat est placé sur le tamis le plus haut et par vibrations, on répartit les grains sur les différents tamis selon leur grosseur.

- **Granularité** : Distribution dimensionnelle des grains (état).
- **Granulométrie** : Etude de la granularité.
- **Tamisât** : Partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.
- **Refus** : Partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.
- **Refus cumulé** : C'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

A) But de l'essai :

- Déterminer la grosseur et le pourcentage en poids de différentes formes de granulats constituant les échantillons.
- Tracer la courbe granulométrique.
- Détermination du module de finesse.

B) Principe d'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les un sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est

placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne des tamis, pendant cinq minutes pour le sable et sept minutes pour le gravier puis on prélève les différents refus de chaque tamis et on les pèse.

C) Matériel Utilisé :

- Série de tamis de maillage métallique carré compris entre d et D , avec un fond et un couvercle. Les tamis sont de dimensions 0.08 mm ; 0.16mm ; 0.315 mm ; 0.63 mm ; 1.25 mm ; 2.5 mm ; 5mm.
- balance de précision à $\pm 0,1\%$.
- Etuve ventilé.

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique, soit par perçage d'une tôle. Les passoires, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui accomplit un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis.



Figure II.5 : séries des tamis de l'analyse granulométrique.

C) Matériaux utilisés :

- Sable de Boussaâda.
- Sable de Djamaâ.
- les mixtures des sables (S2 ; S3 ; S4).

D) Description de l'essai :

- Le matériau sera séché à l'étuve à une température maximale de 105 °C.
- Emboîter les tamis les uns sur les autres, dans un ordre tel que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut.
- En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers.
- En haut un couvercle empêchant toute perte de matériau. Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide du tamiseur électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisé, mais dépend également de la charge de matériau présente sur le tamis et son ouverture. On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1 % entre deux séquences de vibrations de la tamiseuse.

Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R1 la masse de ce refus.

Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit R2 la masse du deuxième refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_c aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne dut amis est également pesé.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond (fillers) doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne.

Les résultats sont représentés dans les tableaux (II.8 ; II.9 ; II .10 ; II.11 ; II.12) et se traduiront en des courbes granulométriques.

Tableau II .8: Résultats d'analyse granulométrique de sable de Djamaâ (Sd)

Ø de tamis (mm)	poids de tamis(Kg)	Refus + tamis (Kg)	Refus partiel (kg)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0.856	0.857	0.001	0.001	0.05	99.95
2.5	0.752	0.778	0.026	0.027	1.35	98.65
1.25	0.653	0.751	0.098	0.125	6.25	93.75
0.63	0.621	1.659	1.038	1.163	58.15	41.85
0.315	0.561	1.135	0.574	1.737	86.85	13.15
0.16	0.519	0.733	0.214	1.951	97.55	2.45
0.08	0.507	0.551	0.044	1.995	99.75	0.25
fond	0.566	0.571	0.005	2	100	0
Mf	2.502					

Tableau II .9: Résultats d'analyse granulométrique de sable de Boussaâda (Sb)

Ø de tamis (mm)	poids de tamis(Kg)	Refus + tamis (Kg)	Refus partiel (kg)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0.856	0.858	0.002	0.002	0.1	99.9
2.5	0.752	0.753	0.001	0.003	0.15	99.85
1.25	0.653	0.66	0.007	0.01	0.5	99.5
0.63	0.621	0.625	0.004	0.014	0.7	99.3
0.315	0.561	0.611	0.05	0.064	3.2	96.8
0.16	0.519	2.39	1.871	1.935	96.75	3.25
0.08	0.507	0.57	0.063	1.998	99.9	0.1
Fond	0.566	0.568	0.002	2	100	0
Mf	1.014					

Tableau II .10: Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S2)

Ø de tamis (mm)	poids de tamis(Kg)	Refus + tamis (Kg)	Refus partiel (kg)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0.856	0.856	0.000	0.000	0	100
2.5	0.746	0.777	0.031	0.031	1.55	98.45
1.25	0.653	0.734	0.081	0.112	5.60	94.40
0.63	0.621	1.460	0.839	0.951	47.55	52.45
0.315	0.561	1.121	0.560	1.511	75.55	24.45
0.16	0.519	0.922	0.403	1.914	95.70	4.30
0.08	0.507	0.589	0.082	1.996	100	0
Fond	0.566	0.57	0.004	2.000	100	0
Mf	2.2595					

Tableau II .11 : Résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S3)

Ø de tamis (mm)	Poids de tamis(Kg)	Refus + tamis (Kg)	Refus partiel (kg)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0.856	0.856	0.000	0.000	0	100
2.5	0.746	0.771	0.025	0.025	0	100
1.25	0.653	0.726	0.073	0.098	1.25	98.75
0.63	0.621	1.080	0.459	0.557	4.90	95.10
0.315	0.561	1.376	0.815	1.372	27.85	72.15
0.16	0.519	1.033	0.514	1.886	68.60	31.40
0.08	0.507	0.619	0.112	1.998	100	0
FOND	0.566	0.568	0.002	2.000	100	0
Mf	1.969					

Tableau II .12 : résultats d'analyse granulométrique de mixture de sable (S4)

Ø de tamis (mm)	poids de tamis(Kg)	Refus + tamis (Kg)	Refus partiel (kg)	Refus cumulé (kg)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
5	0.856	0.856	0.000	0.000	0	100
2.5	0.746	0.773	0.027	0.027	1.35	98.65
1.25	0.653	0.719	0.066	0.093	4.65	95.35
0.63	0.621	0.910	0.289	0.382	19.10	80.90
0.315	0.561	1.224	0.663	1.045	52.25	47.75
0.16	0.519	1.359	0.840	1.885	94.25	5.75
0.08	0.507	0.618	0.111	1.996	100	0
FOND	0.566	0.57	0.004	2.000	100	0
Mf	1.716					

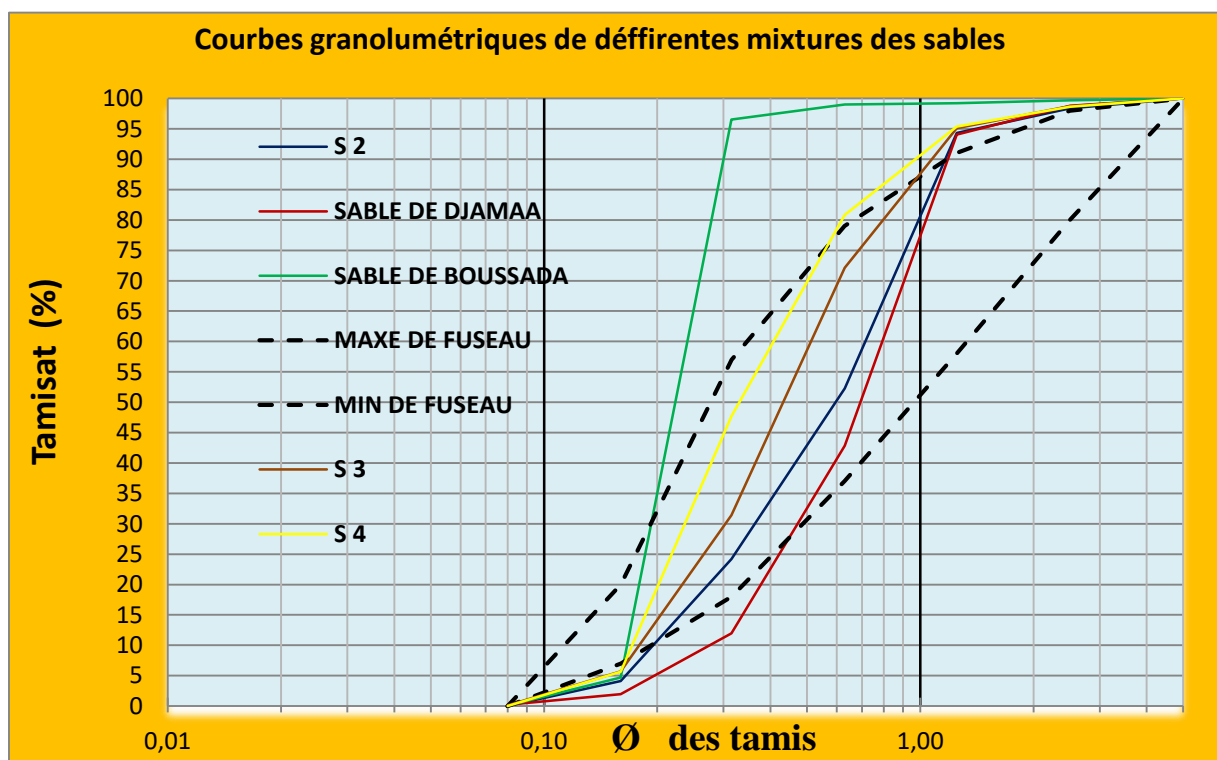


Figure II.6 : Courbes d'analyse granulométrique de trois mixtures des sables.

A partir des résultats représentés dans les tableaux (II .1 ; II.2 ; II.3 ; II .4 ; II.6 ; II .8 ; II .9 ; II.10 ; II.11 ; II.12) en peu classée les deux types des sables utilisés on fonctions de :

Tableau II .13 : Classement du sable utilisé

Paramètres	Classement	
	Sable de Boussaâda	Sable de Djamaâ
Composition chimique et minéralogique	Siliceux	Siliceux
Equivalent de sable	Sable très propre	Sable légèrement Argileux
Module de finesse	Sable très fin	Sable préférentiel
Masse volumique	Courant	Courant

II.2.2 Le ciment : Nous représentons la fiche technique dans annexe (1).

II.2.3. Superplastifiant : nous représentons la fiche technique dans annexe (2).

II.2.3.1 Taux de saturation :

Chaque type de ciment possède un degré de saturation pour cela on a déterminé le degré de saturation par la méthode des coulis à l'aide du cône de Marsh, les résultats sont présentés au tableau II.14.

Tableau II .14 : Résultats de l'sais de degré de saturation.

Ciment (gr)	L'adjuvant (%)	Temps d'écoulement (s)
500	0.5	35.89
	0.7	17.21
	0.9	14.1
	1	13.47
	1.1	11.8
	1.2	11.49
	1.3	10.23
	1.4	10.23
	1.5	10.23

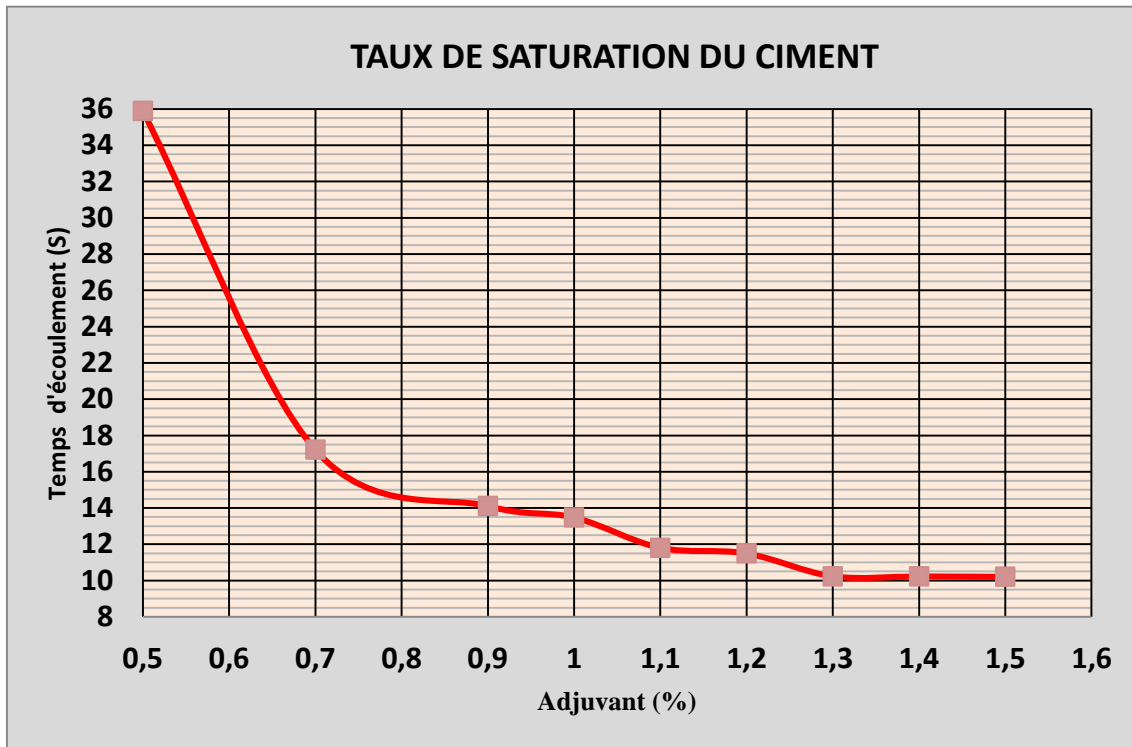


Figure II.7 : Courbes du taux de saturation en adjuvant du ciment utilisé.

A partir des résultats représentés dans (tableau II.14 ; figure II.05), on prend le taux de saturation du ciment en adjuvant égale à 1.3 %.

II.2.4.Eau De Gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est une eau potable (eau de robinet) fourni au laboratoire de génie-civil à l'université de M'sila. L'analyse chimique a été effectuée au laboratoire de la société Epidemia de M'Sila. En référence à la norme NF EN 1008.

Tableau II.15 : Analyse chimique de l'eau de gâchage.

Paramètres physicochimique	PH	Potentiel redox EH (Mv)	Conductivité à 20°c (S / cm)	Turbidité (NTU)	Oxygène dissous (Mg/l)	Salinité (%)	CO2 Libre (Mg/l)	CO2total (Mg/l)
Résultat	7.94	-60.6	1926	2.05	5.47	09	9.26	223.96

II.2.5. Polystyrene :

Pour le polystyrene en a déterminer leur masse volumique absolu et apparente, la porosité nous avant appliquer la même méthode opératoire pour le sable, et en trouve les résultats suivant :

Tableau II.16 : la masse volumique absolue de polystyrene.

Essais	V 0 (ml)	V 1 (ml)	M (gr)	ρ (Kg/m ³)	ρ Moyenne (Kg/m ³)
1	50	60	0.467	46.7	48.4
2	50	64	0.694	49.6	
3	50	62	0.595	49.6	
4	50	63	0.615	47.3	
5	50	65	0.734	48.9	

Tableau II.17 : la masse volumique apparente de polystyrene.

Essais	M 0 (gr)	M i (gr)	V (ml)	ρ app (gr/cm ³)	ρ app Moyenne (kg/m ³)
1	1.929	5.485	160	22.2	22.7
2	1.929	5.428	160	21.9	
3	1.929	5.528	160	22.5	
4	1.929	5.645	160	23.2	
5	1.929	5.702	160	23.6	

II. 3. Formulation de MAP :

II.3.1. Formulation du mortier équivalent :

La formulation du mortier équivalent est déterminée à partir de la méthode de composition du béton dite des volumes absolus (méthode de composition Russe) élaborée par G.B.Scramtaeiv voire l'article (I-10-2) :

La composition du béton par la méthode des volumes absolus donne les résultats suivants :

Fluidité Af = 7 cm, Dmax = 15 mm

- Sable (S) = 521Kg
- L'eau de gâchage (E) = 195 L
- Ciment (C) = 401 Kg
- Gravier (G) = 1177 Kg

E/C = 0,44 ; C/S = 0,77

A trévére de cette composition on prend la formulation de la partie du mortier et on élimine le gravier, finalement nous déterminons la composition de notre mortier comme suite :

- $E/C = 0,44$; $C/S = 0,77$

-

On prendre: $E/C = 0,45$; $C/S = 0,8$; adjuvant = 1.3% (**II.2.3.1**)

II.3.2. Détermination de mortier équivalent autonivelant :

Pour bien composer un mortier équivalent autounivlnent nous avons effectué plusieurs essais avec différents mixtures jusqu'à la détermination de la composition qui est a donnée un mortier équivalent autounivlnent, la procédure est conduite comme suite :

Dans le premier mélange, nous avons pris la même composition que celle obtenue précédemment dans l'article(II.3.1).Après avoir effectué les essais de l'étalement au mini cône, l'écoulement au mini v-Funnel est laisser au repos pendant 15 minutes, on remarque que le mélange approprié n'était pas obtenu, car le mélange est très fluide , voir (Fig II.8) et (Tableau II.17) avec un ressuage important, comme le montre dans (Fig II.9).



Figure II.8: cas de ressuage de mélange avec un rapport $E/C = 0.45$



Figure II.9 : L'étalement au mini cône de mélange avec un rapport E /C = 0.45

A la deuxième tentative, nous avons réduit le rapport E/C en le prenant 0,4 mais avec une légère diminution des caractéristiques obtenues en première mélange, voir (Fig II.10 ; Fig II.11) et le tableau (tableau II.17).

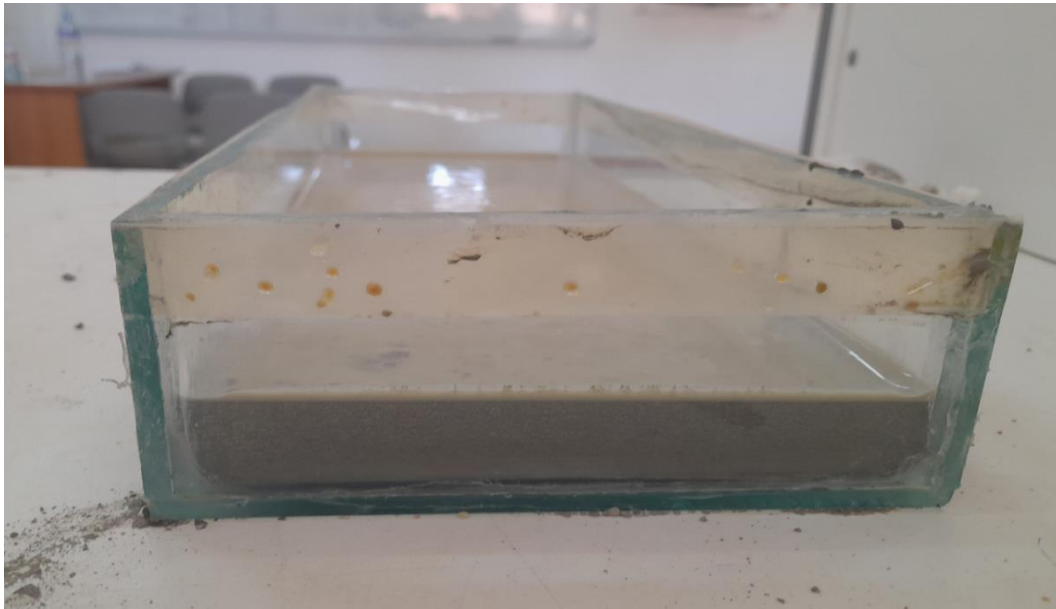


Figure II.10 : Cas de ressuage du mélange avec un rapport E /C = 0.4

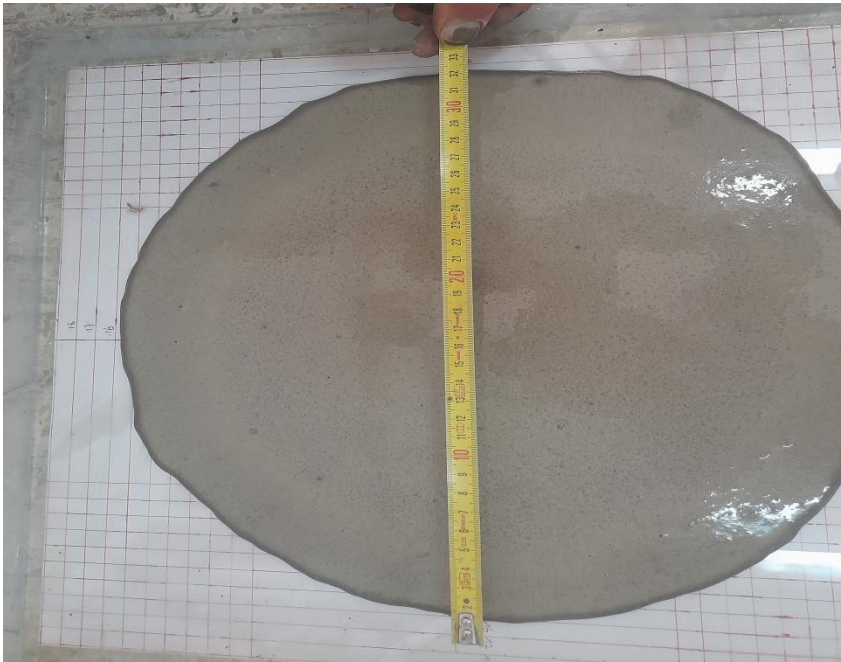


Figure II.11: L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport $E /C = 0.4$

Nous avons fait la même démarche avec un rapport $E /C = 0,35$ on constate l'amélioration des propriétés du mélange voir (Fig II.12 ; Fig II.13), (tableau II.17).



Figure II.12 : Cas de ressuage de mélange avec un rapport $E /C = 0.35$



Figure II.13 : l'étalement au mini cône du mélange avec un rapport $E /C = 0.35$

Nous avons réessayé avec un rapport de $E /C = 0,3$. Nous avons obtenu des bons résultats pour les propriétés du mélange recherché sans ressuage avec viscosité idéale voir (Fig II.14 ; Fig II.15), (tableau II.17).



Figure II.14 : L'autounivlement de mélange sans cas de ressuage avec $E /C = 0.3$

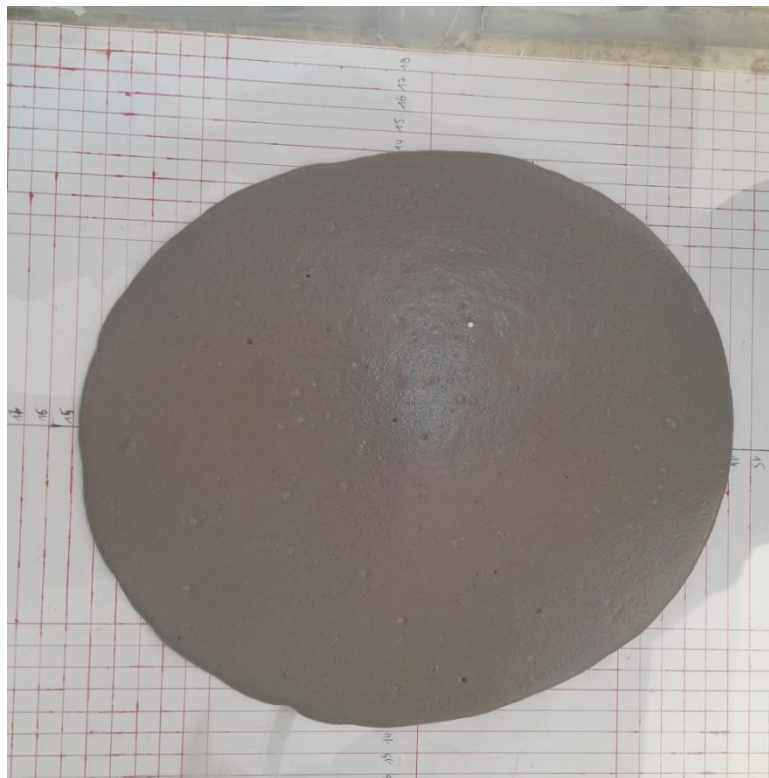


Figure II.15 : L'étalement au mini cône du mélange avec un rapport E /C = 0.3

Tableau II.17 : Résultats de l'étalement et temps d'écoulement.

	E/C	C/S	Adjuvant (%)	L'étalement (cm)	Temps d'écoulement (s)
Essais 1	0.45	0.8	1.3	34,5	17.39
Essais 2	0.4	0.8	1.3	33	28,6
Essais 3	0.35	0.8	1.3	32	34,5
Essais 4	0.3	0.8	1.3	28	41

La composition finale de notre mortier équivalent autounivlent est obtenue comme suite :

- Rapport de liant sur sable C/S = 0.8
- Rapport d'eau sur liant E/C = 0.3
- Pourcentage d'adjuvant super plastifiant SP = 1.3%

II.4. Les essais sur le MAP à l'état frais :

Pour la reconnaissance des caractéristiques d'un mortier équivalent, autounivlent à l'état frais ils y à plusieurs essais à réaliser (essais de déformabilité au mini v-Funnel, essais de l'étalement à mini cône, afin de régler la viscosité et la composition approprié de notre mortier équivalent autoplaçant.

II.4.1 Essais de déformabilité au mini v-Funnel :

Dans ces essais nous avons déterminé le temps d'écoulement des mélanges de mortier équivalent autounivent après traduction des billes de polystyrène et noter l'effet de polystyrène sur chaque un mélange.

- **Note :**

Les conditions de l'essai ce déroule comme décrite dans l'article (I.10.2).

En premier on réalise un mortier polystyrène (mortier témoin), puis on introduit 05%de billes de polystyrène et enfin 10 % de billes de polystyrène, on remarque que l'introduction de 15 %de billes de polystyrène conduit à la remontée des billes de polystyrène qui influe sur l'autounivement de mélange.

Les résultats sons détaillés sur les photos (Fig II.28 ; Fig II.29 ; Fig II.30 ; Fig II.31) et tableau (Tableau II.18).

Tableau II.18 : Temps d'écoulement au mini v-Funnel des MAP.

MELANGE	C/S	Adjuvant (%)	E/C	PSE (%)	Temps de l'écoulement (cm)
MAP 1	0.8	1.3	0.3	0	41
MAP 2	0.8	1.3	0.3	05	40.53
MAP 3	0.8	1.3	0.3	10	40.21



Figure II.16 : L'autounivement de mélange sans polystyrène.



Figure II.17 : Effet de 05% de polystyrene sur l'autounivlement.

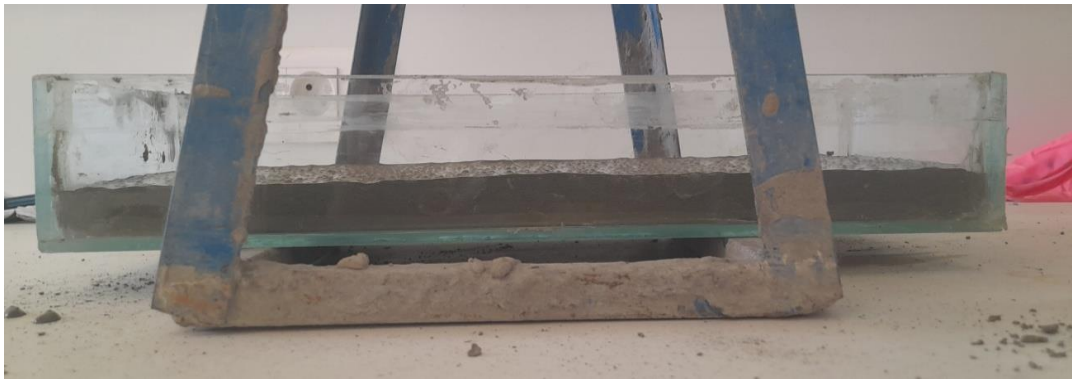


Figure II.18 : Effet de 10% de polystyrene sur l'autounivlement.

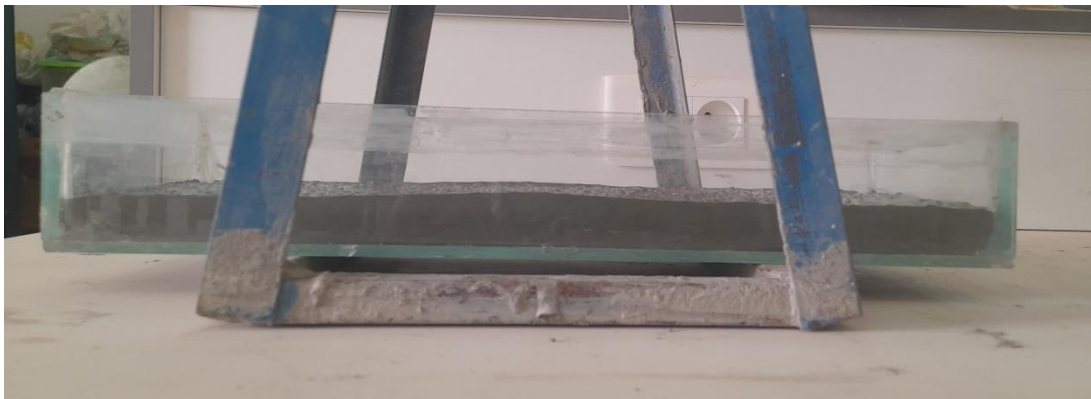


Figure II.19 : Effet de 15% de polystyrene sur l'autounivlement.

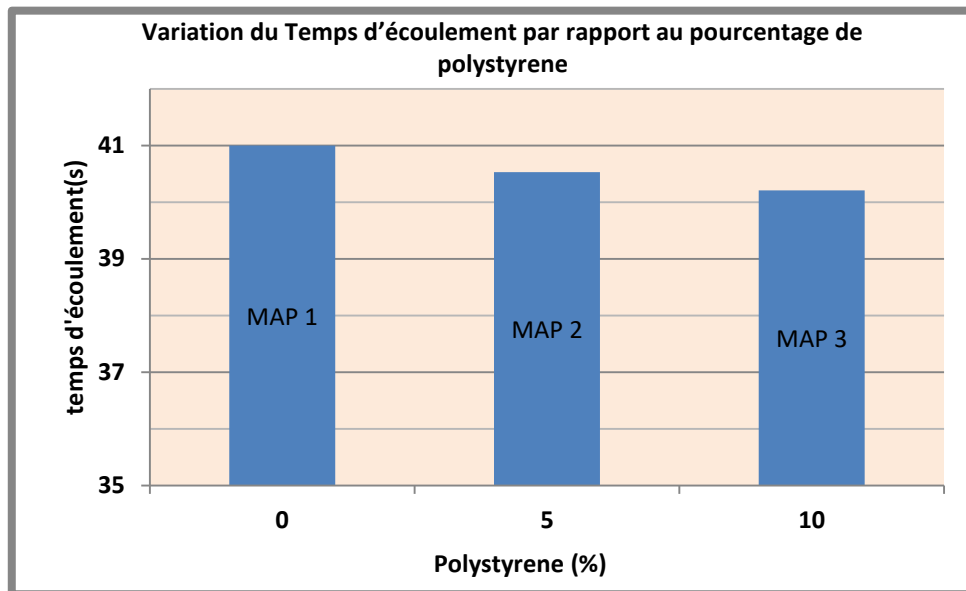


Figure II.20 : Temps d'écoulement au mini V- Funnel

II.4.2 Essais de l'étalement à mini cône :

Dans ces essais nous avons déterminé l'étalement des mélanges de mortier équivalent autounivlent qui traduit l'effet de l'introduction des différents pourcentages de polystyrene sur les mélanges voir (Fig II.15) et tableau(II.19)

- **Note :**

Les étapes de l'essai ce font comme il est indiqué dans l'article (I.10.3.2).

Tableau II.19 : L'étalement au mini cône pour les MAP

MELANGE	C/S	Adjuvant (gr)	E/C	PSE (ml)	L'étalement (cm)
MAP 1	0.8	1.3	0.3	0	28
MAP 2	0.8	1.3	0.3	05	29.5
MAP 3	0.8	1.3	0.3	10	31

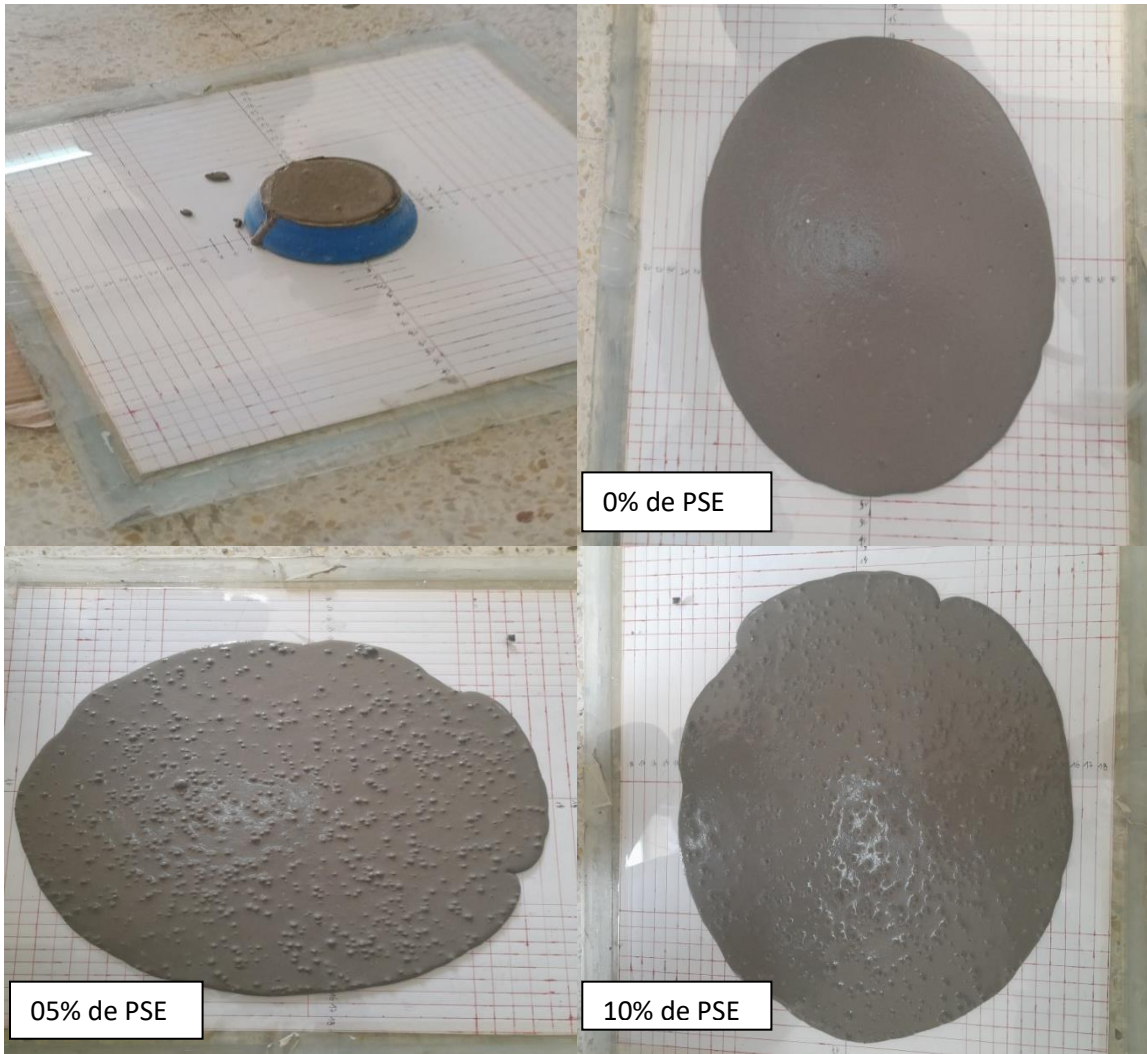


Figure II.21 : Essais de l'étalement au mini -cône

II .5. Les Essais sur le mortier à l'état durci :

II .5.1.Résistance à la compression :

Les caractéristiques physico-mécaniques, des spécimens cubiques de dimensions (5x5x5 cm³) conservées dans l'eau, sont soumis à l'essai d'écrasement par la presse hydraulique, les résultats obtenus à 24 heures, 7,14, et 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons de chaque mélange de MAP.



Figure II.22 : Appareil de compression



Figure II.23 : Moulage des spécimens cubiques de dimensions (5x5x5 cm³)

II .5.2.Résistance à la traction par flexion :

Pour toutes les caractérisations mécaniques, des spécimens prismatiques de dimensions (4x4x16 cm³) mûries à l'eau. Les résultats de la résistance obtenus à 24 heures, 7,14, et 28 jours représentent la moyenne de trois échantillons de chaque mélange de MAP.



Figure II.24 : Moulage des spécimens cubiques de dimensions (4x4x16 cm³)



Figure II.25 : Appareille de traction par flexion

II.5.3 Absorption de l'eau :

II.5.3.1 : Absorption capillaire :

Le coefficient d'absorption par capillarité est défini comme le taux d'absorption de l'eau par succion capillaire des échantillons de béton non saturés, mise en contact à l'eau sans pression hydraulique.

- **Objectif :**

Déterminer le coefficient d'absorption ($A_b\%$) de trois échantillons de différents types de MAP.

- **Matériels nécessaires :**

- Etuve ventilée
- Balance
- Bac d'eau
- Une règle métallique

- **Mode opératoire :**

- Conservé l'échantillon dans une étuve ventilée à 80°C jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées soit inférieure à 0.1%, on détermine alors la masse M_0 ,
- immersion de l'échantillon dans l'eau sur une hauteur maximale de 5 mm,

- A chaque échéance l'éprouvette est sortie de l'eau, essuyer à l'aide d'une éponge puis pesée.

- On détermine alors la masse M_i

• **Calculer le coefficient d'absorption :**

$$Ab \% = (M_i - M_0 / M_i) \times 100$$

M_x : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (gr)

M_0 : masse initiale de l'échantillon (gr)

• **Résultats :**

Tableau II.20 : résultats de taux d'absorption par capillarité des MAP

N° de masse	Temps (h)	MAP 1 - 0% de PSE			MAP 2 - 05% de PSE			MAP 3 - 10% de PSE		
		MASSE (gr)			MASSE (gr)			MASSE (gr)		
M0	0	576	563	579	510	509	510	490	485	484
M1	24	560	547	561	497	495	495	482	471	469
M2	48	560	547	561	497	495	495	482	471	469
M3	72	566	555	568	502	500	499	485	475	474
M4	96	568	556	569	504	501	499	486	476	475
M5	120	569	557	570	504	502	500	488	477	476
M6	144	569	557	570	505	502	500	488	477	476
Absorption (%)		1.58	1.80	1.58	1.58	1.39	1.00	1.23	1.26	1.47
Moyenne Ab (%)		1.65			1.33			1.32		

II.5.3.2 : Absorption immersion :

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par immersion dans l'eau par rapport sa masse sèche.

• **Objectif :**

Déterminer le coefficient d'absorption (Ab) d'un échantillon de trois échantillons de différents types de MAP.

• **Matériels nécessaires :**

- Etuve ventilée

- Balance

- Bac d'eau

• **Mode opératoire :**

- Conservé l'échantillon dans une étuve ventilée à 80°C jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées soit inférieur à 0.1%, on détermine alors la masse M_0 ,

- peser l'échantillon, on détermine la masse M_1 ,

- immersion totale de l'échantillon dans l'eau
- essuyer l'échantillon par un chiffon,
- Peser l'échantillon, On détermine la masse M_i

- **Calcul du coefficient d'absorption :**

$$Ab \% = (M_i - M_1 / M_1) \times 100$$

- **Représentation des résultats :**

Tableau II.21 : résultats de coefficient d'absorption par immersion des MAP

N° de masse	Temps (h)	MAP 1 - 0% de PSE			MAP 2 - 05% de PSE			MAP 3 - 10% de PSE		
		MASSE (Kg)			MASSE (Kg)			MASSE (Kg)		
M 0	0	544	532	547	477	476	476	467	458	452
M1	24	543	532	546	477	476	476	466	457	455
M2	48	541	530	544	477	476	476	466	455	454
M 3	72	540	529	543	515	514	513	502	455	454
M4	96	540	529	543	516	515	514	503	492	490
M5	120	583	571	585	517	516	515	504	493	491
M6	144	584	574	587	518	517	516	505	494	492
M7	168	584	574	587	518	517	516	505	494	492
Absorption (%)		7.53	7.84	7.50	7.92	7.93	7.75	7.72	7.89	7.72
Moyenne Ab (%)		7.62			7.87			7.78		

I.6.conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons abordé l'étude des propriétés physiques et chimiques des composants utilisés, où la granularité de deux types de sable a été réalisée pour obtenir une porosité plus faible, puis le pourcentage d'aide à la fluidité utilisé a été déterminé afin d'assurer la aspect économique de ce matériau.

Elle nous a permis de déterminer une composition idéale pour un mortier autoplaçant et autonivelant présentant des propriétés idéales à l'état frais et durci, représentées par la porosité, la fluidité, la viscosité et la résistance mécanique.

CHAPITRE III

ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSIONS.

III.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les essais effectués et les résultats obtenus sur l'effet du sable fin de Boussaâda et les billes de polystyrène sur le mortier autoplaçant à base du sable de djamaa selon les différentes combinaisons d'ajouts (correction de la granulométrie du sable de Djamaâ par le sable fin de Boussaâda).

III.2. Dénomination des différents mélanges :

MAP 1: (sable mixte S3, C/S=0.8, E/C=0.3, Adjuv=1.3%, PSE 0%)

MAP 2: (sable mixte S3, C/S=0.8, E/C=0.3, Adjuv=1.3%, PSE=5%)

MAP 3: (sable mixte S3, C/S=0.8, E/C=0.3, Adjuv=1.3%, PSE=10%)

Tableau III.1 : Composition de mortier équivalent autoplaçant

MELANGE	C/S	Adju (%)	E/C	PSE (%)
MAP 1	0.8	1.3	0.3	0
MAP 2	0.8	1.3	0.3	5
MAP 3	0.8	1.3	0.3	10

III.3. Les essais sur mortier équivalent autoplaçant frais :

III.3.1. Essais d'étalement au mini cône :

Nous représentons les résultats dans le tableau(III.2).

Tableau III.2 : L'étalement au mini cône pour les MAP.

Mortier	C/S	Adju (%)	E/C	PSE (%)	L'étalement (cm)
MAP 1	0.8	1.3	0.3	0	28
MAP 2	0.8	1.3	0.3	5	29.5
MAP 3	0.8	1.3	0.3	10	31

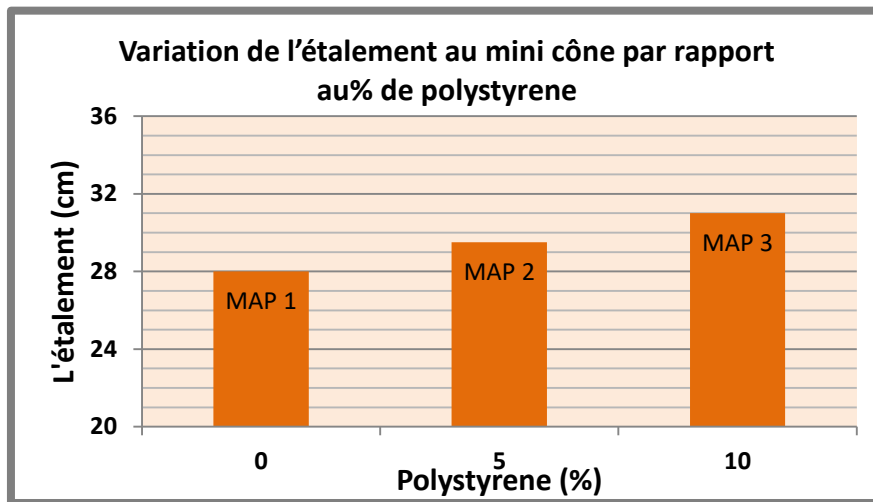


Figure III.1: L'étalement au mini cône

On remarque sur la figure (Fig III.1), que l'étalement au mini cône du mortier équivalent autoplaçant augmente en augmentant le pourcentage des billes de polystyrene ce qui confirme l'influence des billes de polystyrene sur la fluidité et la mise en place du mortier équivalent autoplaçant. Parce que la forme sphérique des billes de polystyrène évite les frottements entre les différentes particules de mortier

III.3.2. Essais Au Mini V-Funnel :

Cet essai nous permet de déterminer le temps d'écoulement du mortier équivalent autoplaçant, les résultats de l'essai sont regroupés dans le tableau ci-dessous

Tableau III.3 : Temps d'écoulement au mini v- Funnel pour les MAP.

Mortier	C/S	Adju (%)	E/C	PSE (%)	Temps d'écoulement au mini V- Funnel(S)
MAP 1	0.8	1.3	0.3	0	41
MAP 2	0.8	1.3	0.3	5	40.53
MAP 3	0.8	1.3	0.3	10	40.21

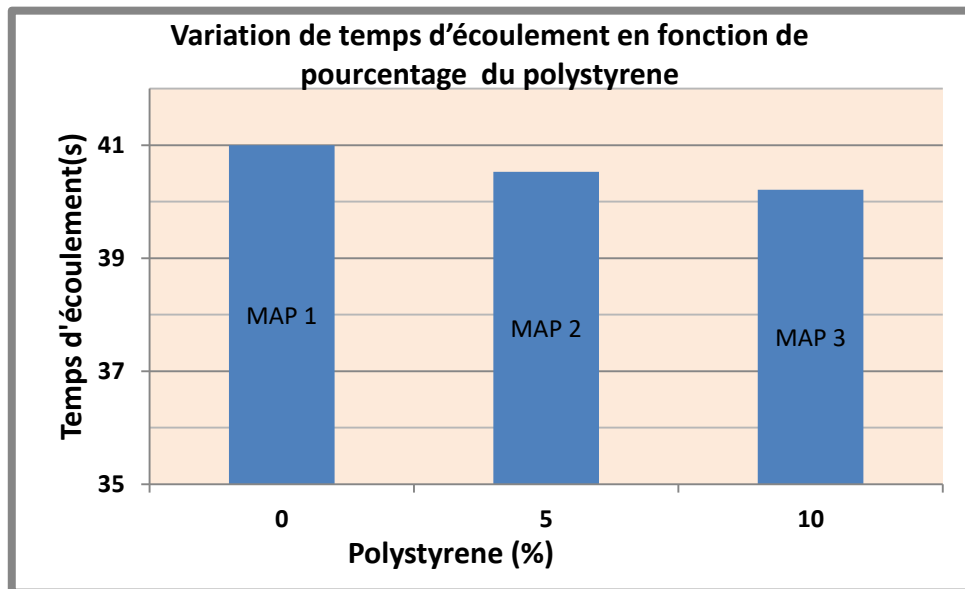


Figure III.2: Temps d'écoulement au mini V- Funnel

On remarque que le temps d'écoulement au mini V- Funnel est moins important pour les mortiers MAP 2 et MAP 3, à base de ces résultats on confirme que les billes de PSE influent sur la fluidité de mortier autoplaçant malgré ce ralentissement la mise en place restent correctes.

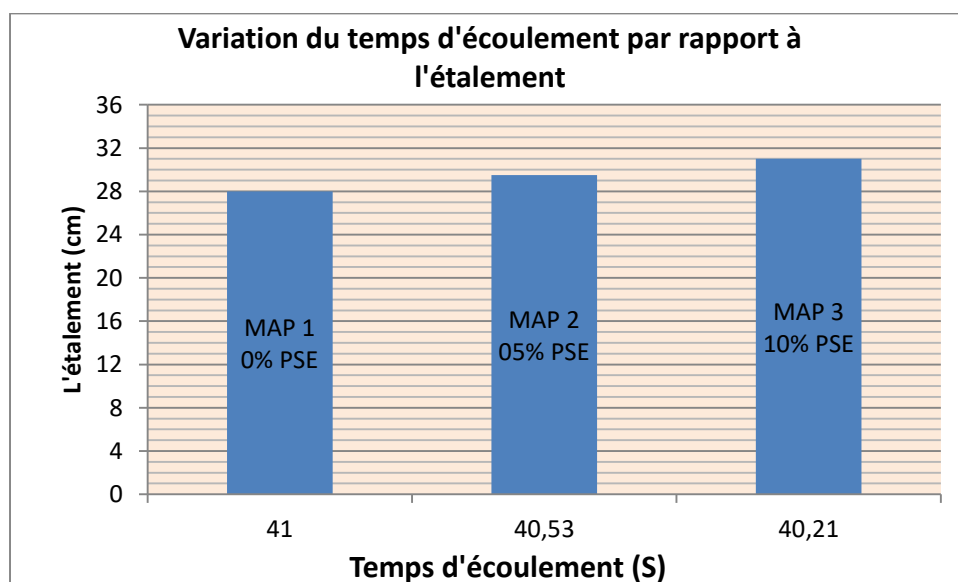


Figure III. 3 : la relation entre l'étalement au mini cône avec le temps d'écoulement au mini V- Funnel

A partir des résultats on conclut qu'il y a une influence notable les propriétés rhéologiques (le temps d'écoulement et l'étalement) du mortier équivalent autoplaçant mais le nivellement reste correct et acceptable.

III.4. Essais Sur Mortier équivalent Auto Plaçant Durci :

III .4.1 Absorption de l'eau :

Cet essai nous permet de déterminer le pourcentage d'absorption du mortier équivalent autoplaçant, les résultats de l'essai sont regroupés dans les tableaux ci-dessous

Tableau II.4 : résultats de taux d'absorption par capillarité des MAP

N° de masse	Temps (h)	MAP 1 - 0% de PSE			MAP 2 - 05% de PSE			MAP 3 - 10% de PSE		
		MASSE (gr)			MASSE (gr)			MASSE (gr)		
M 0	0	576	563	579	510	509	510	490	485	484
M1	24	560	547	561	497	495	495	482	471	469
M2	48	560	547	561	497	495	495	482	471	469
M 3	72	566	555	568	502	500	499	485	475	474
M4	96	568	556	569	504	501	499	486	476	475
M5	120	569	557	570	504	502	500	488	477	476
M6	144	569	557	570	505	502	500	488	477	476
Absorption (%)		1.58	1.80	1.58	1.58	1.39	1.00	1.23	1.26	1.47
Moyenne Ab (%)		1.36			1.33			1.32		

Tableau II.5 : résultats de coefficient d'absorption par immersion des MAP

N° de masse	Temps (h)	MAP 1 - 0% de PSE			MAP 2 - 05% de PSE			MAP 3 - 10% de PSE		
		MASSE (Kg)			MASSE (Kg)			MASSE (Kg)		
M 0	0	544	532	547	477	476	476	467	458	452
M1	24	543	532	546	477	476	476	466	457	455
M2	48	541	530	544	477	476	476	466	455	454
M 3	72	540	529	543	515	514	513	502	455	454
M4	96	540	529	543	516	515	514	503	492	490
M5	120	583	571	585	517	516	515	504	493	491
M6	144	584	574	587	518	517	516	505	494	492
M7	168	584	574	587	518	517	516	505	494	492
Absorption (%)		7.53	7.84	7.50	7.92	7.93	7.75	7.72	7.89	7.72
Moyenne Ab (%)		7.68			7.74			7.78		

D'après les résultats obtenus représentés dans les tableaux (II.4 ; II.5), on remarque que le pourcentage d'absorption d'eau par le capillaire diminue avec l'augmentation du pourcentage de polystyrène, ce qui suggère que ce dernier n'absorbe pas d'eau.

Quant à l'immersion, on constate une augmentation du taux d'absorption avec une augmentation du pourcentage de polystyrène, et cela est hypothétiquement dû à l'effet de l'augmentation du pourcentage de polystyrène sur la compacité du mortier.

III.4. 2.Masse volumique :

La masse volumique du mortier équivalent autoplaçant est donnée par la relation $\rho = \frac{M}{V}$, elle est mesurée par différentes pesées de l'éprouvette démoulée de dimension (4x4x16) cm selon la norme NF EN 196-1, chaque résultat est la moyenne de 3 mesures.

Avec : M : la masse de mortier V : le volume de l'éprouvette.

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.6: masse volumique des MPA après immersion dans l'eau.

N°	Temps (jours)	E/C	C/S	PSE (%)	Adjuvant (%)	Masse volumique (gr /cm ³)
1	01	0.3	0.8	0	1.3	2.228
2	07					2.233
3	14					2.239
4	28					2.29
5	01	0.3	0.8	05	1.3	2.163
6	07					2.171
7	14					2.18
8	28					2.257
9	01	0.3	0.8	10	1.3	2.117
10	07					2.143
11	14					2.169
12	28					2.203

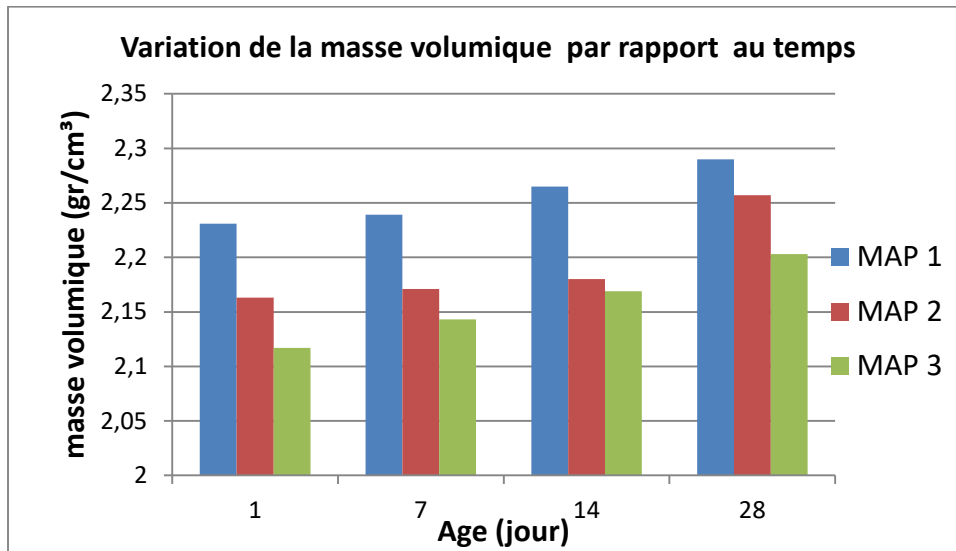


Figure III. 4: Variation de la masse volumique au cours du temps.

A travers les résultats obtenus et les histogrammes représentatifs dans (Fig III. 4 ; tableau III.6), on constate que la masse volumique augmente au cours du temps pour tous les mortiers équivalent autoplaçant MAP1, MAP2, MAP3 (avec ou sans billes de polystyrene), ce qui signifie que le mortier équivalent autoplaçant absorbe une quantité d'eau pendant son immersion dans l'eau.

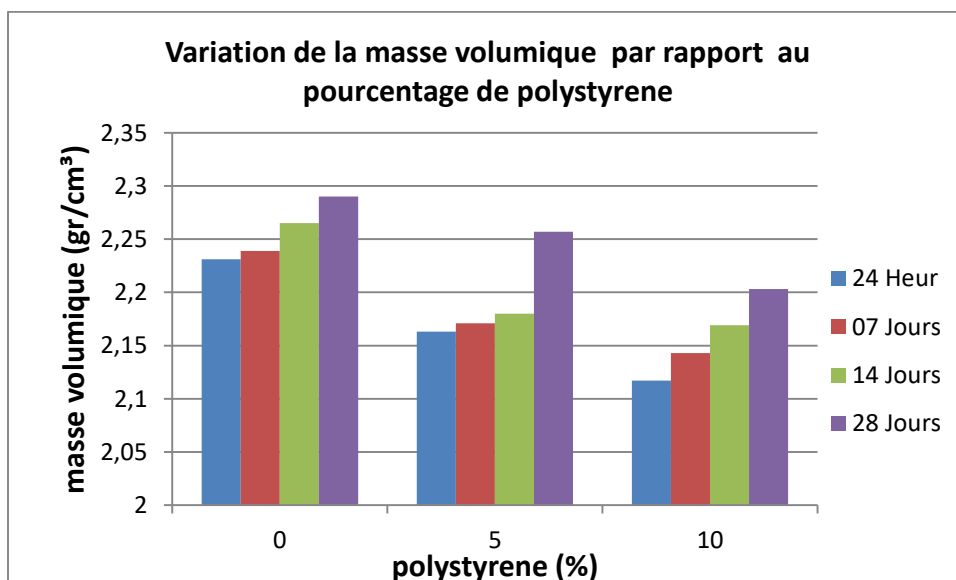


Figure III.5 : Variation de la masse volumique en fonction de pourcentage de polystyrene

A travers les résultats obtenus et représentés dans (Fig III.5, Tableau III.6) nous remarquons que l'augmentation du pourcentage des billes polystyrène dans le mortier équivalent autoplaçant est engendrée par une baisse notable de la masse volumique.

Nous concluons que l'incorporation du polystyrène dans le mortier équivalent autoplaçant conduit d'une manière sur de la réduction la masse volumique, cette réduction est d'autant importante que le pourcentage de polystyrène ajouté augmente dans le mortier équivalent autoplaçant.

III.4. 3. Résistance mécanique :

Le démoulage des éprouvettes s'effectue après 24 heures.

La résistance à la compression et à la traction par flexion des éprouvettes est testée simultanément sur trois échantillons de chaque type de mortier à 1j ,7j, 14j et 28 jours, les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux ci-après.

III.4. 3. 1. Résistance à la compression :

La résistance à la compression du mortier équivalent autoplaçant est testé sur des éprouvettes cubique de dimension (5x5x5) cm.

Les résultats d'essai obtenus sont regroupés dans le tableau (III.7).

Tableau III.7 : la moyenne de résistance à la compression des MAP

N°	Temps (jours)	E/C	C/S	PSE (%)	Adjuvant (%)	Rc (MPa)
1	01	0.3	0.8	0	1.3	23.8
2	07					41
3	14					45.9
4	28					54
5	01	0.3	0.8	05	1.3	21.6
6	07					40.1
7	14					43.7
8	28					52.3
9	01	0.3	0.8	10	1.3	20.9
10	07					38.1
11	14					40.1
12	28					51.9

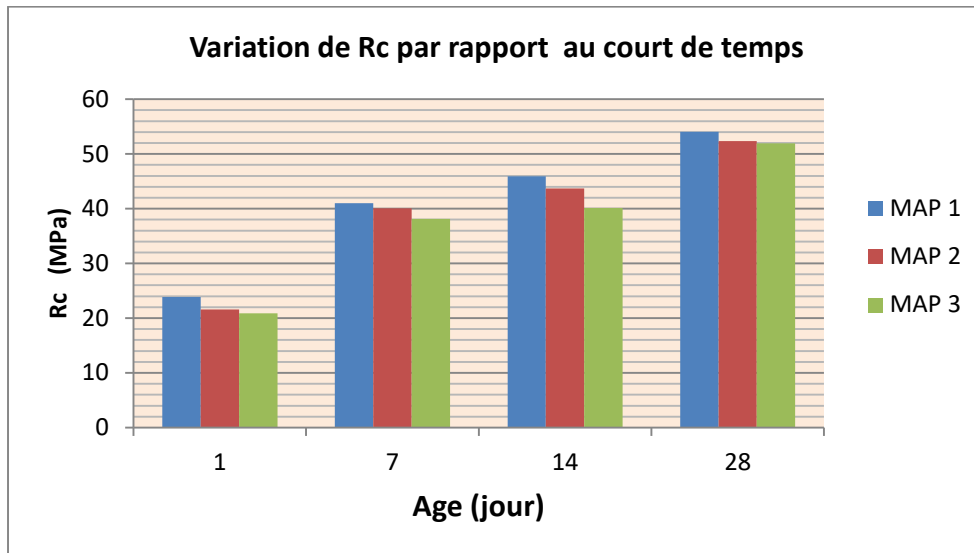


Figure III.6 : Résistance à la compression dans le temps des MAP

À travers des résultats obtenus et représentés par la figure (III.6), nous remarquons qu'à mesure que le temps augmente, la résistance à la compression du mortier augmente et que la résistance après 24h est largement suffisante et assez importante pour effectuer des travaux de pose de carrelage et d'autres et après 28 jours on constate que la résistance à la compression du mortier équivalent autoplaçant atteint des résistances élevées.

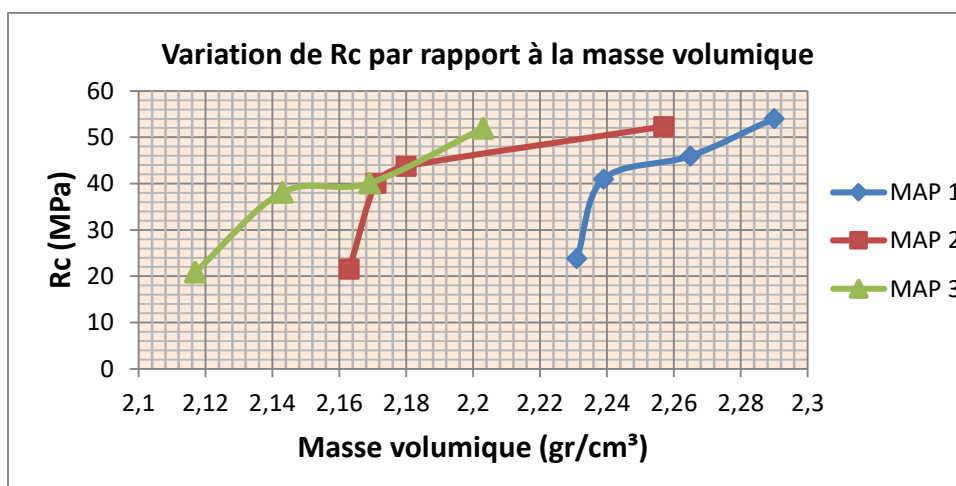


Figure III.7: Résistance à la compression en fonction de la masse volumique.

À partir des résultats obtenus, représentés par les figures (III.5, III.6, III.7), nous remarquons qu'à mesure que la masse volumétrique augmente, le mortier devient plus compact, la résistance à la compression du mortier équivalent autoplaçant augmente.

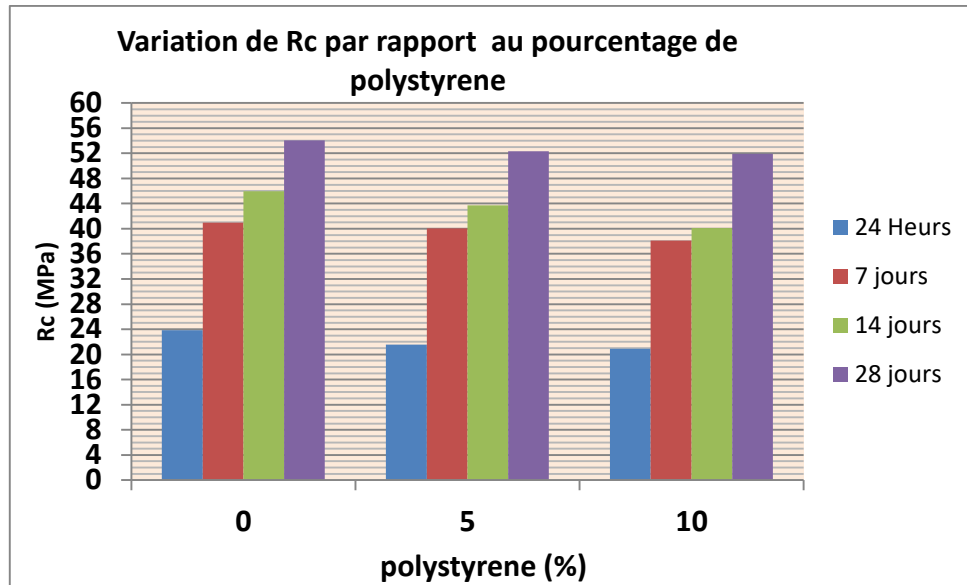


Figure III.8: Résistance à la compression en fonction de pourcentage de polystyrene

A partir des résultats obtenus est représentés par les histogrammes, nous confirment que la résistance à la compression a croit au cours du temps. La compacité (la hausse de la masse volumique) du mortier équivalent autoplaçant influe positivement la résistance à la compression.

De plus, l'incorporation de 5% et de 10% de billes de polystyrène est engendrée par une faible perte de résistance à la compression.

III.4.3 .2 . Résistance à la traction et flexion:

L'essai est effectué par une machine de flexion au laboratoire et les résultats sont regroupés au tableau ci-dessous.

Tableau III.8 : la moyenne de résistance à la traction, flexion des MAP

N°	Temps (jours)	E/C	C/S	PSE (%)	Adjuvant (%)	Rt (MPa)	Rf (MPa)
1	01	0.3	0.8	0	1.3	3.2	4.14
2	07					5.467	6.23
3	14					6.917	7.31
4	28					7.27	8.22
5	01	0.3	0.8	05	1.3	3.15	4.05
6	07					5.133	6.10
7	14					5.617	6.77
8	28					6.657	7.95
9	01	0.3	0.8	10	1.3	3.033	3.95
10	07					4.667	5.90
11	14					5.56	6.68
12	28					6.233	7.60

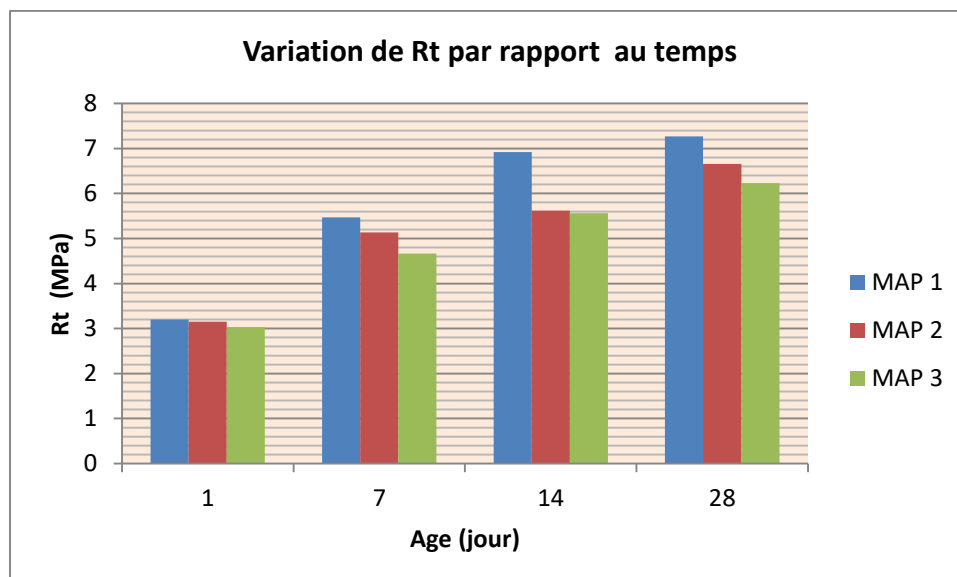


Figure III.9 : Résistance à la traction au cours du temps

À partir des résultats obtenus et regroupés au tableau (III.8) présentée dans les figures (Fig III.09), nous remarquons qu'à mesure que le temps augmente, la résistance à la traction du mortier augmente.

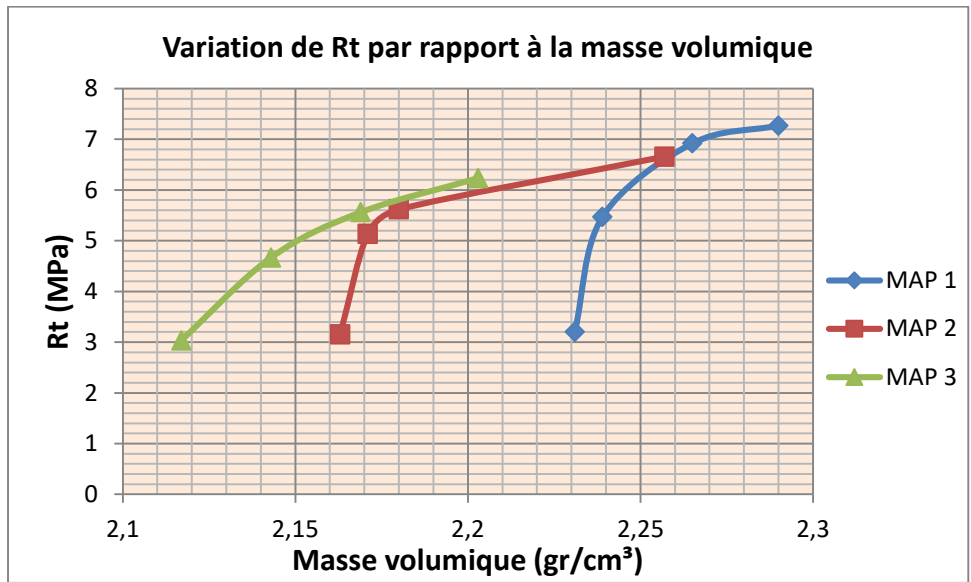


Figure III.10 : Résistance à la traction en fonction de la masse volumique.

À partir des résultats obtenus dans l'étude présentée dans la figure (III.10), nous remarquons qu'à mesure que la masse volumique augmente, la résistance à la traction du mortier augmente.

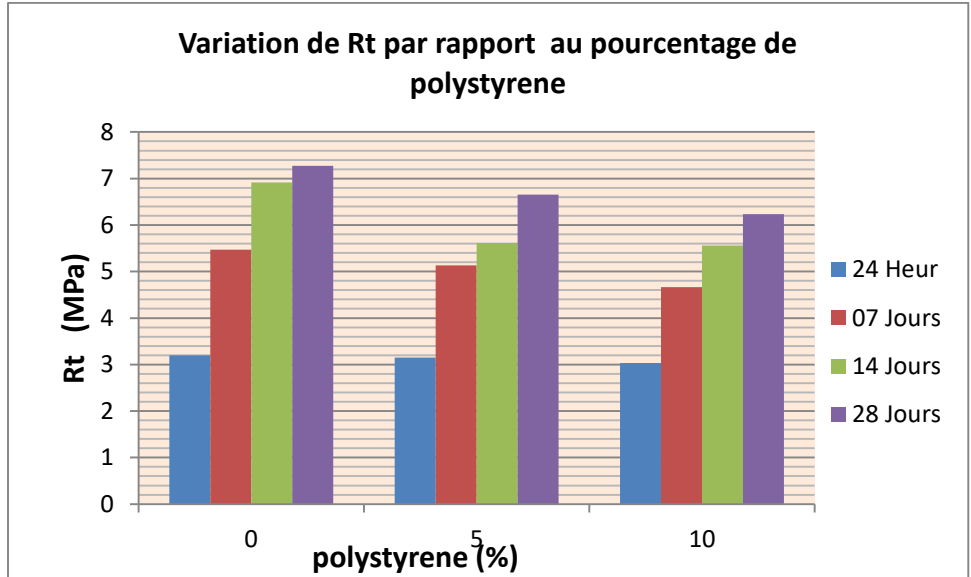


Figure III.11 : Résistance à la traction en fonction de pourcentage de polystyrene.

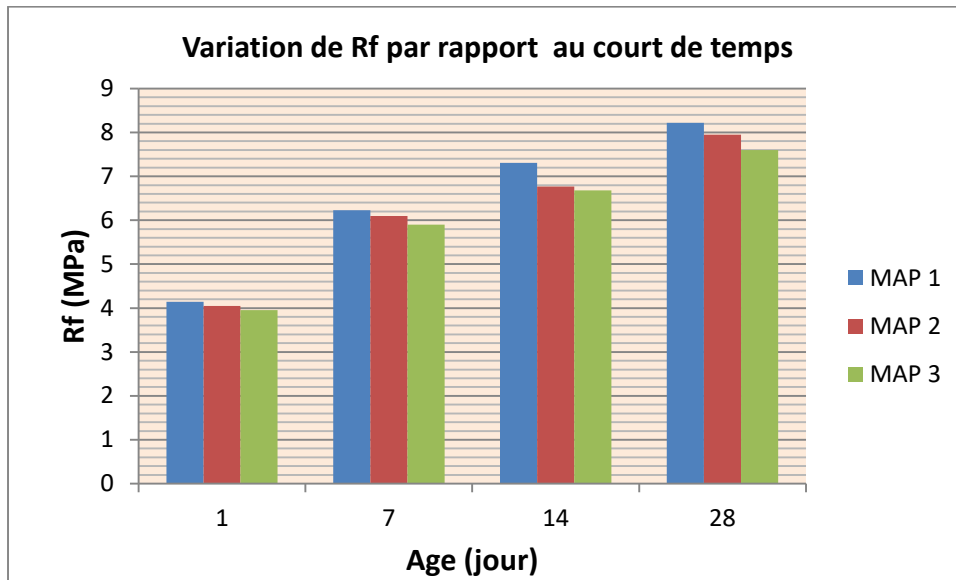


Figure III.12 : Résistance à la flexion au cours du temps

À partir des résultats obtenus et regroupés au tableau (III.8) présentée dans la figure (Fig III.11), nous remarquons qu'à mesure que le temps augmente, la résistance à la flexion du mortier augmente.

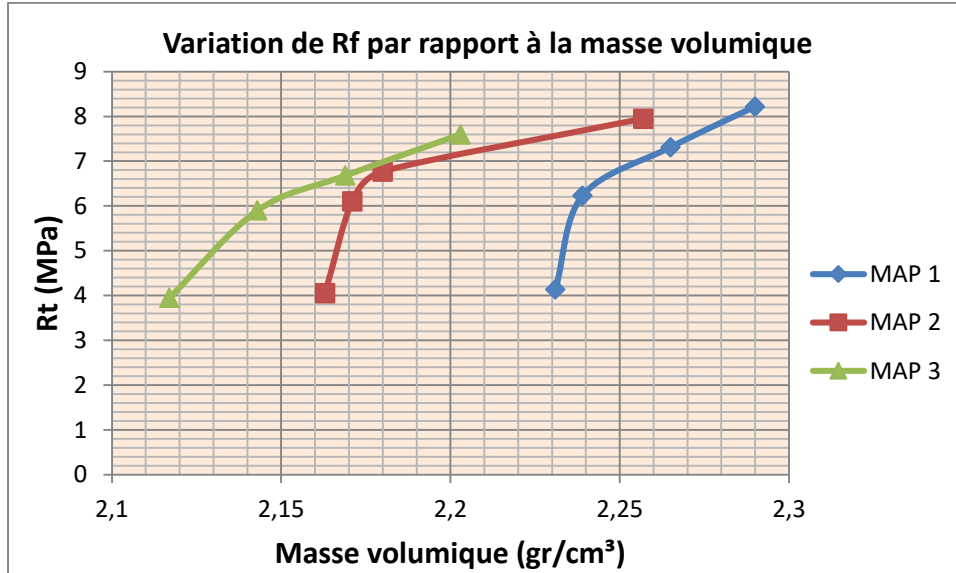


Figure III.13 : Résistance à la flexion en fonction de la masse volumique.

À partir des résultats obtenus dans l'étude présentés dans les figures (III.13), nous remarquons qu'à mesure que la masse volumique augmente, la résistance à la flexion du mortier augmente.

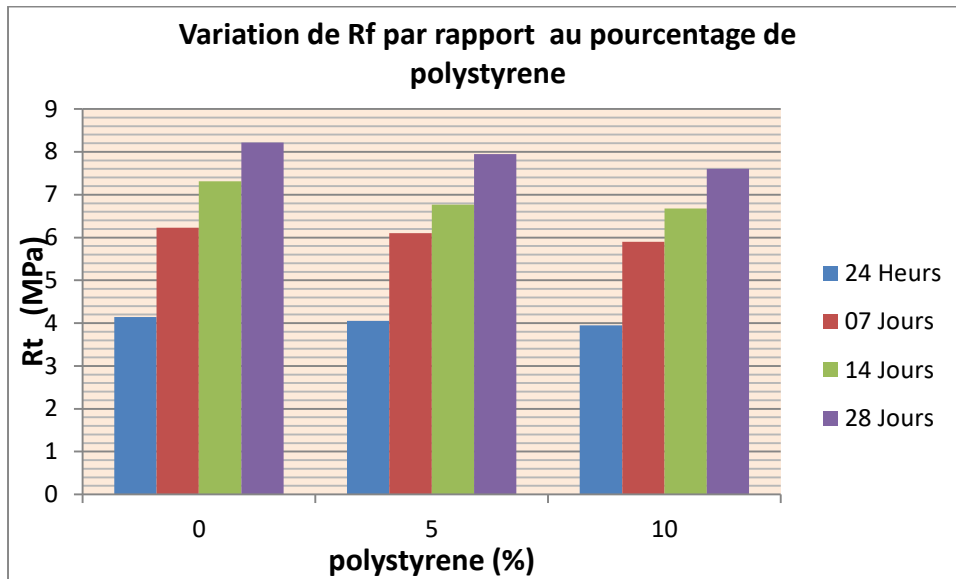


Figure III.14 : Résistance à la traction en fonction de pourcentage de polystyrene.

III.5. Conclusion :

A partir des résultats on conclut qu'il y a une influence notable les propriétés rhéologiques, physiques et mécanique tel que (le temps d'écoulement et l'étalement, masse volumique, résistance à la compression et la traction) du mortier équivalent autoplaçant mais le nivellement reste correct et acceptable

CONCLUSION GENERALE

Dans notre étude, nous avons abordé la détermination de la composition appropriée pour un mortier autoplaçant et autonivelant, en tenant compte de l'aspect économique et en maintenant les propriétés physiques, mécaniques et rhéologiques.

Pour compenser les additions considérées comme un matériau de base dans la composition, et pour corriger la granularité du sable Djamaa due à son manque de parties fines, le sable fin de Boussaâda a été utilisé.

Afin de déterminer la proportion de ces derniers, plusieurs mixtures se sont formées entre les deux sables étudiés dans des proportions variables de (0% à 100%), où a été prélevée la mixture la moins poreuse obtenue grâce aux expériences que nous avons menées, représenté par la mixture (30% de sable de Bou Saada et 70% de sable de Djamaâ).

Le pourcentage de superplastifiant a été déterminé par (1.3%) afin de réduire l'eau de mélange à $E/C = 0.3$ pour faciliter l'ouvrabilité et maniabilité de notre mortier, et ajuster la viscosité sans ressuage.

Des billes de polystyrène ont également été ajoutées au mélange dans des proportions (5 % et 10%), car nous avons remarqué qu'avec son augmentation, il y avait un effet notable sur les propriétés physiques, mécaniques et rhéologiques du mortier.

Ces résultats ont montré la possibilité de fabriquer un mortier autoplaçant et autonivelant présentant un bon comportement rhéologique et une résistance à la pression suffisante en appliquant des travaux de pose après 24 heures et dans un délai de 28 jours.

Références Bibliographiques :

- [1] : [http //www .guidebéton.com](http://www.guidebéton.com) ; Simon Bernard - Grenoble Ecole Management.
- [2] : Mémoire de fin d'étude Master - BRINIS et RDJEM-CH I-article I.1 ; I.7.2 - année 2021-université de m'sila.
- [3] : Mémoire de fin d'étude Master - MAKEB Randa –CH I - article I-3 - année 2022 - université de Tizi-Ouzou.
- [4] : Livre – Nouveau guide de Béton - Jean FESTA - Georges DREUX
- CH I - article 1-1 ; 1-2 ; 3 ; 4 - Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007.
- [5] : Fascicule de travaux pratique matériaux de constructions - Dr MAZA. Mekki - Année 2016/2017.
- [6] : <https://www.infociments.fr> - Patrick GUIRAUD -année 2018 - 2016
- [7] : solutions béton – Construction Moderne / Annuel Ouvrages d'art 2014Page 16 ; 17- 19- Patrick GUIRAUD est Directeur Génie Civil à CIMBETON (centre d'information sur les ciments et les bétons)
- [8] : Doc. A 3 341 Polystyrène expansé PSE - généralité ; article par Bertrand BÉGHIN Ingénieur de l'École des Hautes Études Industrielles de Lille (HEI) Responsable Marketing HUNTSMAN Chemical Company France S.A.
- [9]:<https://www.defi-energie.be/billes-de-polystyrene> -publication -24 may 2021
- [10] : Mémoire de fin d'étude master - TAHAR MAOUIA et ZERROUTE CHANHA – CH I- article I .4.3 ; année 2020 Université Saad DAHLAB Blida.
- [11] : Mémoire de fin d'étude master - Comportement d'un mortier autoplaçant à base de fines de déchet de brique - OUMAZA Mohamed et TEMMAR IBTISSEM- CH I – article I .2.2 ; I.2.3-année 2020 Université Saad DAHLAB Blida1.
- [12] : <https://pdfcoffee.com/methode-des-volumes-absolus-pdf-free.html>.
- [13]: Dr M MAZA; Dr S. ZITOUNI; Dr A Naceri-année2016- Physical-mechanical properties of mortar made with binary natural fine aggregates (dune sand and crushed sand) with and without chemical admixture, ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BHRC) 17 (5), 663-68.

[14] : Khayat, K.H. ASSAAD, J. DACZKO J - 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).

[15] :INVACO2 : Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION N° : 10-148 HALLAL. A., UHBB Chlef, Algérie. Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011- Articles 02.

[16] : MÉMOIRE DE MAGISTER - Rhéologie, Caractérisation Physico-mécanique Et Durabilité Des Bétons Autoplaçants A Base De la poudre De Marbre-BOUKHELKHAL Aboubakeur -Université Amar Telidji Laghouat-année – CH II - article 5-1-1 ; 5-1-2.

[17] : Université de Blida 1- mémoire de fin d'étude master-Comportement d'un mortier autoplaçant à base de fines de déchet de brique Article 6.2.1 ; 6.2.2)

Annexes

1. Fiche technique de ciment Matine par LAFARGE.



50kg

ماتين
MATINE

ALGÉRIE



Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

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

Matine
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

AVANTAGES PRODUIT

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









 A member of
LafargeHolcim

APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 		Eau (litres) 
		0/5	8/15mm	15/25mm	
Dosage pour béton C25/30	X 1 	+  X7	+  X5	+  X4	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

• Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	10.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.05

• Temps de prise à 20° (NA 230)

	Valeur
Début de prise (min)	150±30
Fin de prise (min)	230±50

• Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

• Résistance à la compression

	Valeur
2 jours (MPa)	≥ 10.0
28 jours (MPa)	≥ 42.5

• Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	26.5±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm ² /g) (NA231)	3 700 - 5 200
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

MEDAFLOW 30

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

**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau**

DESCRIPTION

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

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

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

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

DOMAINES D'APPLICATION

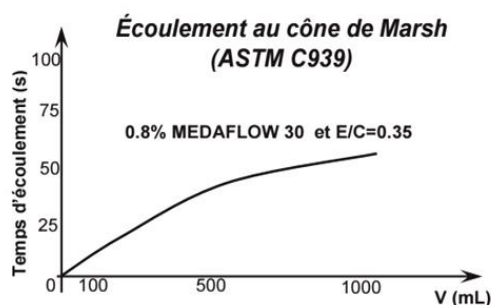
- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçants
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

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

Sur béton frais :

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



Sur béton durci :

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

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

CARACTÉRISTIQUES

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

MODE D'EMPLOI

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

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

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



MEDAFLOW 30

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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

Délai de conservation :

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

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

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposés aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

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



Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél: (213) 021 51 66 81 & 82

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

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com

