

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Civil

Option : Matériaux en Génie civil

Présenté par : HADLI Khadidja

HADJI Donia

Thème

**L'effet de l'utilisation des résidus métalliques dans la
formulation des bétons auto plaçant à l'état frais et durci**

Devant le jury composé de :

MAZA Mekki

MCA

Président

DJEBRI Noura

MCB

Encadreur

RAHMOUNI Zine El Abidine

Professeur

Co-Encadreur

BELOUADAH Messaouda

MCA

Examineur

Année Universitaire : 2021 / 2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DECICACE

Merci Allah de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve.

Je dédie ce modeste travail :

A l'homme de ma vie, mon chère papa ;

Pour ton amour, pour tes sacrifices, pour ton soutien tout au long de mes études j'espère être la source de ta fierté que ce travail soit un modeste témoignage de mon éternelle reconnaissance.

Que dieu te garde pour nous ma source de joie et de bonheur

A ma très chère maman ;

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour et ma considération pour les sacrifices que vous avez consentis pour moi instruction et mon bien-être .je vous remercie pour tous le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours Puisse Dieu, le très haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie.je t'aime MAMA.

A mes chères sœurs ;

Qui m'ont toujours soutenu et encouragées

A mes chers frères ;

A ceux que j'aime beaucoup, qui m'ont toujours soutenu.

A tous mes amies, mes proches et mes collègues.

Et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible, je vous dis merci beaucoup.

REMERCIEMENTS

La première chose on remercie le dieu pour le succès qu'il nous Donne, la volante et la patience tout au long de la période D'étude

En second lieu nous remercions aussi notre

Encadreur «Mme. DJEBRI NOURA», et Co-Encadreur «Pr. RAHMOUNI- Zine El Abidine» pour l'orientation, la confiance et la Patience tout long de ce travail.

Nos remerciements vont aussi le chef de département du génie Civil « Mr. BAALI LAÏD » qui nous encourage et a tous les Enseignants de département Nous tenons à exprimer notre

Reconnaissance à tous

Nos amis et Collègues et tous les employés du laboratoire de génie civil à

L'université de Mohamad Boudiaf surtout

Nous voudrions adresser mes remerciements à tous ceux qui m'ont aidé, même un peu en mentionnant Mme wahiba

Enfin nous voudrions à remercier tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Khadija et Donya

تعتبر الخرسانة ذاتية الرص تقنية حديثة في صناعة البناء لأنها ذات تشغيل عالي بحيث يمكن أن تتدفق و تنساب داخل هياكل كثيفة التسليح تحت تأثير وزنها الذاتي بدون الحاجة إلى عملية الاهتزاز و تملأ الفجوات بشكل كافي دون حدوث الانعزال أو حشد الخرسانة خلف حديد التسليح.

لغرض الحفاظ على البيئة و امكانية تدوير النفايات الناتجة عن الانشطة الصناعية المختلفة وغيرها و في هذا السياق تم اجراء العديد من الدراسات لمعرفة امكانية تقييم النفايات كالاضافة أو تعويض أحد مكونات هذا النوع من الخرسانة

في هذا العمل الخاص بمذكرة التخرج يتم دراسة امكانية استعادة النفايات في مجال البناء حيث في تركيب الخرسانة ذاتية الرص نقوم باستبدال كميات من الرمل بنسب متعددة (5, 10, و15%) بنفس الكميات من نفايات معدنية على شكل حبيبات ثم دراسة تأثيرها على سلوك الخرسانة ذاتية الرص في الحالة السائلة وكذلك في الحالة الصلبة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الرص , النفايات , الاستعادة , حبيبات معدنية.

Résumé :

Le béton autoplaçant est une technologie moderne dans l'industrie de construction car il est hautement opérationnel de sorte qu'il peut s'écouler dans des structures densément renforcées sous l'influence de son propre poids sans avoir besoin de processus de vibration et remplir suffisamment les vides sans ségrégation ou encombrement du béton derrière l'acier d'armature. Et dans le but de préserver l'environnement et la possibilité de recycler les déchets issus de diverses activités industrielles et autres dans ce cadre, de nombreuses études ont été menées pour connaitre la possibilité d'évaluer les déchets, tels que l'ajout ou le remplacement d'un des composants de ce type de béton.

Dans ce travail de mémoire de fin d'études, la possibilité de valorisation des déchets dans le domaine de la construction est étudiée. Dans la composition du béton autoplaçant, on remplace des quantités de sable en proportions multiples (5, 10, et 15%) par les mêmes quantités des déchets métalliques sous forme de granulés, puis étudier leur effet sur le comportement des bétons autoplaçants aussi bien à l'état frais qu'à l'état durcis .

Mots clés : Béton autoplaçant, Déchets, Valorisation, grains métalliques.

Abstract:

Self compacting concrete is a modern technology in the construction industry because it is highly operational so that it can flow in densely reinforced structures under the influence of its own weight without the need for vibration process and fill sufficiently voids without segregation or

encumbrance of the concrete behind the reinforcing steel. And in order to preserve the environment and the possibility of recycling waste from various industrial and other activities .in this context , many studies were conducted to find out the possibility of evaluating waste , such as adding or replacing on of the components of this type of concrete . In the composition of self-compacting concrete, we replace quantities of sand in multiple proportions (5, 10, and 15%) with the same quantities of metal waste in the form of granules, and then study their effect on the behavior of self-compacting concretes in the fresh state swell as in the hardened state.

Keywords: Self-compacting concrete, Waste, Recovery, metallic grains.

Table des matières

DECICACE	
REMERCIEMENTS	
INTRODUCTION GENERALE	2
CHAPITER I	4
Étude Bibliographique sur le Béton Auto plaçant(BAP)	4
I.1. Introduction	5
I.2. Définition de béton auto plaçant	5
I.3.Pirncipaux constituants des BAP	6
I.3.1. Matériaux de base :	6
I.3.1.2Ciment :	7
I.3.1.3 Additions minérales :	7
I.3.1.4 Les fillers calcaires :	8
I.3.1.5 Le super plastifiant :	8
I.3.2 Essais de caractérisation à l'Etat frais.....	11
I.3.2.1.Essai évaluant la fluidité (étalement).....	11
I.3.2.2. L'essai de boite en L :	12
I.3.2.3. Essai de Stabilité au tamis :	12
I.3.2.4 Essais de caractérisation à L'état durci :	13
I.3.2.5.Essai de compression :	13
I.3.2.6. Essai sclérométrique :	14
I.3.2.7Essai traction et flexion :	15
I.3.2.8. Essai d'auscultation dynamique :	16
I.4 Les Avantage de BAP :	17
I.5.Méthodes deformulations des BAP :	17
I.5.1 Méthodes japonaise :	17
a) Dosage des gravillons :	17
Dosage du sable :	17
Dosage du liant :	17
Dosage de l'eau et du super plastifiant:.....	18
I.5.2Méthode Suédoise :	18
I.5.3 Méthodes Française :	18
I.6Concluions	19
CHAPITRE II VALIORISATION DES Déchets	21
II.1 Introduction	22

I.2 Recyclage des déchets :	22
II.2.1 Définition d'un déchet :.....	22
II.3 Les différents types de déchet	23
II.4 Déchets ultimes	23
II.5 Déchets ménagers et assimilés :	23
II.6 Déchets inertes :	23
II.7 Déchets dangereux :	24
II.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS):.....	24
II. 7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS) :	24
II.8. Déchets verts :	24
II.9. Déchets organiques :	24
II. 10. Déchets non dangereux des activités économiques :	24
II.10. 1. Les déchets industriels banals (DIB):.....	24
II.10 .2. Les déchets médicaux et pharmaceutiques :	25
II.10.3. Gestion des déchets :	25
II.10.4 Principes de gestion des déchets :	25
II.10.5. Technique de gestion des déchets	26
II.10.5.1 Décharge :.....	26
II.10.5.2Incinération:	26
II.10.5.3. Compost et fermentation :	26
II.10.5.4. Traitement biologique et mécanique :.....	27
II.10.5.5. Pyrolyse et gazéification :	27
II.10.6. Déchets utilisés comme granulats du béton :	28
II.10.6.1 Déchet de faïence :	28
II.10.6.2Déchets de la démolition :	28
II.10.6.3 Déchet de Pneus :.....	29
II.10.6.4 Les déchet de brique :	30
II.10.6.5 Déchet de Verre :.....	30
II.10.6.6 Les déchets de chantier :.....	31
II.10.6.7 Les déchets plastiques :.....	32
II.10.6.8 Déchet de bois:.....	33
II.10.6.9 Les déchets métalliques :	34
II.10.6.10 Ciment durci :	35
II.6.10.11 Déchets de marbre :	35
II.10.6.12 Boues rouges :	36
II.11 Concluions	37

III.1 Introduction	39
III.2.Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du BAP	39
III.2.1. Le sable.....	39
III.2.1.1. Analyse granulométrique :	39
III.2.1.2. Caractéristiques physiques du sable :	41
III.2.1.2.1. La masse volumique absolue.....	41
III.2.1.2.2 La masse volumique apparente :	42
$Y_{app}=(M_1.M_2)V_r$	42
b) la masse volumique à l'état compact :.....	43
III.2.1.2.3 Porosité et compacité et indice des vides :	43
III.2.1.2.4 Equivalent de sable :	43
Mode opératoire :	43
a)équivalent de sable visuel (E.S.V) :	44
E.S.P=$(h_2/h_1).100(%)$.....	44
b) Equivalent de sable piston(E.S.P):	45
III.2.1.2.6 Le degré d'absorption d'eau du sable :	46
III.2.2. Le gravier :	46
III.2.2.1. Analyse granulométrique :	46
III.2.2.2. Caractéristiques physiques du gravier :	48
III.2.2.2.1. La masse volumique apparente :	48
III.2.2.2.6 Essai de la dureté (Essai los Angeles):	49
III.2.3. Le ciment :	51
III.2.4 Les adjuvants	52
III.2.5 Les grains métalliques :	52
III.2.6. Le filler (marbre) :	52
III.2.7. L'eau de gâchage :	53
III.3. Formulation du béton auto plaçant :	54
III. 3 .1. Préparation de la gâchée :	54
III. 3. 2. Conservation des éprouvettes :	55
III. 3 .3. Formulation de béton auto plaçant :	55
III.3.3.1. Les constituants présents dans le mélange :	55
III.4 Les compositions des différents bétons :.....	57
III.5 Conclusion	57
VI.1INTRODUCTION :	59
IV.2Essais de caractérisation du béton auto plaçant à l'état frais :.....	59
IV.2.1. Détermination de la consistance au cône d'Abram's :	59

IV.2.1.1. Matériel utilisé :	59
IV.2.1.2. Mode opératoire :	59
IV.2.2 Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L :	60
IV.2.3 Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis :	61
IV.2.3.1. Matériel utilisé :	61
IV.2.3.2. Mode opératoire :	61
IV.3 Essais de caractérisation du béton auto plaçant à l'état durci :	63
IV.3.1. Essai de compression :	63
a) But de l'essai :	63
b) Principe de l'essai :	63
c) Conduite de l'essai :	64
IV.3.2 Essai de traction par flexion :	64
a) But de l'essai :	64
b) Conduite de l'essai :	65
IV.3.4. Détermination de la résistance par les essais non destructifs.....	66
On a utilisé deux essais non destructifs :	66
IV.3.4.1 Essai au scléromètre :	66
a) Principe de l'essai	67
IV.3.4.2 Essai d'auscultation dynamique :	67
a) Principe de l'essai :	67
IV.4 Conclusion :	68
Chapitre V.....	70
Résultats et Analyses.....	70
V.1 Introduction.....	71
V.2 Résultats des essais à l'état frais :	71
V.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abram's :	71
V.2.2. Essai de la boîte en L :	72
V.2.3. Essai de stabilité au tamis :	73
V.2.4. La masse volumique :	74
V.3 Résultats des essais à l'état durci :	75
V.3.1 Les essais destructifs (ED) :	75
V.3.1.1 La résistance à la compression :	75
V.3.1.2 La résistance à la traction par flexion	78
V.3.2.1 Les essais non destructifs (END)	79
V.3.2.2 L'essai à l'ultrason :	79
V.3.2.3.1 L'essai au scléromètre :	82

V.3.2.3.2L'essai au scléromètre :.....	83
V.4Conclusion.....	85
CONCLUSION GENERALE	86

Liste des figures

Fig. II. 1 déchet de faïence [29].....	28
Fig. II. 2 Déchets de démolition [29].....	29
Fig. II. 3 Déchet de Pneus.[29].....	30
Fig. II. 4 déchet de Brique.[29].....	30
Fig. II. 5 déchet de verre [29].....	31
Fig. II. 6 Les déchets de chantier [29].....	32
Fig. II. 7 différent type de déchet plastique [29].....	33
Fig. II. 8 différent type de déchet de bois[29].....	34
Fig. II. 9 Déchets métalliques [37].....	35
Fig. II. 10 Ciment durci [38].	35
Fig. II. 11 Déchets de marbres et déchets de marbre broyés [38].....	36
Fig. II. 12 Boues rouges [38].....	36
Fig. III. 1 Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique.....	40
Fig. III. 2 Courbe granulométrique de sable.....	41
Fig. III. 3 Essai d'équivalent de sable.....	45
Fig. III. 4 Courbe granulométrique de Gravier (3/8).....	47
Fig. III. 5 Courbe granulométrique de Gravier (8/16).....	48
Fig. III. 6 appareil de l'essai los Angeles.....	50
Fig. III. 7 Ciment portland Composé (CPJ) MOKaouem.....	51
Fig. III. 8 Grains Métalliques.....	52
Fig. IV. 1 Essai d'étalement.....	60
Fig. IV. 2 Blocage des granulats par la présence d'armatures [14].....	60
Fig. IV. 3 exemple de l'essai la boîte en L.....	61
Fig. IV. 4 Essai de la stabilité au tamis.....	62
Fig. IV. 5 L'appareil de l'essai de compression.....	64
Fig. IV. 6 L'appareil de l'essai de traction par flexion.....	65
Fig. IV. 7 Formule de calcul de la résistance de traction.....	66
Fig. IV. 8 Marteau de Schmidt ou Scléromètre.....	66
Fig. IV. 9 Principe de fonctionnement d'un scléromètre [14].....	67
Fig. IV. 10 Appareil d'ultra son.....	68
Fig. IV. 11 La résistance à la compression en fonction de l'âge de béton.....	77
Fig. IV. 12 La résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge des bétons.....	79
Fig. IV. 13 la vitesse du son en fonction de l'âge des bétons.....	81
Fig. IV. 14 L'indice sclérométrique en fonction de l'âges des bétons.....	83
Fig. IV. 15 l'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons.....	85
Fig. V. 1 L'étalement en fonction de type de béton.....	72
Fig. V. 2 Le taux de remplissage en fonction de type de béton.....	73
Fig. V. 3 L'indice de ségrégation en fonction de types de béton.....	74
Fig. V. 4 la masse volumique en fonction des types bétons (BAP).....	74

Liste des Tableaux

Tableaux. III.1 Analyse granulométrique du sable.....	41
Tableaux. III. 2 la masse volumique absolue du sable.....	42
Tableaux. III. 3 La masse volumique apparente à l'état lâche VR=900l.....	42
Tableaux. III. 4 la masse volumique apparente à l'état compact.....	43
Tableaux. III. 5 porosité, compacité et indice des vides.....	43
Tableaux. III. 6 Equivalent de sable.....	45
Tableaux. III.7 . Le degré d'absorption d'eau du sable.....	46
Tableaux. III. 8 Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	47
Tableaux. III. 9 Analyse granulométrique du gravier 8/16.....	48
Tableaux. III. 10 la masse volumique apparente du gravier.....	49
Tableaux. III. 11 caractéristiques mécaniques du gravier.....	50
Tableaux. III. 12 classification du gravier en fonction du coefficient de los Angeles.....	51
Tableaux. III. 13 Caractéristiques physiques du marbre.....	52
Tableaux. III. 14 Caractéristiques chimiques du marbre.....	53
Tableaux. III. 15 Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage.....	53
Tableaux. III. 16 La composition des matériaux pour 1m ³ de béton.....	56
Tableaux. IV. 1 Classement de la formulation selon le pourcentage :.....	62
Tableaux. IV. 2 Résistance à la compression.....	76
Tableaux. IV. 3 Résistance à la traction par flexion.....	78
Tableaux. IV. 4 les essais à l'ultrason.....	80
Tableaux. IV. 5 les essais scléromètre.....	82
Tableaux. IV. 6 les essais scléromètre.....	83
Tableaux. V. 1 Résultats des essais à l'état frais.....	71

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les bétons est un matériau de base dans le domaine de la construction, ce qui Appelle des recherches sur la qualité des bétons répondante à de nombreuses normes termes de durabilités et de résistance, ce qui permet d'envisager des bétons autobloquants répondant aux normes.

Etant donné que le béton auto plaçant représente les éléments les plus importants dans le domaine de la construction et De l'industrie du béton, en particulier, en raison des avantages qui caractérisent Ce type de béton, sa haut résistance à la séparation granulaire, car il a un degré élevé de fluidité.

Que le béton auto plaçant présente des avantages qui en font le premier choix pour la réalisation de structures en béton et de sections étroites et encombrées avec des barres d'armateur sans l'utilisation de vibrations , d'un débit élevé et d'une fluidité à l'aide de super plastifiants ou en augmentant l'eau de gâchage pour réduire le frottement interne entre les grains , haut résistance à la séparation entre les solides dans le mélange et la capacité de pénétrer dans des espaces étroits et fortement armés en raison de son poids uniquement .

A cette fin, la recherche continue a permis une apparence plusieurs types de auto plaçant béton : les bétons très autoplaçant (BTAP), le béton en fibre métallique (BFM) ECT.

En cela la rechercher, nous proposons un autre type de béton auto plaçant, utilisant déchets métallique à la place du sable.

L'objectif de la recherche est de préparer un béton auto plaçant en utilisant des déchets métallique et en connaissant leurs propriétés où cette étude a abouti à une synthèse bibliographique du béton auto plaçant et de la valorisation des déchets métallique , en plus d'une étude expérimentale pour évaluer les propriétés rhéologiques du béton auto plaçant conçu et supporté par un granuleux métallique pour en connaître l'effet de granuleux métallique sur les propriétés du béton auto plaçant à l'état frais et l'Etat durci. Enfin, cette thèse est divisée en cinq chapitres comme suit :

Le premier chapitre : Revue Générales Sur Le Béton Auto plaçant présente une synthèse bibliographique sur les BAP d'un point de vue générale. Les informations présentées relatent plusieurs aspects concernant la caractérisation des propriétés intrinsèques aux BAP. Les particularités de la composition des BAP et leur caractérisation à l'état frais (essais spécifiques) sont abordées

Le deuxième chapitre: est consacré à la valorisation des déchets, leurs natures et leurs provenances ainsi les différents déchets utilisés en génie civil principalement dans l'élaboration des bétons et des ciments composés.

Le troisième chapitre: est destiné à la caractérisation des matériaux utilisés, dont nous présentons les caractéristiques chimiques, physiques, et mécaniques (Ciment, filler, super plastifiants, grains métalliques, sable et gravier) et à l'étude expérimentale, dans laquelle nous présentons les matériaux et le matériel utilisé dans notre travail.

INTRODUCTION GENERALE

Le quatrième chapitre : est la partie expérimentale, où on s'intéresse à la formulation des bétons auto plaçant, à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux.

Le Cinquième chapitre : est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude. Ainsi que les propriétés mécaniques et physiques d'un BAP et BAPGM.

Enfin, une conclusion générale, qui résume les principaux résultats obtenus.

CHAPITER I

Etude Bibliographique sur le Béton Auto plaçant(BAP)

I.1. Introduction

Pendant plusieurs années commençantes en 1983, le problème de la durabilité de structures en béton était un sujet d'intérêt majeur surtout au Japon, il est considéré comme un problème majeur auquel la société japonaise fait face, surtout que le nombre d'ouvriers qualifiés dans la construction n'arrive pas à diminuer engendrant une perte de connaissance, notamment dans les techniques de vibration du béton [1].

Ces bétons se développent maintenant en Europe et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications.

Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques : possibilité de bétonner des zones fortement ferraiées ou à géométrie complexe et obtention d'une meilleure qualité du parement (pratiquement indépendant du savoir-faire des ouvriers) d'une part, diminution du temps et de personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels, d'autre part [2].

Cette partie présente un aperçu détaillé sur le béton auto plaçant que nouveau matériau. Il dans cette partie, nous aborderons sa définition, le résumera description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les innovations et les avantages apportés par les BA.

I.2. Définition de béton auto plaçant

Ces bétons sont des bétons spéciaux, très fluides, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferraiés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés d'auto-plaçant que si le matériau durci final présente des propriétés homogènes (pas de ségrégation) et présente de très bonne performance à court et puis à long terme. [3]

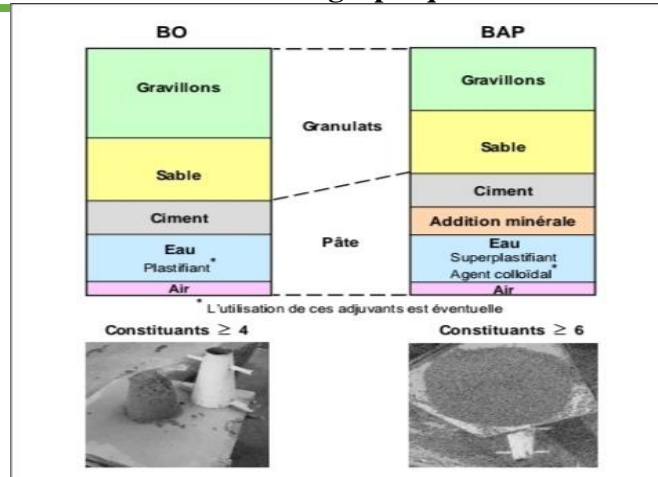


Fig. I.1. comparaison de la structure d'un BAP d'un BO [6]

I.3.Pirncipaux constituants des BAP

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Etant donné le mode de mise en place des BAP, les consistants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques[4].

I.3.1. Matériaux de base :

Les granulats ,le ciment et eau forment les élément de base de tous types de béton .Ils sont qualifiés ainsi puisqu' ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu' ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP.[4]

Les granulats :

De déterminer leur granulométrie permettant de minimiser le plus possible le volume d'air dans le but d'améliorer les propriétés du béton.

Les granulats se divisent principalement en deux catégories soient les gravillons ($\phi > 5\text{mm}$) et le sable ($\phi \leq 5$).

Dans le cas des BAP, les gravillons sont essentiellement caractérisés par leur dimension maximale, cette dimension étant principalement limitée à 20mm afin d'empêcher le risque de blocage lors de la mise en place .les gravillons roulés ou concassés peuvent en principe être utilisés .En outre, le sable

CHAPITRE I

Etude Bibliographique sur le Béton Auto plaçant(BAP)

Recommandé à la confection des BAP doit comporter des quantités assez fortes d'éléments fins ($\phi \geq 0.125\text{mm}$), dans la plage de 4 à 8%. Ainsi, ses grains passants au tamis de 2mm doivent être compris entre 38 et 42% [5].

Cette optimisation de sable permet d'améliorer le comportement rhéologique des BAP, mise elle entraîne un surcoût supplémentaire. [3]

I.3.1.2 Ciment :

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

Les analyses chimiques et minéralogiques du ciment sont d'une grande importance, mais elles sont souvent transparentes à l'utilisateur puisque celles-ci sont effectuées à cimenterie et sont des critères d'assurance qualité [3].

L'Eau : eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir de matière en suspension au-delà de la tolérance réglementaire suivant [7] :

- ❖ 2g/l pour les à haute résistance ; [12]
- ❖ 5g/l pour les bétons à faibles résistance ;

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- ❖ 15g/l pour les bétons à haute résistance ; [12]
- ❖ 30g/l pour les bétons à faibles résistance ;

Alors, pour convenir à la confection de BAP, l'eau de gâchage ne doit contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles. À cet effet, une analyse chimique de l'eau non potable peut être nécessaire pour détecter toute teneur trop élevée en ces impuretés. [8]

I.3.1.3 Additions minérales :

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent toutes, le fait d'être fines et de réagir en présence d'eau et de chaux.

De nos jours, des quantités considérables de plusieurs types de ces additions continuent d'être utilisées. Nous présentons ci-dessous les différentes additions minérales éventuelles qu'on peut incorporer dans les compositions. [8]

I.3.1.4 Les fillers calcaires :

Les fillers calcaires, matériaux fins dont les plus gros grains ne dépassent pas 80µm, sont obtenus par broyage ou par pulvérisation des roches calcaire naturelles ou non. Ils sont généralement considérés comme une addition inerte, mais le fait qu'ils présentent certaines propriétés hydrauliques n'est pas en soi désavantageux, de même que s'ils présentent une réaction avec certains composés développés au cours de l'hydratation. [9]

I.3.1.5 Le super plastifiant :

A l'état frais : les BAP requièrent habituellement une grande quantité de superplastifiant. Leur dosage varie entre 3l/m³ à près de 20l/m³ pour les mélanges de béton dont la courbe granulométrique est médiocre. Cependant, l'utilisation explicite de leur grande maniabilité [14].

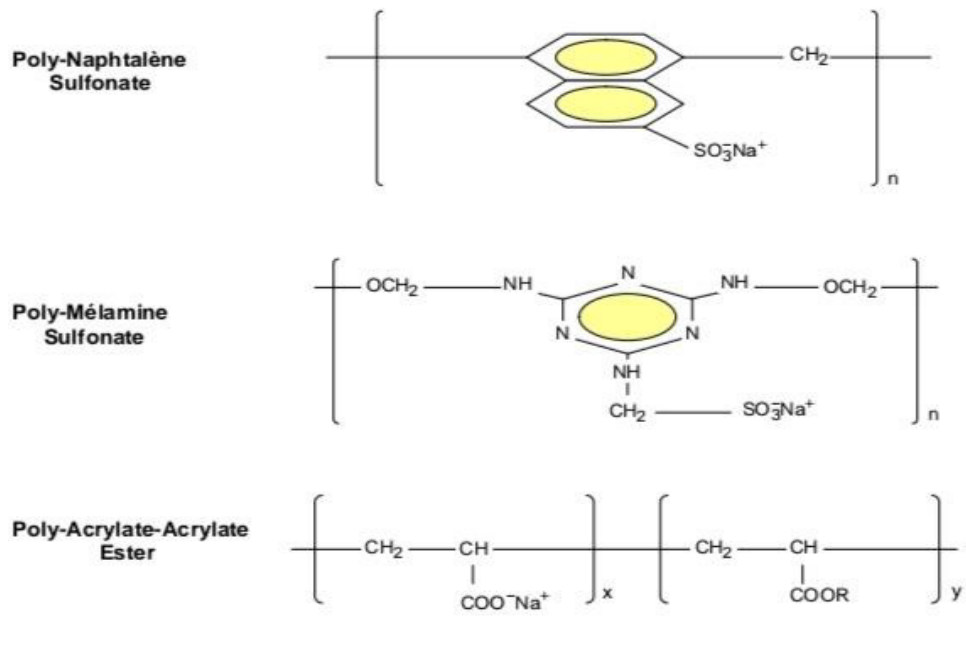


Fig. I.2. Représentation schématique des molécules de base super plastifiants les plus connus [10]

L'ajout d'un super plastifiant aide à augmenter la fluidité la figure I.3 montre par exemple que l'étalement augmente très fortement à partd'un certain dosage en super plastifiant [12]

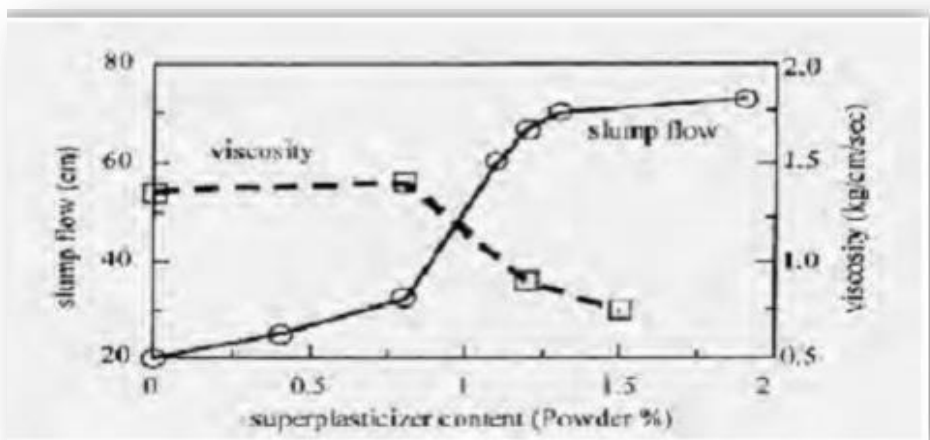


Fig. I 3 Influence de la qualité du superplastifiant sur l'étalement et la viscosité d'un béton

Lorsqu' ils sont contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charge opposées (positives et négatives) sur leur surface, tendant à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent,cette floculation piégé un certain

volume d'eau entre les grains de ciment (eau captive) qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton (figure 1.4)

Les super plastifiants en s adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment.

Ces charges la même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et , par conséquent , la dispersion des grains de ciment libérer de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d ou l'augmentation de la maniabilité (Figure1.5)[14]

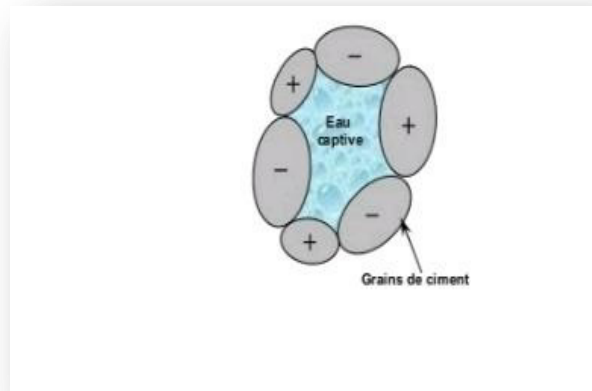


Fig. I. 4 de pâte ciment non adjuvant additionnés [11]

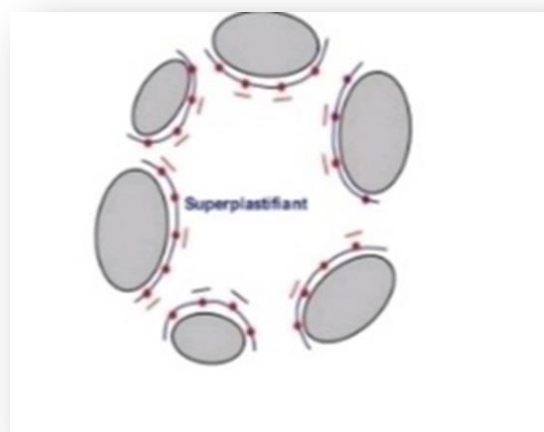


Fig. I. 5. Pâte de ciment d'un super plastifiant [11]

I.3.2 Essais de caractérisation à l'Etat frais

I.3.2.1.Essai évaluant la fluidité (étalement)

L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité des BAP. Il s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'asrams. Cependant, l'affaissement est toujours supérieur à 25 cm, on masseur le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètre orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute. [15]

Cediamètre, appelé étalement D, donne une indication sur la mobilité du BAP dans un milieu non confiné .les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans fourchette 60à 75cm est en général visée pour obtenir un BAP Etalement au cône d'Abram : $SF=d_1-d_2/2$ [mm][16].



Fig. I. 6. Essai d'étalement au cône d'Abram's selon la norme SN EN 12350-8.

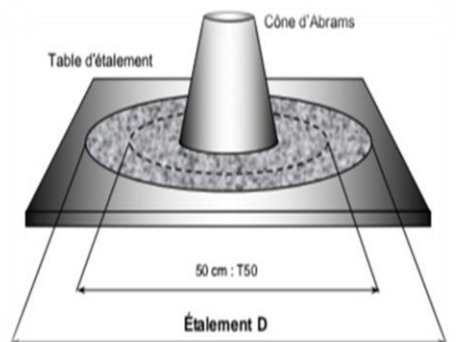


Fig. I 7. Essai d'étalement au cône d'Abram (slump flow).

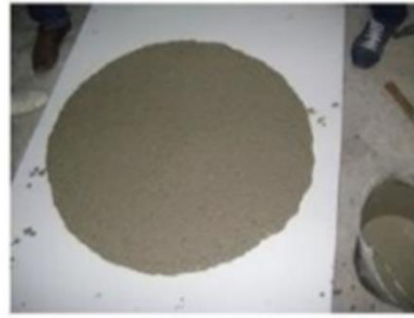
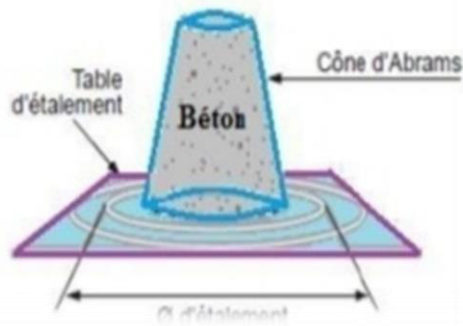


Fig. I.8. L'essai d'étalement

I.3.2.2. L'essai de boîte en L :

Cet essai est destiné à tester la facilité de l'écoulement du matériau en milieu confiné. On remplit la partie verticale de la boîte en L de béton, on mesure la différence de la hauteur dans les parois verticales et horizontales et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage H_2/H_1 comme il est montré dans la figure 1.9 [17]

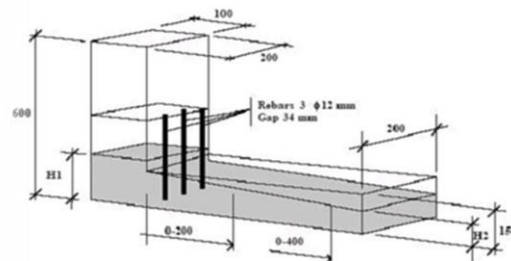
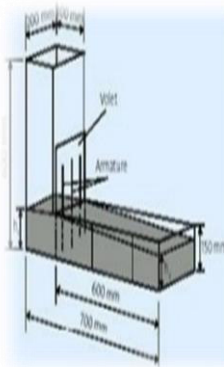


Fig. I.9. Représentation schématique de l'essai à la boîte en L.

I.3.2.3. Essai de Stabilité au tamis :

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons auto plaçant, il vise à qualifier des bétons auto plaçant vis-à-vis du risque de ségrégation (Figure 1.10)

Il peut être complété les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance (plaisances) d'un échantillon de béton ($4,8 \pm 0,2$ kg) passant à travers tamis de 5 mm les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton auto plaçant sont divisés en trois classes [18]

- ❖ $0\% \leq \pi \leq 15\%$ stabilité satisfaisants.
- ❖ $15\% < \pi < 30\%$ stabilité critique, l'essai à refaire in situ.
- ❖ $\pi > 30\%$ stabilité très mauvaise, béton inutilisable.

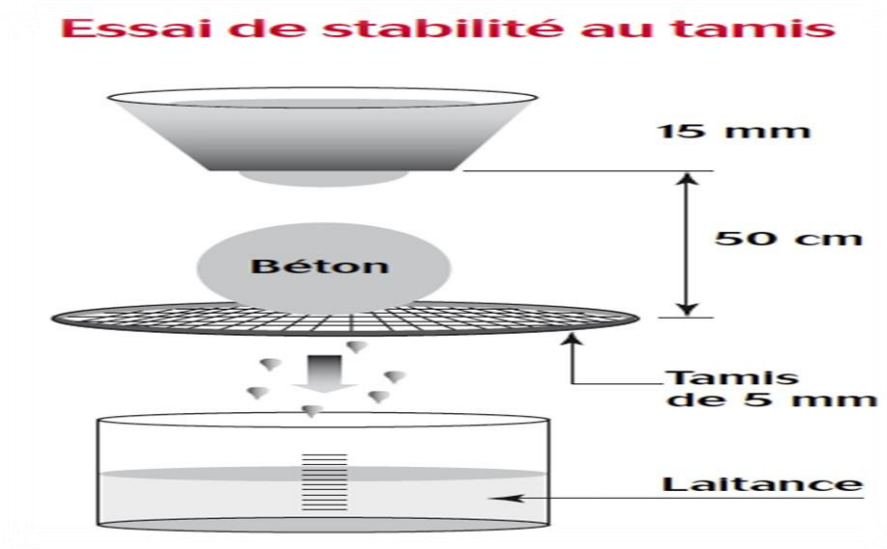


Fig. I.10. Essai stabilité de tamis.

I.3.2.4 Essais de caractérisation à L'état durci :

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation.

- les essais de compression ;
- les essais de traction par flexion ; [17]

I.3.2.5.Essai de compression :

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisées sur des éprouvettes cubiques $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ conformément aux prescriptions de la norme ce test fournit la force de compression [N]

Qui génère la rupture de l'échantillon (Figure I.11) la contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée. [19]

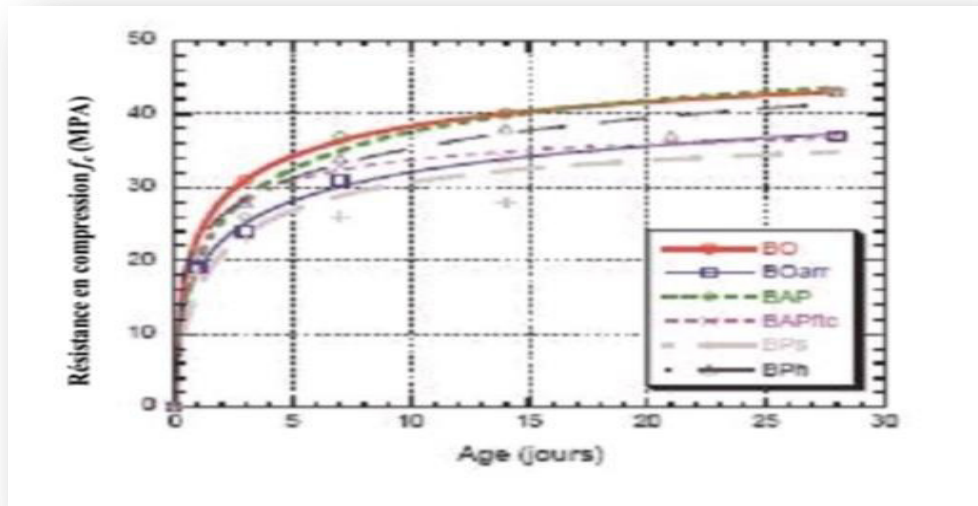


Fig. I 11. Résistance en compression de différents mélanges [17]



Fig. I 12. Mesure de la résistance à la compression

I.3.2.6. Essai sclérométrique :

Le scléromètre est appareil relativement simple d'utilisations, il est de satine à mesurer, indirectement, la résistance à la compression du béton à partir de la mesure de sa dureté superficielle. Il existe une relation empirique de corrélation entre cette résistance et un indice dit "indice sclérométrique " [20]



Fig. I.13. Essais sclérométrique

I.3.2.7 Essai traction et flexion :

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans l'élément des ouvrages (figure 1.13) les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont prismatique de dimensions $7 \times 7 \times 28 \text{ cm}^3$ la résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivants :

$$S = MF.a/2.I$$

Avec le moment de flexion:

$$M_f = F.L/4$$

Où F: est la charge de rupture

L: la portée

I : l'inertie de flexion

A: le cote du prisme [17]



Figure 1.13: l'essai de flexion

I.3.2.8. Essai d’auscultation dynamique :

Connu depuis longtemps cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques traversant le béton. [20]

Principe d’auscultation dynamique [NF EN 12504-4] : La méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, à parcourir une distance connue. Les principales caractéristiques de tous les appareils comprennent un générateur d’impulsions et un récepteur d’impulsions.

La fréquence de générateur d’ondes est comprise entre 10 et 150 HZ. Certains facteurs influents toutefois sur la prise de mesures [24] :

- ⊗ Les ondes sonores se déplacent plus vite à travers un vide rempli d’eau qu’à travers un vide rempli d’air.
- ⊗ La surface sur laquelle l’essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l’appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d’employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs.
- ⊗ Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l’eau ; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n’est pas subordonnée à la température.

Détermination de la vitesse de propagation des ondes : Liée essentiellement à la masse volumique et le coefficient dynamique du béton. On définit par l’équation suivante :

$$V^2 = E_d \cdot (1 - \nu) / P(1 + \nu) \nu$$

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tel que l’âge du béton, les conditions d’humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures [20].

Tableau I. 1 Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions selon Leslie.

Qualité	Excellente	Bonne	Douteuse	Mauvaise	Très Mauvaise
Vitesse de propagation m/s	Supérieure à 4000	3200-4000	2500-3200	1700-2500	Inférieurs à 1700

I.4 Les Avantages de BAP :

Les avantages des BAP sont :

- ☒ très fluides
- ☒ Absolument homogènes
- ☒ Mise en œuvre sans vibration [20]

I.5.Méthodes de formulations des BAP :

I.5.1 Méthode japonaise :

Méthode basée sur l'optimisation du mortier :

La formulation des BAP par l'approche développée à l'université de Köchi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les Bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique.

Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main-d'œuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

a) Dosage des gravillons :

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume de gravillon pour 1m^3 de béton est limité de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

A défaut d'indication, nous avons choisi des mesures en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0.57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en, 10/ 14[20]

Dosage du sable :

Le volume du sable est de 40% du volume de mortier en béton. En réduisant la friction granulaire, la liquidité en béton est garantie.

Dosage du liant :

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes. Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance. [14]

Dosage de l'eau et du super plastifiant:

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. Nous réalisons des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.[14]

I.5.2 Méthode Suédoise :

La méthode suédoise est proposée par Peterson et al en 1996. Elle est basée sur l'étude effectuée par Tang et al en 1995. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport (G/S) final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées.

Les fines, l'eau et le super plastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat. [14]

I.5.3 Méthodes Française :

Méthode française proposée par De Larra rd et al en 1994, au LCPC. Un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange.

Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- ✓ Les distributions granulaires,
- ✓ Les proportions du mélange,
- ✓ La compacité propre,
- ✓ La densité apparente.

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :

- ✓ La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple);
- ✓ Le dosage, à saturation, du super plastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente ;
- ✓ Le besoin en eau de ce mélange (en présence du super plastifiant) est déterminé.
- ✓ Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

CHAPITRE I

Etude Bibliographique sur le Béton Auto plaçant(BAP)

- ✓ La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104, la teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion (liant/filler) est maintenue constante. Les proportions (granulats/ phase liante) sont optimisées.

Une formulation de béton auto plaçant est donc proposée, basée sur les prévisions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en super plastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton auto plaçant sont atteintes.[20]

I.6 Conclusions

Cette recherche bibliographique nous a permis de présenter a été réalisée afin d'identifier concrètement auto plaçant la but est de les identifier , ainsi que présents les principaux essais de caractérisation de cette béton à l'état frais ajouter à l'état durci et résumer les principales méthodes de sa formulation .

- Les bétons auto plaçant est un béton qui s'appuie sur lui –même par gravité, sans aucune apport d'énergie de pression (vibration et remplissage).
- Les propriétés distinctives de ce béton à l'état frais sont :
 - ✚ Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation.
 - ✚ Capacité à traverser des espaces confinés, excellente capacité à remplir chaque coin et recoin du coffrage avec du béton homogène, même en présence d'armatures denses, Ainsi, le travail de vibration ne se fait pas

Le béton est qualifié d'auto plaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Très grand détail un certain nombre de tests empiriques ont été développés pour caractériser

Les bétons par rapport aux propriétés maniabilité.

Des essais des principales propriétés du béton auto plaçant :

À l'État frais :

- ✓ Essai évaluant la fluidité (étalement).
- ✓ L'essai de boîte en L.
- ✓ Essai de Stabilité au tamis.

À l'État durci :

- ✓ Essai de compression.
- ✓ Essai sclérométrique.

CHAPITER I

Etude Bibliographique sur le Béton Auto plaçant(BAP)

- ✓ Essai traction et flexion.
- ✓ Essai d'auscultation dynamique.

Et en fin donner les avantages de ce type de béton et les méthodes la formulation de BAP.

CHAPITRE II
VALIORISATION DES
Déchets

II.1 Introduction

Pendant plusieurs décennies, la quantité de déchets provenant des chantiers de construction a augmenté en raison de l'augmentation des activités architecturales et des activités commerciales publiques. Les industries de l'Algérie sont très responsables de pays, comme les industries pétrochimiques, chimiques, métallurgiques et minérales.

L'évaluation des déchets en génie civil : est un secteur important dans la mesure où les produits que l'on souhaite obtenir ne sont pas soumis à des critères de qualité trop rigoureux. Le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact économiques et l'impact environnemental. Avant de valoriser un déchet , il faut connaître son comportement dans le temps et d'analyser leur origine ,de caractériser l'état actuel et leur comportement au fil du temps , et d'évaluer le traitement .

Par conséquent, c'est "savoir agir et mesurer ce que vous savez". Avec une approche générale des déchets, vous pouvez définir l'avenir, le type d'évaluation que vous souhaitez choisir." Dans des conditions qui peuvent provoquer des effets nocifs sur le sol.

Les phases végétales et les phases animales, les personnes qui produisent ou détiennent des déchets en déchets et paysages, polluer de l'air et de l'eau et deviennent du bruit pour générer des odeurs et généralement ils nuisent à la santé humaine et aux dommages, cet environnement doit "exclure conformément aux dispositions de l'environnement «et évite de tels effets.

Ce chapitre décrit plusieurs types de technologies de traitement de déchets par conséquent, recyclez et réutilisez les déchets dans le domaine du génie civil.

I.2 Recyclage des déchets :

II.2.1 Définition d'un déchet :

Un déchet est comme <<Tout résidu d'un processus de production , de transformation , ou d'utilisation , toute substance , matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol , la flore et faune , à dégrader les sites ou les paysages , à polluer l'air ou les eaux , à engendrer des bruits ou des odeurs .D une façon générale , à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement .[21]

II.3 Les différents types de déchet

Les déchets peuvent être divisés en différentes catégories, selon sa nature, son origine ou son caractère toxique :

II.4 Déchets ultimes

La loi du 13 juillet 1992 fournit le concept de déchets et fournit définitions suivantes : <<un déchet, résultant ou non du traitement d'un déchet, qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économique du moment, notamment par l'extraction de la part valorisable ou e son caractère polluant ou dangereux>>.

Au final, seuls les déchets non incinérés par recyclage ou valorisation énergétique pourront être enfouis

Les déchets ultimes issus des usines d'incinération d'ordures ménagères et déchets assimilés, dénommés mâchefers, peuvent être transformés après traitement en granulats et utilisés pour réaliser les fondations de route [22].

II.5 Déchets ménagers et assimilés :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage, il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersée [23]

II.6 Déchets inertes :

Déchets qui subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants :

Les bétons les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux [24].

II.7 Déchets dangereux :

II.7.1. Déchets industriels spéciaux (DIS):

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.... [25]

II. 7.2 Déchets ménagers spéciaux (DMS) :

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé. [26]

II.8. Déchets verts :

Ce sont les déchets végétaux des parcs et jardins (gazon, branchages...)[25]

II.9. Déchets organiques :

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

❖ Déchets végétaux des parcs et jardins (déchetts verts) [25]

❖ Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc....- boues [25].

II. 10. Déchets non dangereux des activités économiques :

Il s'agit de déchets d'entreprises qui s'apparentent, par leur nature et leur composition, aux déchets ménagers tels que les déchets liés aux activités de commerce, les déchets de construction et les déchets desservies publics (école, administration, etc.). La loi considère d'ailleurs qu'ils sont « assimilables aux déchets ménagers » et peuvent ainsi être collectés et éliminés comme des déchets ménagers [27].

II.10. 1. Les déchets industriels banals (DIB):

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie. Les déchets non dangereux et non inertes, dits industriels banals sont de même nature que les ordures ménagères. Ce sont :

- Les bois non traités ou traités avec des produits non dangereux (emballages, coffrages, menuiseries, planchers...),
- Les plastiques en PVC, polystyrène, polypropylène (canalisations, menuiseries, revêtements de sols, emballages...),
- Les métaux ferreux et non ferreux tels que l'aluminium, le cuivre, l'acier, le zinc (toitures, matériels électriques, canalisations, équipements...),
- Les revêtements muraux et de sol textiles,
- Le polystyrène expansé, le polyuréthane,
- Les produits mélangés issus de chantier de réhabilitation • Les peintures, vernis, colles, mastics, qui ne comprennent ni solvants organiques, ni substances dangereuses. [26]

II.10 .2. Les déchets médicaux et pharmaceutiques :

tout déchet issu des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, palliatif ou curatif dans les domaines de la médecine humaine ou vétérinaire et tous les déchets résultant des activités des hôpitaux publics, des cliniques, des établissements de la recherche scientifique, des laboratoires d'analyses opérant dans ces domaines et de tous établissements similaires. [28]

II.10.3. Gestion des déchets :

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement (le traitement de rebut), la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique ou l'agrément local. La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. [25]

II.10.4 Principes de gestion des déchets :

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays ou les régions. La hiérarchie des stratégies (règle des trois R) :

- Réduire.
- Réutiliser.
- Recycler.[25]

II.10.5. Technique de gestion des déchets

II.10.5.1 Décharge :

Stocker les déchets dans une décharge est la méthode la plus traditionnelle de stockage des déchets, et reste la pratique la plus courante dans la plupart des pays. Historiquement, les décharges étaient souvent établies dans des carrières, des mines ou des trous d'excavation désaffectés. Utiliser une décharge qui minimise les impacts sur l'environnement peut être une solution saine et à moindre coût pour stocker les déchets ; néanmoins une méthode plus efficace sera sans aucun doute requise lorsque les espaces libres appropriés diminueront.[25] .

II.10.5.2 Incinération:

L'incinération est le processus de destruction d'un matériau en le brûlant. L'incinération est souvent appelée « Énergie à partir des déchets » ou « des déchets vers l'énergie » ; ces appellations sont trompeuses puisqu'il y a d'autres façons de récupérer de l'énergie à partir de déchets sans directement les brûler (voir fermentation, pyrolyse et gazéification). [25] Elle est connue pour être une méthode pratique pour se débarrasser des déchets contaminés, comme les déchets médicaux biologiques. Beaucoup d'organisations utilisent aujourd'hui l'exposition des déchets à haute température pour les traiter thermiquement (cela inclut aussi la gazéification et la pyrolyse). [25] Cette technique inclut la récupération du métal et de l'énergie des déchets solides municipaux comme le stockage adapté des résidus solides (mâchefers) et la réduction du volume des déchets. [25]

L'incinération est une technique éprouvée et répandue, en Europe comme dans les pays en voie de développement, même si elle est soumise à controverse pour plusieurs raisons. [25]

II.10.5.3. Compost et fermentation :

Les déchets organiques, comme les végétaux, les restes alimentaires, ou le papier, sont de plus en plus recyclés. Ces déchets sont déposés dans un composteur ou un digesteur pour contrôler le processus biologique de décomposition des matières organiques et tuer les agents pathogènes.[25] Le produit organique stable qui en résulte est recyclé comme paillis ou terreau pour l'agriculture ou le jardinage. Il y a un très large éventail de méthodes de compostage et de fermentation qui varient en complexité du simple tas de compost de végétaux à une cuve automatisée de fermentation de déchets domestiques divers.[25] Ces méthodes de décomposition biologique se distinguent en aérobie, comme le compost, ou anaérobie, comme les digesteurs, bien qu'il existe aussi des méthodes combinant aérobie et anaérobie.[25]

II.10.5.4. Traitement biologique et mécanique :

Le traitement biologique et mécanique (TBM) est une technique qui combine un tri mécanique et un traitement biologique de la partie organique des déchets municipaux. Le TBM est aussi parfois appelé TMB (traitement mécanique et biologique) cela dépend de l'ordre dans lequel s'effectuent les opérations. [25] La partie « mécanique » est souvent une étape de tri du vrac. Cela permet de retirer les éléments recyclables du flux de déchets (tels les métaux, plastiques et verre) ou de les traiter de manière à produire un carburant à haute valeur calorifique nommé combustible dérivé des déchets qui peut être utilisé dans les fours des cimenteries ou les centrales électriques. La partie « biologique » réfère quant à elle à une fermentation anaérobique ou au compostage.

La fermentation anaérobique détruit les éléments biodégradables des déchets pour produire du biogaz et du terreau. Le biogaz peut être utilisé pour créer de l'énergie renouvelable. La partie « biologique » peut aussi faire référence à une étape de compostage. Dans ce cas les composants organiques sont traités par des micro-organismes à l'air libre. Ils détruisent les déchets en les transformant en dioxyde de carbone et en compost. Il n'y a aucune énergie produite par le compostage. TBM est de plus en plus reconnu comme une méthode efficace dans les pays où les techniques de gestion des déchets évoluent comme le Royaume-Uni ou l'Australie, pays où la compagnie WSN Environnemental solutions a pris une position majeure dans le développement des usines de type TBM. [25]

II.10.5.5. Pyrolyse et gazéification :

La pyrolyse et la gazéification sont deux méthodes liées de traitements thermiques où les matériaux sont chauffés à très haute température et avec peu d'oxygène. Ce processus est typiquement réalisé dans une cuve étanche sous haute pression. Transformant les matériaux en énergie cette méthode est plus efficace que l'incinération directe, plus d'énergie pouvant être récupérée et utilisée.[25] La pyrolyse des déchets solides transforme les matériaux en produits solides, liquides ou gazeux. L'huile pyrolytique et les gaz peuvent être brûlés pour produire de l'énergie ou être raffinés en d'autres produits.[25] Les résidus solides (charbon) peuvent être transformés plus tard en produits tels les charbons actifs. La gazéification est utilisée pour transformer directement des matières organiques en un gaz de synthèse appelé syngaz composé de monoxyde de carbone et d'hydrogène.[25] Ce gaz est ensuite brûlé pour produire de l'électricité et de la vapeur. La gazéification est utilisée dans les centrales produisant de l'énergie à partir de la biomasse pour produire de l'énergie renouvelable et de la chaleur. [25]

II.10.6. Déchets utilisés comme granulats du béton :

II.10.6.1 Déchet de faïence :

Les faïences peuvent être définies comme des produits céramiques dont la pâte poreuse. Et pas conséquent perméable. Et recouverte d'une composition vitrifiable destinée à remédier à cette perméabilité.[29]

Les déchets de faïence sont des matériaux inertes ou résidus qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. [29]

Ces déchet sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries fabrication de matériaux de construction.[29]



Fig. II. 1 déchet de faïence [29]

II.10.6.2 Déchets de la démolition :

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. [29]

Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être utilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf.[29]

Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités du maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton.[29]



Fig. II. 2 Déchets de démolition [29]

II.10.6.3 Déchet de Pneus :

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité. [30]



Fig. II. 3 Déchet de Pneus.[29]

II.10.6.4 Les déchet de brique :

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel [31].



Fig. II. 4 déchet de Brique.[29]

II.10.6.5 Déchet de Verre :

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

récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%. [32].

Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m^3 par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C . [32] Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours. [32] Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulats pour le béton.

Les additifs font varier les propriétés physiques et mécaniques du verre. Néanmoins, il garde tout de même des caractéristiques générales : isolant (très faible conductivité thermique et électrique), dur (difficile à percer et à rayer), étanche aux gaz, aux liquides, résistant à la chaleur, facilement stérilisable, inerte chimiquement, transparent. [32].



Fig. II. 5 déchet de verre [29]

II.10.6.6 Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent

pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [33].

Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé [34].



Fig. II. 6 Les déchets de chantier [29]

II.10.6.7 Les déchets plastiques :

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types de déchets plastiques :

- Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisations, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grande majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).

Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,...). On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opérations de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. [35]



Fig. II. 7 différent type de déchet plastique [29]

II.10.6.8 Déchet de bois:

Le bois manufacturé représente la plus grande partie du bois que nous utilisons et qui se termine toujours en déchet. Il n'est pas réutilisable principalement en raison des produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis.....) qui sont utilisés pendant toute sa vie. Sa seule réutilisation, de façon marginale, sont les panneaux de particules que l'on obtient aussi avec de la colle et des produits injectés. [29].

Le bois en fin de vie devrait être détruit, en centrale spécifique comme le demandent certains textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brûlé soit dans vos cheminées soit dans les centrales où les produits nocifs sont soit éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage ...) et cela rarement pour le bien de notre santé.[29]



Fig. II. 8 différent type de déchet de bois[29]

II.10.6.9 Les déchets métalliques :

Est un métal ferreux, un alliage de fer et de carbone (entre 1.5% et 3%) auquel on ajoute d'autres éléments dans des proportions variables pour parvenir aux caractéristiques mécaniques souhaitées. Les déchets de métaux ferreux sont souvent appelés des ferrailles .ce terme désigne à la fois :

Les chutes de fabrication apparaissant entre l'opération de fusion du métal, la mise en forme et la consommation. il existe trois grands gisements d'acier :

- ✓ la gisement professionnel qui est lié soit à la sidérurgie(chutes d'acier ou de fonte des sidérurgistes), soit aux fabrications elles – mêmes(hautes d'acier des usines de transformations), les produits en fin de vie (matériel électrique , épaves de navires , automobiles),emballages industriels(futs , bidons qui servent à emballer les produits industriels liquides ,...).
- ✓ le gisement ménager, avec d'une part les monstres qu'on retrouve dans les déchèteries, les décharges : vieux équipements ménagers blancs, réfrigérateurs, lave – linge.), et d'autre part les emballages ménagers, autre fois connus sous le sigle des aciers pour emballages (APE).

La principale caractéristique des ferrailles est leur propriété monétique qui les rend séparables par électro-aimant.

Les ferrailles récupérées sont valorisées en grande majorité par la sidérurgie (essentiellement en aciérie) et par les fonderies de fonte et d'acier. Le taux de recyclage en France dépasse les 50%, le reste étant exporté essentiellement vers l'Italie et l'Espagne. Quelques données françaises sur ce marché :

- ✓ Marché production d'acier : 18 millions de tonnes.
- ✓ Importance dans les ordures ménagères : 500.000 tonnes d'emballages acier ménagers.
- ✓ Traitement /Utilisations : Toutes utilisations de l'acier. [36]

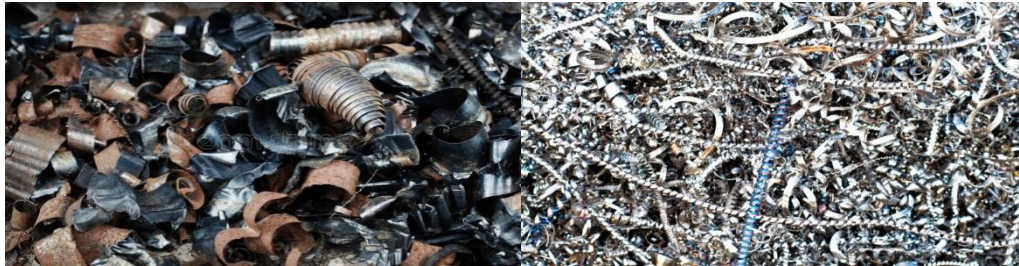


Fig. II. 9 Déchets métalliques [37]

II.10.6.10 Ciment durci :

Dans le cas où un sac de ciment est en contact avec l'eau, la poudre se cristallise. Cette recristallisation du ciment est suivie d'une réaction d'hydrolyse. Ces deux réactions sont rapides et provoquent le durcissement du ciment. Il devient inutilisable comme liant sur le chantier. Le ciment ainsi durci devient automatiquement un déchet. Il peut être concassé et utilisé comme granulats de béton. Ce déchet est produit accidentellement ou par négligence, il est donc important d'éliminer le ciment durci et d'œuvrer pour empêcher sa production.



Fig. II. 10 Ciment durci [38].

II.6.10.11 Déchets de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris pouvant présenter des veines ou des fossiles. Certains types de marbre portent des noms particuliers, par exemple le cipolin ou la griotte. Le marbre désigne un carbonate de calcium à tissu compact ou cristallin qui se laisse rayer et réagit aux acides de plus ou moins siliceux ou argileux, il se présente en épaisseur homogène ou diversement mélangé à d'autres matières, sa densité est élevée en moyenne de 2,27. La classification des marbres est fondée sur les teintes ou les dessins : outre le blanc ils existent des variétés, beiges, bleus, roses, gris jaunes, rouges, vertes, violettes ou noires. La production de marbre en France est faible et on constante

une régression par rapport à des pays comme l'Italie, le Portugal, et la Grande Bretagne. Les produits marbrières Algériennes sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : italiennes et françaises en particuliers .les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde :

- Sciage des masses au fil hélicoïdal, au fil diamanté et haveuse pour l'abatage et le tranchage des masses brutes de marbres naturels en carrières.[38]
- Transformation des produits finis au moyen de lames et disques, débitages secondaires et ponçages avec des pierres Ponces.[38]



Fig. II. 11 Déchets de marbres et déchets de marbre broyés [38]

II.10.6.12 Boues rouges :

Les boues rouges sont des résidus industriels issus du processus d'extraction d'aluminium à partir de la bauxite. Elles sont stockées soit au fond des océans (Exemples : Allemagne et France), soit près des usines comme au Canada. Elles sont de consistance assez plastique pour être formées en boules, chauffées à des températures de 1260 à 1310°C, elles sont transformées en granulats denses et résistants pouvant entrer dans la composition de bétons de résistances convenables.[38]



Fig. II. 12 Boues rouges [38].

II.11 Conclusions

Considéré comme déchets sont un vrai problème , ancré dans toute vie biologique et toutes les activités industrielles , agricoles et urbaines , et à ce titre , par conséquent , il est nécessaire de recherche des solutions pour réduire ce problème .

Différents déchets sont utilisés en fonction de la rentabilité de leurs opérations et de leurs caractéristiques. De nombreux types de déchets peuvent ne pas être largement utilisables en raison de leurs propriétés physiques et chimiques variées.

Le recyclage des déchets a pris beaucoup de place lorsque la portée de la construction comprenait pour réduire et valoriser les déchets dans le développement de matériaux de construction sur les chantiers.

CHAPITRE III

**Caractéristiques des
matériaux utilisés et
composition du béton**

III.1 Introduction

Dans cette section, nous intéressons à la présentation des matériels et méthodes utilisés. Réalisation de divers tests empiriques pour la recherche. Tous les essais sur béton.

L'objectif de notre travail est d'évaluer l'effet de la substitution d'une partie du sable par des grains métalliques sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durcis et de valoriser les déchets métalliques. Les pourcentages de substitution varient de 5%, 10% et 15%.

III.2. Caractéristiques des matériaux utilisés et composition du BAP

Les essais sur les matériaux utilisés pour la confection du béton ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'Sila. Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable d'origine siliceux provenant d'OUED MAITER de Boussaâda « M'Sila »
- ✓ Deux fractions de gravier concassé (3/8, 8/16) l'origine calcaire COSSIDER à (ELECHE) BBA.
- ✓ Ciment CPJ 42.5 N et provenant de la cimenterie Lafarge de Hammam Dalaa « M'Sila »
- ✓ Grains métalliques
- ✓ L'adjuvant : MEDAPLAST SP 40 super plastifiant haut réducteur d'eau provenant de la société Granitex – Oued Smar.
- ✓ L'ajout : le filler (farine de marbre de fraction 0,08mm)
- ✓ L'eau de gâchage et de conservation : eau potable du laboratoire.

III.2.1. Le sable

III.2.1.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.

Mode opératoire :

- ✓ Prélever une masse de 2 Kg de matériau (sable sec).
- ✓ Peser chaque tamis à vide, soit la masse du tamis.
- ✓ Constituer une colonne de tamis propre et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimer en mm) [5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0,08-fond].

- ✓ Verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- ✓ Peser chacun des tamis.
- ✓ On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.
 - ✓ A la fin tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1 g près, soit M_i : la masse de tamis(i) + le sable.
- ✓ Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1).
- ✓ Reprendre ma même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
- ✓ Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , soit R_2 la masse de refus m de tamis 2 ($R_2 = R_1 +$ refus partiel sur tamis 2).
- ✓ Pour suivre la même opération avec la rente des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumules R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par la relation :



Fig. III. 1 Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique

Tableaux. III .Analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Refuse partiel (g)	Refuse cumulus		Tamisât
		(g)	%	%
5	0.0	0	0.00	100
1.25	0.144	0.114	7.2	92.8
0.63	0.111	0.255	12.75	87.25
0.315	1.075	1.33	66.5	33.5
0.16	0.595	1.925	96.25	3.75
0.08	0.065	1.99	99.5	0.5
FOND	0.004	1.994	99.7	0.3

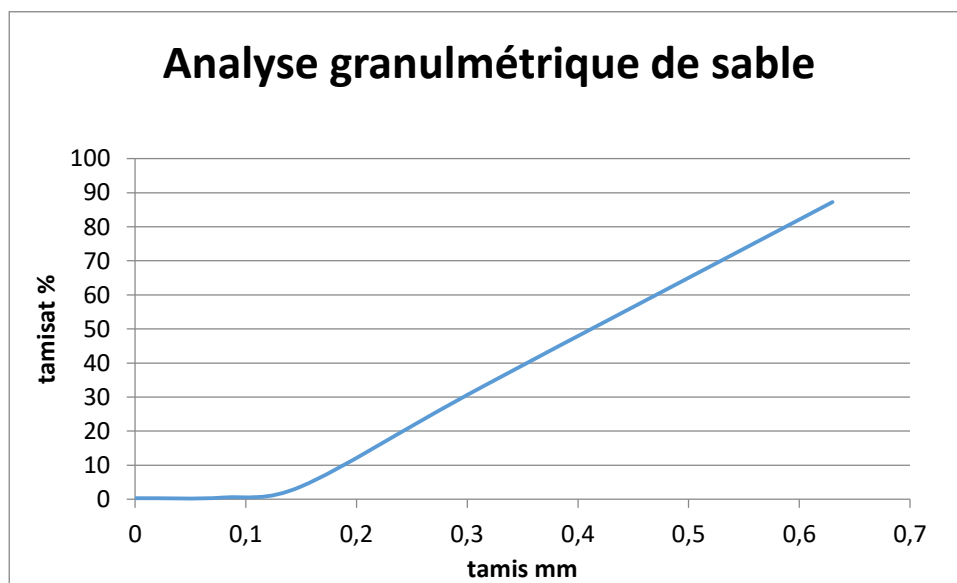


Fig. III. 2 Courbe granulométrique de sable

III.2.1.2. Caractéristiques physiques du sable :

III.2.1.2.1. La masse volumique absolue

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieure des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en (g/cm³,kg/m³,T/m³)

Mode opératoire :

_ peser un échantillon sec M=300g de granulats

_ Remplir l'éprouvette échantillon gradué avec un volume d'eau V1=300 ml

_ Introduire les granulats dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air

_ lire le nouveau volume V2

_ Calculer la masse volumique absolue $P_{abs} = M/V_1 - V_2$

_ Refaire la mesure 3 fois

Tableaux. III. 1 la masse volumique absolue du sable

Designation	M(g)	V ₁ (cm ³)	V ₂ (cm ³)	P _{abs} (g/cm ³)	Moyenne
Essai 1	300	300	818	2.726	2.727
Essai 2	300	300	818	2.726	
Essai 3	300	300	819	2.730	

III.2.1.2.2 La masse volumique apparente :

La masse volumique à l'état lâche :

- On détermine la masse volumique apparente du sable d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2,5l

On remplit l'entonnoir avec du sable sec

On pèse le récipient de capacité de 0,9l, soit M₁ ce poids

On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15cm, et on le remplit avec du sable.

- On nivelle la surface du sable et on pèse le tout, soit M₂ ce poids

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$Y_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

d'où :

V_R = volume de récipient

Tableaux. III. 2 La masse volumique apparente à l'état lâche VR=900l

désignation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Papp(Kg/l)	Moyenne
Essai 1	116	1386	1386	1.41
Essai 2	116	1383	1383	
Essai 3	116	1390	1390	

b) la masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains .Elle est souvent supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

Même procédure que celle de l'état lâche Après remplissage du récipient et le compactage par tassement à 30 secousses manuelle, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M la masse de l'ensemble (sable +récipient).

Tableaux. III. 3la masse volumique apparente à l'état compact

Désignation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	Papp(Kg/l)	MOYENNE
Essai 1	116	1525.1	1.56	1.56
Essai 2	116	1526.1	1.56	
Essai 3	116	1524.1	1.56	

III.2.1.2.3 Porosité et compacité et indice des vides :

- a. La porosité par la formule :

$$P=(1-Papp)/Pabs.100(\%)$$
- b. La compacité est donnée par la formule :

$$C=Papp/Pabs =1-P$$
- c. L'indice des vides par la formule :

$$E=P/C$$

Tableaux. III. 4 porosité, compacité et indice des vides

Porosité p%		Compacité c%		Indice des vides c	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	lâche	compact
41.25	35	58.75	65	0.70	0.53

III.2.1.2.4 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable et un indicateur, caractérisant la propreté d'un sable .il indique la teneur en éléments fins, d'origine essentiellement argileuse ,végétale ou organique à la surface des grains .Ce terme désigne également l'essai qui permet de déterminer cet indicateur .

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieur à500g)

- Prendre une pesée de 120g
- Remplir l'éprouvette de solution lavant jusqu'au premier repère
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai dans l'éprouvette et fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main de chasser les bulles d'air
- Laisser reposer pendant 10 minutes
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20 cm de course horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique
- Retire le bouchon, le rincer avec la solution lavant au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de cette dernière
- Faire seconder le tube lavant dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage, cette opération pour but de laver de sable et de faire montrer les éléments fins et argileux.
- Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavant atteigne le 2^e repère, laisser ensuite reposer pendant 20 minutes

a) équivalent de sable visuel (E.S.V) :

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec le réglet la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

On a :

$$E.S.P = (h_2/h_1) \cdot 100 (\%)$$

h_1 : la hauteur du sable + flocculat,

h_2 : la hauteur de sable ($h_2 - h_1$)

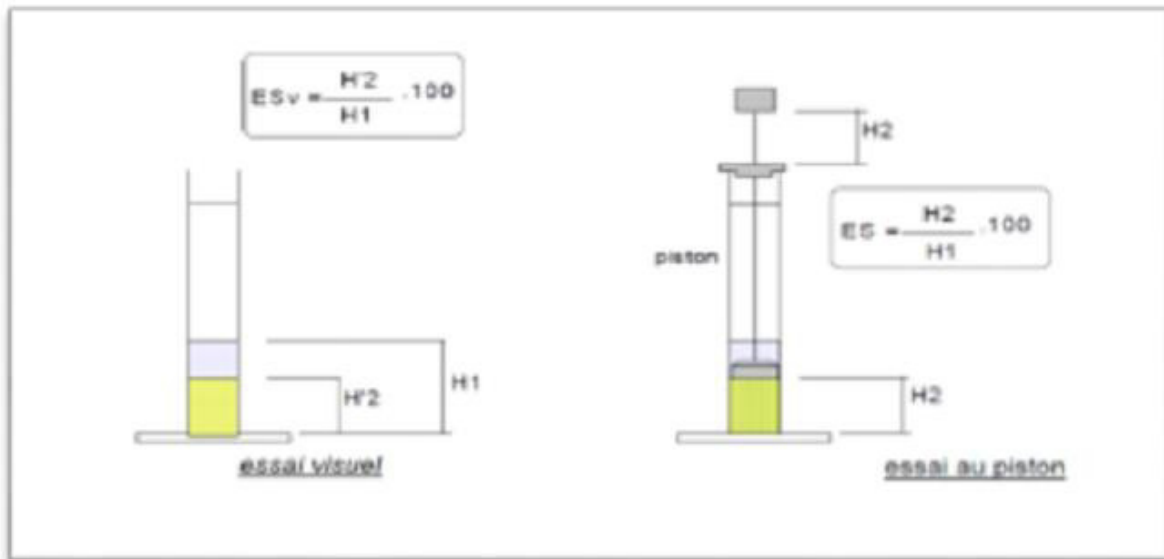


Fig. III. 3 Essai d'équivalent de sable

b) Equivalent de sable piston(E.S.P):

Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci l'éprouvette.

- Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que zéro vienne buter contre la face intérieur de la tête du piston, soit h₂ la hauteur lue et correspondant et la hauteur le partie sédimentée.

$$E.S.P=(h'_2/h_1)$$

ON a :

h₁: la hauteur du sable +floculat,

h₂: la hauteur du sable (h'₂<h₁)

Tableaux. III. 5 Equivalent de sable

Designation	h ₁ (cm)	h ₂ (cm)	E.S.V(%)	h' ₂ (cm)	E.S.P(%)
Essai 1	11.1	8.9	80.18	8.7	80.18
Essai 2	11.4	9	81.5	9	78.94
Essai 3	12.6	8.7	77.7	8.9	69.04

$$(E.S.V)_{moy} = 79.79$$

$(E.S.P)_{moy} = 76.05$

C'est un sable propre à faible pourcentage de fines argileuses et convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

III.2.1.2.6 Le degré d'absorption d'eau du sable :

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Il est défini par la formule suivante.

$$A = [(m_2 - m_1) / m_1] \cdot 100$$

Tableaux. III . Le degré d'absorption d'eau du sable

Designation	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A(%)	Moyenne
Essai 1	400	489	22.25	22.66
Essai 2	400	488	22	
Essai 3	400	495	23.75	

III.2.2. Le gravier :

III.2.2.1. Analyse granulométrique :

Les fractions de gravier utilisées sont le 3/8 et le 8/16

-fraction 3/8

-MG_{3/8} = 1.6

-fraction 3/8

MG_{8/16} = 3.2

Tableaux. III. 6 Analyse granulométrique du gravier 3/8

Tamis	Rufus partial	Rufus cumulés		Tamisât
Mm	g	g	%	%
8	0.49	0.49	8.66	100
6.3	0.449	0.939	63.6	91.33
5	1.364	2.302	82.66	36.4
4	0.581	2.883	94.13	17.33
3.15	0.063	2.946	98.33	5.
FOND	1.5	2.971	100	1.66

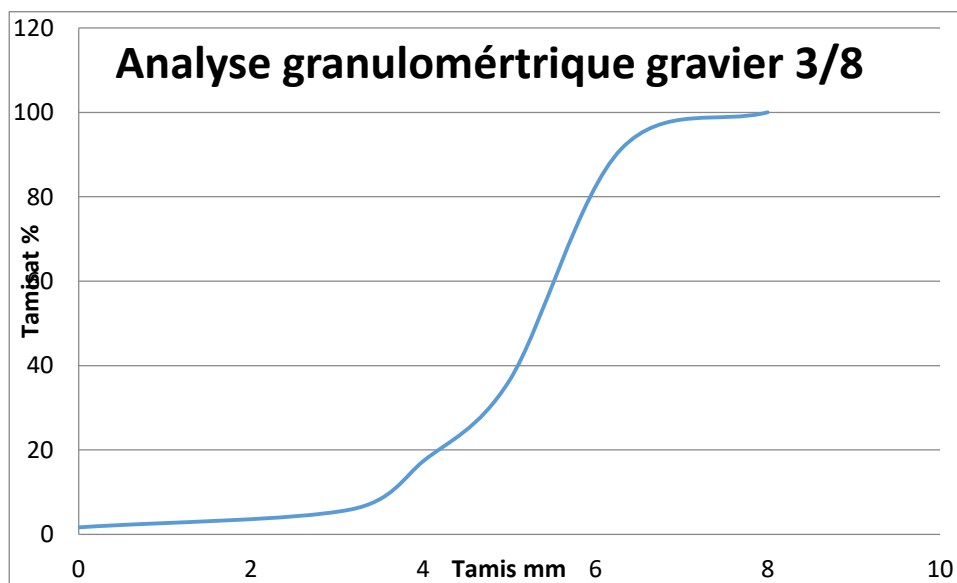


Fig. III. 4 Courbe granulométrique de Gravier (3/8)

Tableaux. III. 7 Analyse granulométrique du gravier 8/16

Tamis	Refus partiel	Rufus cumulés		Tamisât
		g	%	
16	258	258	8.06	91.94
12.5	969	1227	38.34	61.66
10	1198	2425	75.78	24.22
8	548	2973	92.91	7.09
FOND	227	3200	100	0

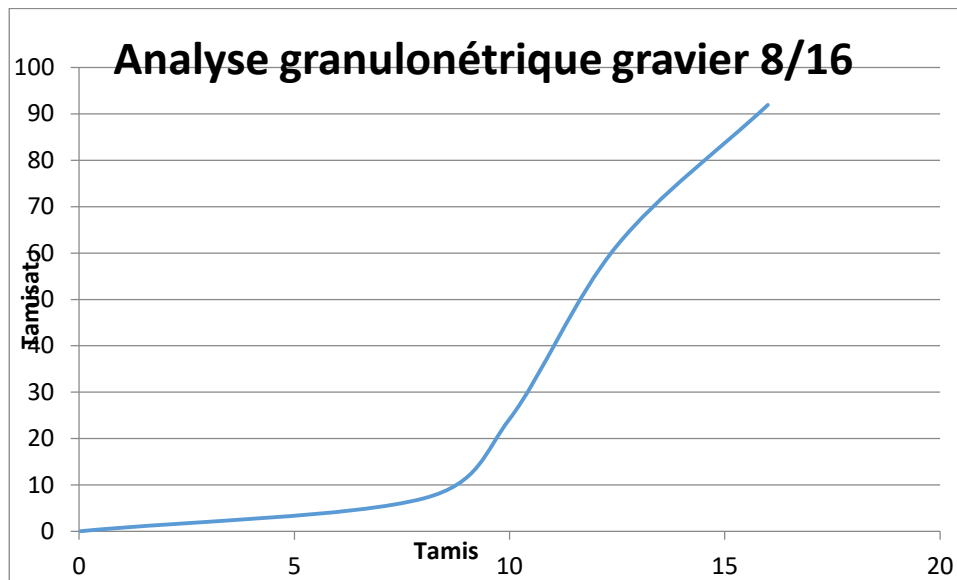


Fig. III. 5 Courbe granulométrique de Gravier (8/16)

III.2.2.2. Caractéristiques physiques du gravier :

III.2.2.2.1. La masse volumique apparente :

Le principe de cette mesure s'agit de remplir un récipient de volume intérieur connu de peser la quantité de granulat correspondant.

Mode opératoire :

Verser les granulats dans le récipient choisi et le disposer sous tassement par les couches horizontales successives.

Araser la couche supérieure des granulats à l'aide d'une règle. la masse volumiques est déterminée par la formule suivant :

$$P_{app}=(M_2-M_1)/V$$

D’où :

V : volume du récipient

M2 : poids de l'ensemble (granulat +récipient)

M1 : poids du l'ensemble

Tableaux. III. 8 la masse volumique apparente du gravier

Désignation	Gravier	V(l)	M1(kg)	M2(kg)	P _{app} (kg/l)	Moyenne
Essai 1	3/8	7.0	2.925	9.715	0.95	1
Essai 2			2.925	9.711	0.96	
Essai 3			2.925	9.759	1.07	
Essai 1	8/16	10.0	3.488	13.422	0.95	1.38
Essai 2			3.488	13.422	1.02	
Essai 3			3.488	17.432	1.39	

III.2.2.2.6 Essai de la dureté (Essai los Angeles):

Cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient los Angeles (LA), et sur le principe d'effritement par abrasion .



Fig. III. 6 appareil de l'essai los Angeles

L’essai consiste à mesure (M) d’éléments inférieurs à 1,6mm, produits par la fragmentation du matériau (diamètres compris entre 4et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine los Angeles en 500 rotations.

Si (M) est la masse du matériau soumis à l’essai et (m) la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l’essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'explique par le coefficient los Angeles LA :

Tableaux. III. 9 caractéristiques mécaniques du gravier

Gravie	Masse initial M(kg)	Masse M(kg)	Coefficient Los Angeles (%)
3/8	5	1.017	20.34
8/16	5	1.025	20.5

Tableaux. III. 10 classification du gravier en fonction du coefficient de los Angeles

Coefficient Los Angeles	Nature du gravier
<20	Trèsdure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assezdure
30 à 40	Mi-dure
40 à 50	Tendre
>50	Trèstendre

La coefficient de los Angeles du gravier 3/8 utilisé est compris <20, donc c'est un gravier Très dure.

La coefficient de los Angeles du gravier 8/16 utilisé est compris <20 , donc c'est un gravier Très dure.

III.2.3. Le ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est le ciment Portland Composé (CPJ), du ciment Mokaouem entérine Lafarge de M'sila.

Le ciment Mokaouem est un ciment gris pour bétons de la haute performance de la classe NA 442-CEM.



Fig. III. 7 Ciment portland Composé (CPJ) MOKaouem

III.2.4 Les adjuvants

Sont des produits incorporés au moment du malaxage du béton à dosage inférieur à 5% en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propres du mélange à l'état frais et ou du durci, (norme 934-2).

L'adjuvant utilisé est le MEDAPLAST40 qui est un super plastifiant haut réducteur d'eau

III.2.5 Les grains métalliques :

C'est un matériau composé de petites particules de fer métallique. Les particules sont suffisamment petites pour ressembler à du sable noir, le diamètre de celui-ci être presque 1mm et la masse volumique est 2 g/ml.



Fig. III. 8 Grains Métalliques

III.2.6. Le filler (marbre) :

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

Tableaux. III. 11 Caractéristiques physiques du marbre

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

Tableaux. III. 12 Caractéristiques chimiques du marbre

Analyses chimique	Fines marbre
SiO ₂	1.47
CaO	55.3
MgO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	0.35
Na ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.04
SO ₃	0.01
Perte au feu	42.65

III.2.7. L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil.

Tableaux. III. 13 Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage

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

III.3. Formulation du béton auto plaçant :

III. 3 .1. Préparation de la gâchée :

La préparation du béton auto plaçant demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer plusieurs essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie.[39]

Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

-Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique et cubique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage. [39]

- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.

-Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.

-Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le super plastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.

-Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, marbre) et les introduire dans le malaxeur.

-Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.

-Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).

- Ajouter les trois quart d'eau graduellement. [39]

- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.

-Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, marbre) et les introduire dans le malaxeur.

-Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.

-Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).

- Ajouter les trois quart d'eau graduellement.

- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.

-pour un BAP avec les grains métalliques substitution d'une partie du sable par des grains métalliques. Les pourcentages de substitution varient de 5%,10% et 15%.

- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration. [39]

III. 3. 2. Conservation des éprouvettes :

Après le gâchage pour un béton ordinaire ou pour un BAP, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h d'hydratation du ciment. [39]

III. 3.3. Formulation de béton auto plaçant :

Pour la formulation du béton auto plaçant nous n'avons pas suivi une formulation classique.

Nous avons respecté les conditions nécessaires permettant de garantir l'autoplaçabilité tout en se basant sur des compositions proposées dans la littérature spécialisée. [39]

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m^3 de béton en ayant comme données les paramètres suivants :

- ◆ Un rapport G/S = 1.
- ◆ Un rapport E/C = 0.5.
- ◆ Un dosage en ciment plutôt élevé $C = 420 \text{ kg/m}^3$
- ◆ Un pourcentage déterminé en ajouts (super plastifiant, les fillers, ou encore les deux). Le filler $F=10\%*C$, et le super plastifiant $SP40=2\%*C$. [39]

III.3.3.1. Les constituants présents dans le mélange :

$$G + S + C + E + F + SP = 1000 \text{ liters}$$

Avec :

$$E/C = 0.5 \Rightarrow E = 420 * 0.5 = 210 \text{ kg/m}^3$$

La masse volumique de l'eau est 1000 kg/m^3 ce qui implique que

$$E = 210 \text{ l/m}^3$$

Si on prend un dosage en F de 10% C

On a :

$$F = 10\% * C = 420 \text{ kg/m}^3 * 10\% = 42 \text{ kg/m}^3$$

Le filler utilisé est le marbre, et sa densité absolue égale à 2.67 Ce qui nous donne en terme de volume : $42 / 2.67 = 15.73 \text{ l/m}^3$

Le dosage du super plastifiant est : $2\% * C = 2\% * 420 \text{ kg/m}^3 = 8.4 \text{ kg/m}^3$

La densité absolue du super plastifiant SP40 est égale à 1.2

Ce qui nous donne en terme de volume : $8.4 / 1.2 = 7 \text{ l/m}^3$ La densité absolue du ciment est égale à 3.1

Le volume du ciment est : $420 / 3.1 = 135.48 \text{ l/m}^3$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

Le volume de la pâte pour 1m^3

de béton est :

$$C + E + F + SP = 135,48 + 210 + 15,73 + 7 = 368,21 \text{ litres}$$

Le volume des granulats pour 1m^3

De béton est :

$$G + S = 1000 - 368,21 = 631,79 \text{ litres}$$

Avec $G/S = 1$; On a donc: $G = S = 315,89 \text{ l/m}^3$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de 8/16 et 50% du 3/8

Gravier (3/8) : 50% = $157,94 \text{ l/m}^3$

Gravier (8/16) : 50% = $157,94 \text{ l/m}^3$

et pour le Sable : $S = 315,89 \text{ l/m}^3$

En termes de poids on a :

$$\text{Gravier (3/8)} = 157,94 * 2,67 = 421,69 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Gravier (8/16)} = 157,94 * 2,68 = 423,27 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Sable} = 315,89 * 2,627 = 827,64 \text{ kg/m}^3$$

Pour les déchets métalliques (les grains métalliques) les pourcentages de substitution varient de 5%, 10% et 15% du volume du béton.

Tableaux. III. 14 La composition des matériaux pour 1m^3 de béton

Composant	Composant en volume (l/m^3)	Composant en masse volumique (kg/m^3)
Gravier 3/8	157,94	421,69
Gravier 8/16	157,94	423,27
Sable	315,89	827,64
Ciment	135,48	420
Eau	210	210
Super plastifiant SP40	7	8,6
Filler (marbre)	15,73	42
Déchet métalliques Proportion 10%	31,58	63,16

III.4 Les compositions des différents bétons :

BAPT: Béton Auto plaçant Témoin;

BAPGM1: Béton Auto plaçant avec 5% de Déchets Métallique(les grains Métalliques) .

BAPGM2: béton Auto plaçant avec 10% de Déchets Métallique(les grains Métalliques).

BAPGM3: béton Auto plaçant avec 15% de Déchets Métallique (les grains Métalliques).

Ces les pourcentages de déchets métalliques (les grains Métalliques) c'est un rapport de compensation de sable, lorsqu'un pourcentage du sable est retiré et remplacé par des déchets Métalliques (grains Métalliques).

III.5 Conclusion

Afin de connaitre les propriétés physiques et chimiques des matériaux utilisés, nous menons un ensemble d'essais en laboratoire, et analyses minérales effectuées dans d'autres laboratoires dans le béton a été fabriqué.

Connaitre les propriétés des matériaux utilisés nous aide grandement dans l'analyse des résultats expérimentaux de ce béton.

CHAPITRE IV

Techniques Expérimentales des BAP

VI.1 INTRODUCTION :

Ce chapitre résume les essais sur le béton auto plaçant qui ont été réalisés dans le cadre de cette étude, plusieurs expériences ont été menées au laboratoire de génie civil pour déterminer les propriétés du béton auto plaçant à l'état frais et l'état durcis.

IV.2 Essais de caractérisation du béton auto plaçant à l'état frais :

Le béton auto plaçant à l'état frais a fait l'objet de nombreuses recherches dans le domaine des matériaux de construction ces dernières années, parmi les essais les plus couramment utilisés pour caractériser le béton frais auto plaçant on peut citer :

- ✚ La détermination de la consistance au cône d'Abram's.
- ✚ la détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L.
- ✚ la détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité tamis.

IV.2.1. Détermination de la consistance au cône d'Abram's :

Essai d'étalement est imposé comme l'essai le plus simple à exécuter, et il est possible de mesurer la cohérence du béton, Cet essai est effectué comme l'essai d'affaissement au cône d'Abram's cette expérience permet également de découvrir si une séparation horizontale se produit cet essai, qui peut être réalisé sur le site, ne nécessite que de petites échantillons en béton, la valeur de 60 à 75 cm est généralement destinée à obtenir BAP.

IV.2.1.1. Matériel utilisé :

- Une plaque carré 120 centimètres de côté ;
- Un cône d'Abram's ;
- Une règle de centimètres.

IV.2.1.2. Mode opératoire :

- Placer la plaque sur un support stable et horizontal (Fig. IV.1).

On mouille la surface de la planche pour éviter que le béton n'y colle, et on essuie l'excès d'eau avec un chiffon ;

Placer le cône d'Abrams au centre de la planche, en coulant le béton de manière continue, jusqu'au sommet du cône ;

Araser si nécessaire avec une truelle et nettoyer le panneau si nécessaire avec un chiffon humide ;

On soulève le cône verticalement avec des contacteurs ;

Une fois le béton étalé sur la table, nous mesurons le diamètre final sur des côtés spécifiques ;

Et notez les deux valeurs.

Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, le test doit être invalidé et renouvelé ; Le résultat final est l'évaluateur moyen obtenu. **Soit** : pendage débit = $(D1 + D2) / 2$.



Fig. IV. 1 Essai d'étalement

IV.2.2 Détermination du risque de blocage à l'aide de la boîte L :

Cet essai est exécuté à l'aide d'une boîte en forme de L. Les tests spécifiques sont autorisés dans un environnement limité et confirment que la création de béton n'est pas entravée par des phénomènes de bloc inacceptables, tels que l'existence d'armatures.

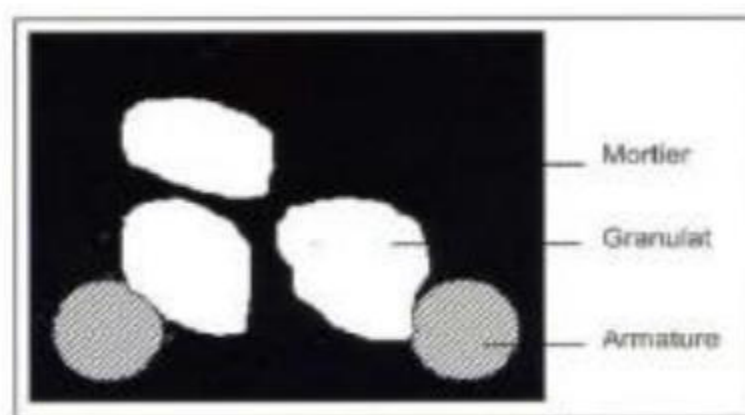


Fig. IV. 2 Blocage des granulats par la présence d'armatures [14]

Le principe de cet essai est le suivant.

→ La partie verticale de la boîte doit être entièrement remplie de béton, où la partie horizontale de la boîte à travers le renfort le béton a cessé de couler, ensuite, l'ouverture est surélevée et le béton est autorisé à s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers l'armature, lorsque le béton ne coule plus, on mesure la hauteur H1 et H2.



Fig. IV. 3 exemple de l'essai la boîte en L

- **un rapport (H2/H1) d'au moins 0.8 pour un béton auto plaçant.**

IV.2.3 Détermination de la résistance à la ségrégation par l'évaluation de la stabilité au tamis :

IV.2.3.1. Matériel utilisé :

- Un seau de 10 litres équipé d'un couvercle ;
- Un tamis de 5 mm, ainsi qu'un fond ;
- Une bascule de précision (pesée minimale de 20 grammes).

IV.2.3.2. Mode opératoire :

C'est un essai de qualification des bétons autoplaçant face au risque de ségrégation.

- Après le malaxage du béton, verser le béton dans le seau. Le temps d'attente entre l'arrêt de malaxage et le prélèvement doit être inférieur à 30 secondes Il consiste à déposer un poids de béton égal à 4.8 kg sur un tamis ayant des mailles de 5mm d'ouverture.

Couvrir le sceau pour protéger le béton de la dessiccation, et attendre 5 minutes plus tard, nous sommes une quantité pondérée qui a traversé le tamis

On calcule :

$$\Pi = \left(\frac{P_{\text{laitance}}}{P_{\text{échantillon}}} \right) \cdot 100$$



Fig. IV. 4 Essai de la stabilité au tamis

En fonction du résultat trouvé, on classe les bétons comme suit :

Tableaux. IV. 1 Classement de la formulation selon le pourcentage :

% de laitance Π	Classement de la formulation
$0 \leq \Pi \leq 15$	Stabilité satisfaisante
$15 < \Pi \leq 30$	Stabilité critique
$\Pi > 30$	Stabilité très mauvaise (béton inutilisable)

IV.3 Essais de caractérisation du béton auto plaçant à l'état durci :**IV.3.1. Essai de compression :**

Le principe de l'essai : Dans cet essai, un échantillon cubique est soumis à une force accrue et constante jusqu'à sa rupture afin de déterminer sa résistance à la compression.

a) But de l'essai :

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.

L'essai se fait sur une éprouvette cubique de dimensions normalisées $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$

b) Principe de l'essai :

Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches sans vibration.

Le démoulage se fera après une 48 heure.

L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de 20C° .

La résistance sera déterminée à 7, 14 et 28 jours.



Fig. IV. 5 L'appareil de l'essai de compression

c) Conduite de l'essai :

Une fois le temps écoulé, l'échantillon est retiré du réservoir d'eau et laissé sécher pendant 24heurs ; l'éprouvette sera placée entre les mâchoires de la machine et une lecture sera relevée .l'intensité de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs : La résistance sera: $G = F/S$

Avec :

S : section de l'éprouvette : 100 cm²

F : force au moment de la rupture.

IV.3.2 Essai de traction par flexion :

a) But de l'essai :

Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton.

C'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme de dimensions $(7 \times 7 \times 28) \text{ cm}^3$ de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.



Fig. IV. 6 L'appareil de l'essai de traction par flexion

b) Conduite de l'essai :

Lors d'un essai de flexion de trois points, la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression l'éprouvette va se casser d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité est σ_f (contrainte de traction par flexion). Le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du béton σ_{tu} un terme correctif de 0,6 ($\sigma_t = 0,6\sigma_f$)

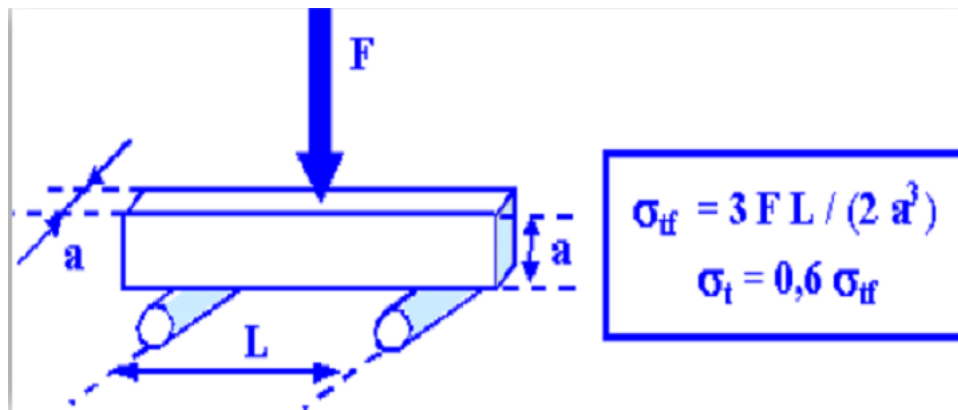


Fig. IV. 7 Formule de calcul de la résistance de traction

IV.3.4. Détermination de la résistance par les essais non destructifs

On a utilisé deux essais non destructifs :

- La méthode de dureté superficielle ou essai au scléromètre ;
- La méthode d'auscultation dynamique ou ultra son.

IV.3.4.1 Essai au scléromètre :

La méthode de dureté de surface est essentiellement configurée par une assistance en béton dans une méthode standard, en utilisant une masse spécifique activée par une certaine énergie. Cette méthode est connue sous le nom de scléromètre Schmidt.

Cet essai est l'un des plus anciens essais non destructifs, encore très utilisés aujourd'hui développe par Ernst Schmidt en (1948) et est connu sous le nom l'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre.



Fig. IV. 8 Marteau de Schmidt ou Scléromètre

a) Principe de l'essai

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse, comme présenté sur la figure (IV.10).

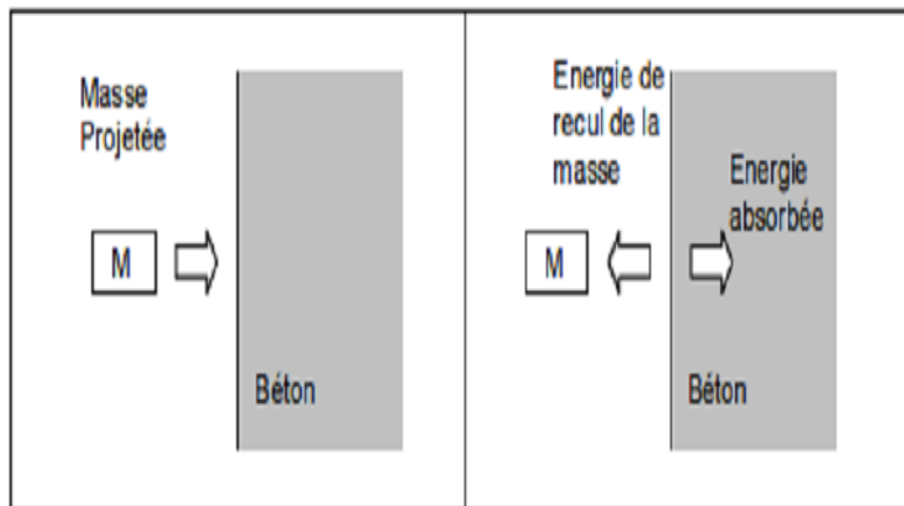


Fig. IV. 9 Principe de fonctionnement d'un scléromètre [14]

IV.3.4.2 Essai d'auscultation dynamique :

Cet essai, connu depuis longtemps, détermine la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques à travers le béton.

a) Principe de l'essai :

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. Les principales caractéristiques de tous les appareils comprennent un générateur d'impulsions et un récepteur d'impulsions. Figure (IV.11)



Fig. IV. 10 Appareil d'ultra son

IV.4 Conclusion :

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, ou nous présentons les matériaux et équipements utilisés dans notre travail, les essais réalisés en laboratoire et les méthodes utilisées pour le calcul des masses des éléments de référence en béton autoplaçant, c'est –à-dire la méthode appelé AFGC.

Dans ce chapitre, les expériences scientifiques qui ont été réalisées au laboratoire et l'équipement utilisé dans ces expériences ont été discutées, ou nous avons distingué dans cette partie en deux les états de bétons autoplaçant, l'état frais et l'état durci, et nous avons travaillé les expérimentations à partir de deux états.

La première partie nous intéresse à l'étalement de BAP à l'aide du cône d'abrams. Puis fluidité (capacité de remplissage) à l'aide d'une boîte en forme de L et la résistance de ségrégation par test de stabilité au tamis.

Deuxième partie nous intéressons aux essais à l'état durci : essai de compression, essai de traction par flexion, essai au scléromètre et essai d'auscultation dynamique.

Chapitre V

Résultats et Analyses

V.1 Introduction

Cette partie de la recherche vise à connaître les propriétés des bétons auto plaçant dans le cas de remplacement du sable par des grains métalliques par rapport au béton sans grains métalliques et évaluer son comportement.

V.2 Résultats des essais à l'état frais :

Dans cette partie, les techniques recommandées par L'AFGC ont été utilisées, les différents mélanges qui ont été fabriqués font l'objet d'un ensemble d'expérimentations à l'état frais connaître ses caractéristiques dans cet état.

Tableaux. V. 1 Résultats des essais à l'état frais

Type de béton	L'étalement (mm)	Stabilité au tamis (%)	La boîte en L (H2/H1)	Masse volumique (kg/m ³)
BAPT	630	8.4	0.88	2444
BAPGM1	650	9.69	0.90	3061
BAPGM2	700	9.80	0.98	3678
BAPGM3	700	9.85	0.96	4295

V.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abram's :

Cet essai caractérise la fluidité du béton. Les résultats obtenus sont représentés sur la **Figure. V.1**

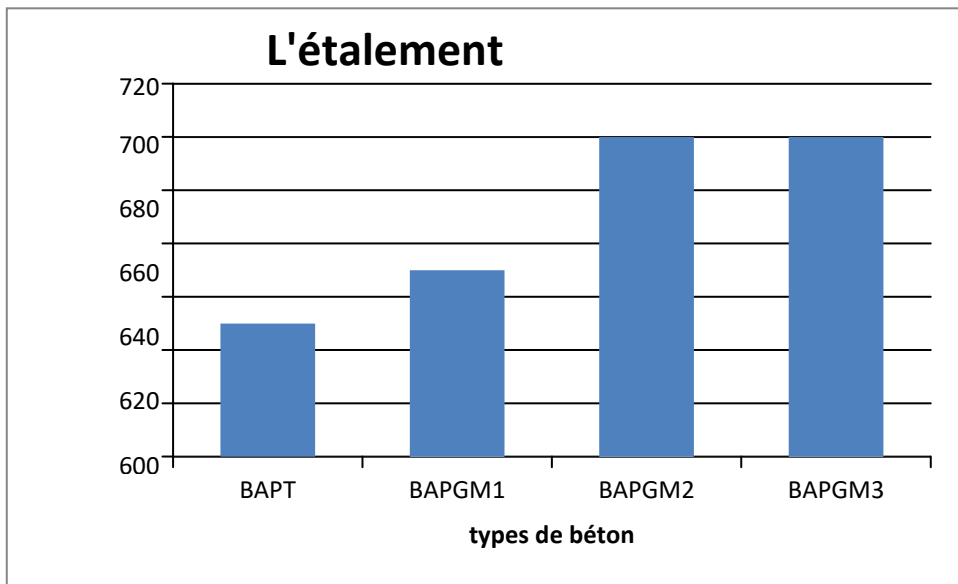


Fig. V. 1 L'étalement en fonction de type de béton

Remarque :

La valeur d'étalement est généralement définie entre 60 à 75cm, ou l'on note que tous les types de béton (BAP) coïncé entre ces deux valeurs.

Les résultats obtenus et présentés sur la figure .V.1 On note d'après les résultats obtenus que la valeur d'étalement de BAPGM supérieure que la valeur d'étalement de BAPT et qu'à chaque fois le taux de remplacement augmente l'étalement des BAPGM augmente On peut expliquer cela que les granules métalliques, avec leur surface lisse et leur faible absorption d'eau, augmentent la fluidité du béton plus que le sable.

V.2.2.Essai de la boîte en L :

L'objectif de cet essai est de déterminer la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée, sans qu'il soit contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélanges des bétons formulés) sont représentés sur la **Figure V.2**

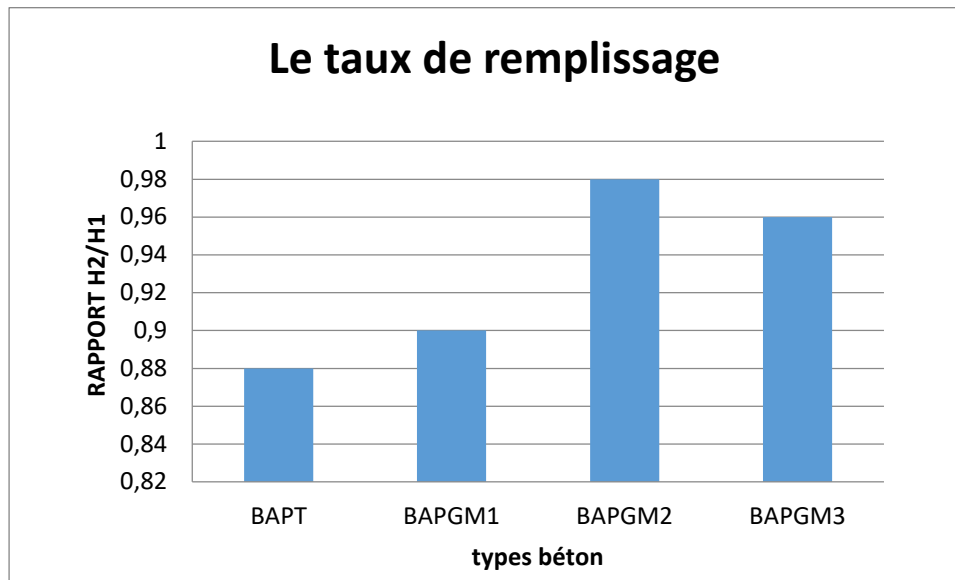


Fig. V. 2 Le taux de remplissage en fonction de type de béton

Remarque :

L'essai est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton à la fin et au début de la boîte) qui doit en principes être supérieur à 0.8ou l'on note que tous les BAP vérifiés ce principe. Et que les BAPGM n'ont pas entraînés des blocages du béton.

V.2.3.Essai de stabilité au tamis :

Cet essai caractérise la capacité d'un BAP à rester homogène après sa mise en place jusqu'au début de prise.

L'essai est celui dit " de stabilité au tamis " qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance d'un échantillon de béton passant à travers un tamis de 5 mm

Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en 3 classes.

- ✓ **0 < p laitance <15% stabilité satisfaisante.**
- ✓ **15 < p laitance < 30% stabilité critique.**
- ✓ **laitance > 30 stabilité très mauvaise.**

Les résultats obtenus des essais sont représentés sur la Figure V.3

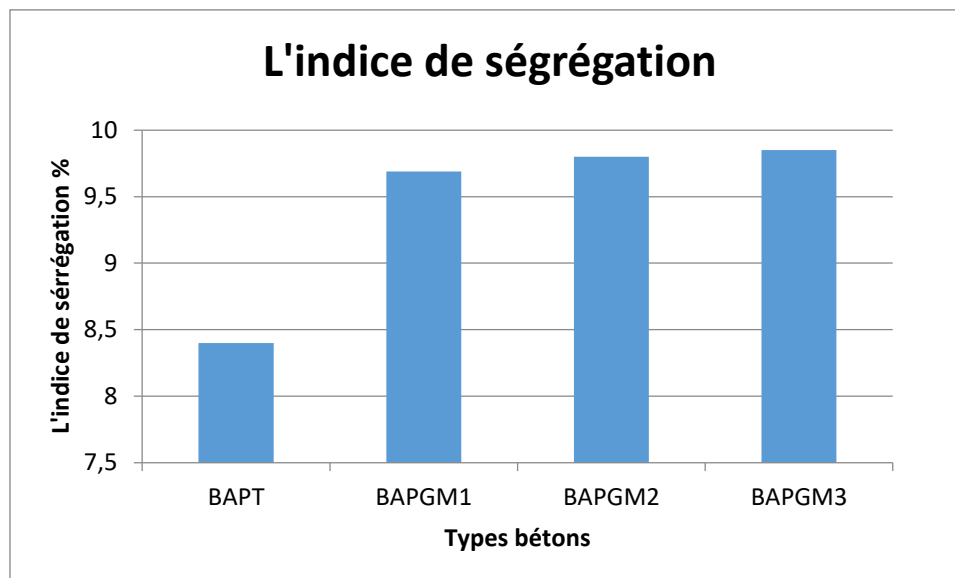


Fig. V. 3 L'indice de ségrégation en fonction de types de béton

Remarque :

Tous Les types de béton auto plaçant se caractérisent par des stabilités satisfaisantes, ou l'on note d'après les résultats obtenus que BAP est confinée entre :

$$0 \leq \pi \leq 15$$

V.2.4.La masse volumique :

Pour caractériser la compacité des différents bétons on détermine la masse volumique. Les résultats obtenus sont représentés sur la figure V.4

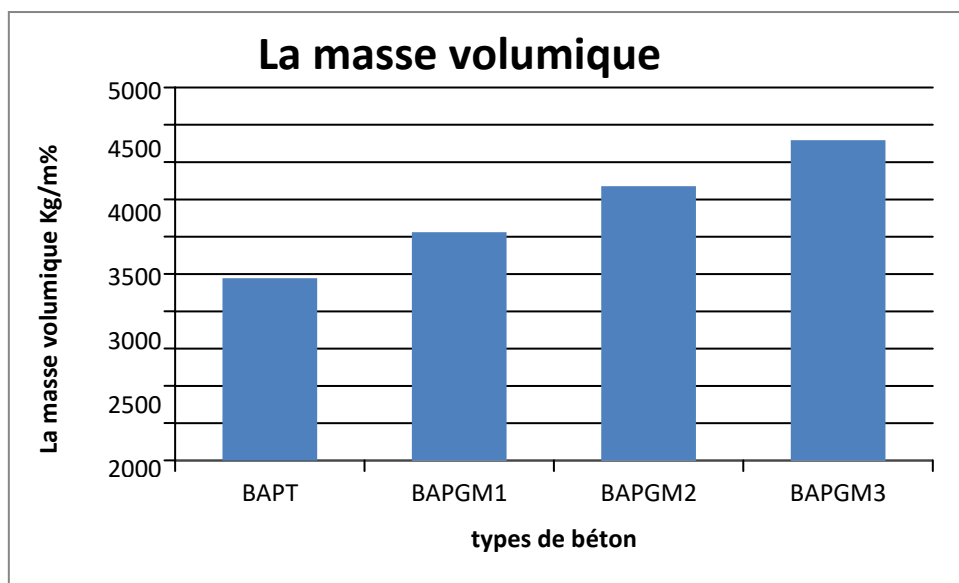


Fig. V. 4 la masse volumique en fonction des types bétons (BAP)

Remarque :

On note d'après les résultats obtenus dans l'énoncé que la masse volumique de BAPGM (tous les bétons avec les grains métalliques sont supérieurs à la masse volumique de BAPT. Ceci est dû à la grande masse des grains métallique.

Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais soit l'essai d'étalement, ou l'essai de la boîte L et l'essai de stabilité au tamis, permettent de dire que ses BAP correspondent aux critères des recommandations provisoires. On remarque que les plus moins valeurs de l'étalement, de l'indice de ségrégation et du taux de remplissage sont celles du BAP Témoin, et ses valeurs augmente avec le pourcentage remplacement des grains métalliques. Pour la masse volumique on a noté qu'elle augmente avec le pourcentage de remplacement des grains métallique.

Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais en l'occurrence l'essai d'étalement, l'essai

De stabilité au tamis, permettent de dire que ses BAP correspondent aux critères des recommandations provisoires.

V.3 Résultats des essais à l'état durci :

Toutes les éprouvettes ont été conservées dans l'eau à une température ambiante de 20°C(EN12390-2).

Les résultats de compression et traction par flexion sont résumés dans ce tableau pour le BAPT et BAPGM1, BAPGM2 et BAPGM3.

On a confectionné des éprouvettes cubiques de dimensions (10×10×10) et des éprouvettes prismatiques de dimensions(7×7×28),pour faire les essais des compression et de traction.

V.3.1 Les essais destructifs(ED) :

V.3.1.1 La résistance à la compression :

Tableaux. IV. 2 Résistance à la compression

	Eprouvettes	La Compression suivant l'âge du béton		
		7jours (MPa)	14 jours (Mpa)	28 jours (Mpa)
BAPT	1	19.25	27.65	24.50
	2	21.05	26.63	29.35
	3	22.11	25.62	28.84
	Moy	20.80	26.63	27.56
BAPGM1	1	23.24	27.70	18.27
	2	21.94	27.07	20.41
	3	23.83	27.23	17.41
	Moy	23.00	27.23	23.88
BAPGM2	1	19.11	23.45	32.14
	2	15.9	14.46	23.25
	3	20.0	25.96	13.99
	Moy	18.33	21.29	23.12
BAPGM3	1	17.31	18.51	18.51
	2	17.52	22.15	17.74
	3	16.69	23.7	24.81
	Moy	17.17	21.45	20.34

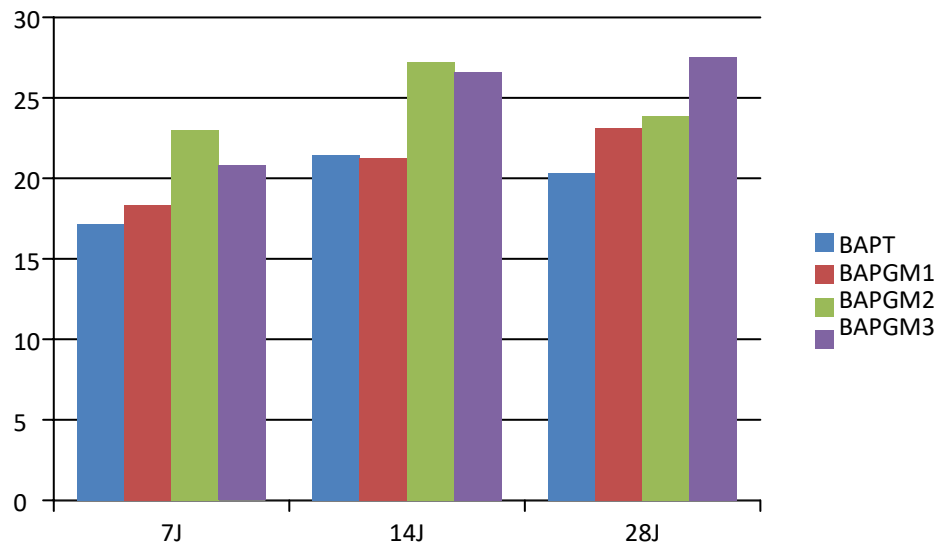


Fig. IV. 11 La résistance à la compression en fonction de l'âge de béton .

La résistance à compression augmente avec l'âge du béton. On note que le béton BAPT reste avec la moins résistance à la compression par rapport aux autres bétons pour tous les pourcentages de remplacement, la résistance augmente pour les BAPGM de (5%,10%,15%) par rapport au BAPT, ou mais augmente lorsque le dosage des grains métalliques est (10%). Le BAPGM3 donne la meilleure résistance.

Les déchets métalliques type de grains métalliques peuvent être éliminés l'intérieur du BAP ses propriétés à l'état frais ou durcis surtout en termes de résistance.

V.3.1.2 La résistance à la traction par flexion

Tableaux. IV. 3 Résistance à la traction par flexion

Composition	Eprouvettes	7 jours (KN)	14 jours (KN)	28 jours (KN)
BAPT	1	4	4	5.2
	2	4.2	4.8	5.2
	3	3.2	4.8	5
	Moy	3.8	4.53	5.13
BAPGM1	1	4.9	5	4.3
	2	5.1	3	4.2
	3	4.7	3.8	4.9
	Moy	4.51	3.93	4.46
BAPGM2	1	3.2	4.8	4.4
	2	3.2	5.6	4.3
	3	5.2	5.7	4.2
	Moy	3.86	5.36	4.3
BAPGM3	1	4.2	4.8	4.1
	2	5	4	3.6
	3	4.4	4.5	4.7
	Moy	4.53	4.43	4.13

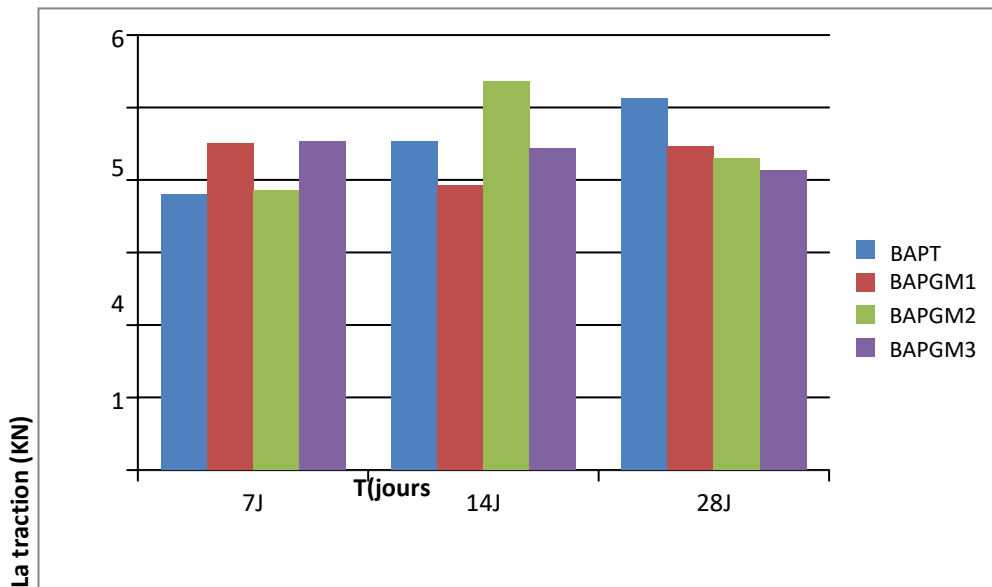


Fig. IV. 12 La résistance à la traction par flexion en fonction de l'âge des bétons

La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des BAP et est donnée par le BAPT, pour le BAPGM l'idée qui l'on note que les grains métalliques, n'augmentent pas d'une manière nette la résistance à la traction.

V.3.2.1 Les essais non destructifs (END)

V.3.2.2 L'essai à l'ultrason :

Tableaux. IV. 4 les essais à l'ultrason.

Composition		Eprouvettes	La vitesse du son suivant l'âge du béton		
			7 jours (m/s)	14 jours (m/s)	28 jours (m/s)
BAPT		1	6166	6674	6257
		2	6674	6787	6529
		3	6006	6674	6674
		Moy	6282	6711	6486
BAPGM1		1	4030	2277.7	4098
		2	4170	2284.9	3951
		3	4004	2331.2	4003
		Moy	4068	2297.93	4017
BAPGM2		1	2655	3950	4847
		2	2635	3775	3403
		3	3924	3875	3652
		Moy	3071	3866.66	3967.33
BAPGM3		1	3390	7519	5115
		2	3361	7519	6104
		3	3390	7762	5644
		Moy	3380	7600	5621

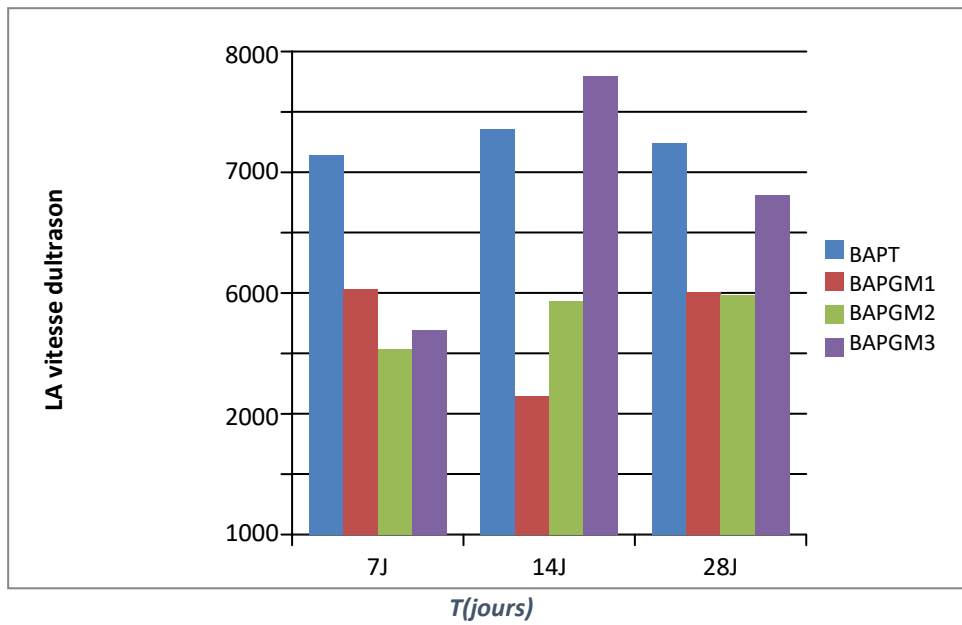


Fig. IV. 13 la vitesse du son en fonction de l'âge des bétons

La vitesse du son augmente avec l'âge du béton, elle remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera sur les résultats de la vitesse du son, les résultats sont en accord avec celle de résistance la compression

❖ Eprouvettes cubique :

V.3.2.3.1 L'essai au scléromètre :

Tableaux. IV. 5 les essais scléromètre

Composition	Eprouvettes	L'indice sclérométrique suivant l'âge du béton		
		7 jours (MPa)	14 jours (MPa)	28 jours (MPa)
BAPT	1	17.75	24.5	26
	2	19.75	27.75	24.66
	3	26.25	25.5	29
	Moy	21.25	25.91	26.55
BAPGM1	1	22	20	27
	2	19	20	22
	3	25	19	30
	Moy	21.66	19.66	26.33
BAPGM2	1	22	16	23
	2	17	14	20
	3	14	12	31
	Moy	17.66	14	14.8
BAPGM3	1	23	20	16
	2	23.6	18	15.2
	3	24.8	18	15.2
	Moy	23.8	18.66	15.46

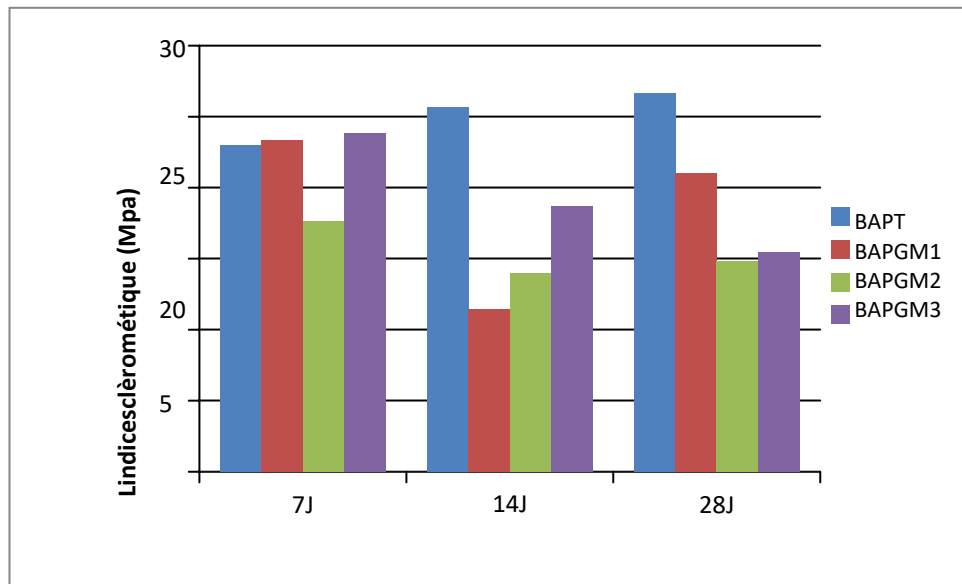


Fig. IV. 14 L'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons

L'indice sclérométrique augmente avec l'âge du béton, et le remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera pas sur les résultats d'indice sclérométrique, les résultats sont en accord avec ceux de la résistance à la compression.

❖ **Eprouvettes prismatiques:**

V.3.2.3.2 L'essai au scléromètre :

Tableaux. IV. 6 les essais scléromètre

Composition	Eprouvettes	7jours (MPa)	14 jours (MPa)	28 jours (MPa)
BAPT	1	18	25	26
	2	25	27	26
	3	26	25	28
	Moy	23	25.66	26.66
BAPGM1	1	26	18	21
	2	17	20	22
	3	27	19	20
	Moy	23.33	11.4	21
BAPGM2	1	22	16	23
	2	17	14	20
	3	14	12	31
	Moy	17.66	14	14.8
BAPGM3	1	23	20	16
	2	23.6	18	15.2
	3	24.8	18	15.2
	Moy	23.8	18.66	15.46

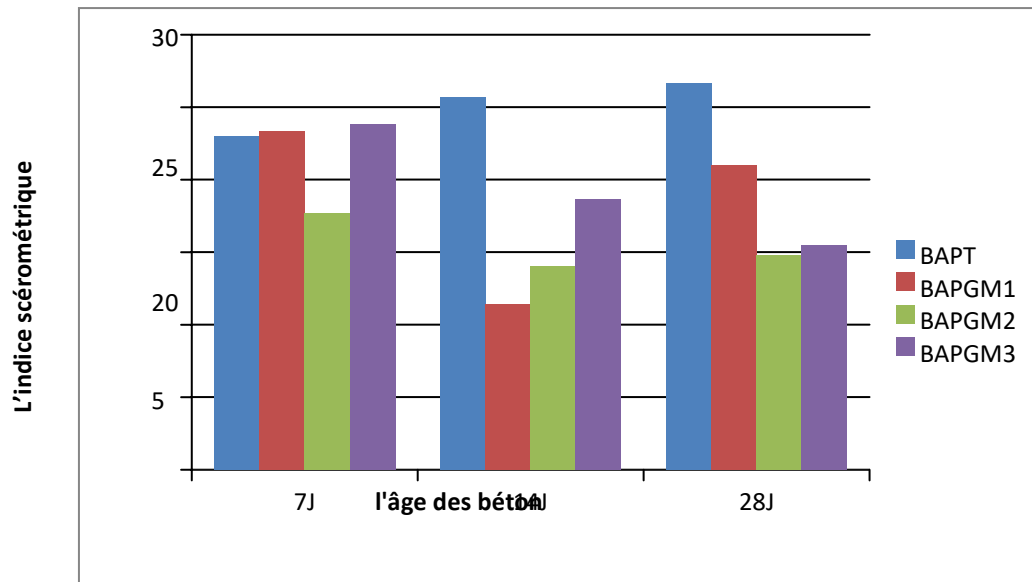


Fig. IV. 15 l'indice sclérométrique en fonction de l'âge des bétons.

L'indice sclérométrique augmente avec l'âge du béton, et le remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera pas sur les résultats d'indice sclérométrique, les résultats sont en accord avec ceux de résistance à la compression.

V.4 Conclusion

Le cinquième chapitre est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques d'un BAP et BAPGM.

Les résultats confirment l'avantage de l'utilisation des déchets métalliques sous forme de grains dans les BAP surtout à l'état frais des BAP étudiés.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Le béton auto plaçant est important en raison des caractéristiques qu'il possède par rapport aux autres types de béton, Afin de connaître plus sur ses propriétés, nous faisons plus d'études à son sujet pour comprendre, et obtenir un béton de meilleure qualité.

Après avoir étudié l'effet de différents déchets, nous avons discutés dans ce travail l'effet des grains métalliques sur ce type de béton, et nous avons étudié son effet sur le béton à l'état frais et durci.

Pour connaître l'effet des déchets métallique sur ce type de béton, nous résumons les résultats issus d'un ensemble d'expériences menées dans le l'état frais et l'état durci comme suit :

L'état frais : ses résultats sont résumés dans :

- la valeur d'étalement de BAPGM supérieure que la valeur d'étalement de BAPT et qu'à chaque fois le taux de remplacement augmente l'étalement des BAPGM augmente On peut expliquer cela que les granules métalliques, avec leur surface lisse et leur faible absorption d'eau, augmentent la fluidité du béton plus que le sable.
- Tous les BAP vérifiés le principe l'essai de la boîte en L que le taux de remplissage doit en principes être supérieur à 0.8. Et que les BAPGM n'ont pas entraînés des blocages du béton.
- Tous Les types de béton auto plaçant se caractérisent par des stabilités satisfaisantes, ou l'on note d'après les résultats obtenus que BAP est confinée entre : $0 \leq \pi \leq 15$
- La masse volumique de BAPGM (tous les bétons avec les grains métalliques sont supérieurs à la masse volumique de BAPT. Ceci est dû à la grande masse des grains métallique.
- Les résultats des essais des différents BAP à l'état frais en l'occurrence l'essai d'étalement, l'essai de stabilité au tamis, permettent de dire que ses BAP correspondent aux critères des recommandations provisoires.

L'état durci :

- La résistance à compression augmente avec l'âge du béton. Ou l'on note que le béton BAPT reste avec la moins résistance à la compression par rapport aux autres bétons pour tous les pourcentages de remplacement, la résistance augmente pour les BAPGM de (5%,10%,15%) par rapport au BAPT, ou mais augmente lorsque le dosage des grains métalliques est (10%). Le BAPGM3 donne la meilleure résistance.
- Les déchets métalliques type de grains métalliques peuvent être éliminés l'intérieur du BAP ses propriétés à l'état frais ou durcis surtout en termes de résistance.

La résistance à la traction par flexion, augmente avec l'âge des BAP et est donnée par le BAPT, pour le BAPGM l'idée qui l'on note que les grains métalliques, n'augmentent pas d'une manière nette la résistance à la traction.

- La vitesse du son augmente avec l'âge du béton, et le remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera sur les résultats de la vitesse du son, les résultats sont en accord avec celle de résistance à la compression.
- L'indice sclérométrique augmente avec l'âge du béton, et le remplacement du sable par des grains métalliques n'influencera sur les résultats d'indice sclérométrique, les résultats sont en accord avec les ceux de résistance à la compression.
- Les résultats confirment l'avantage de l'utilisation des déchets métalliques sous forme de grains dans BAP surtout à l'état frais des BAP étudiés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] Norme NF260_9, Règles complémentaires pour le béton auto plaçant, 2010.
- [2] Guillaume Camps, Etude des interactions chemo-mécaniques pour la simulation du cycle de vie d'un Elément de Stockage en béton , Thèse Doctorat de l'université de Toulouse soutenue le 10 Septembre 2008.
- [3] ZAIDI & SAADOUNE , Caractérisation mécanique d'un béton auto plaçant à partir d'un essai indentation , mémoire finale master 02 Université Mohamed El Bachir El IBRAHIMI , BORDJ BOU ARRERIDJ 2020
- [4] AGGOUNE ABD ALLH , Evaluation de la qualité des bétons auto plaçant (BAP) fibré exposés à haute température aux moyens des essais non –destructifs (NDT) et essai direct , mémoire finale master 02 Université Mohamed Boudiaf _Msila 2015
- [5] M.T. Laugier , NEW formula for indentation in ceramics , J. Mater . sci . letts , 6 p355, 1987
- [6]] DHONDE HB , YO MO, TCC HSU, VOGEL J, Fresh and fibre reinforced concrete "ACI Mater j , 104; 491 -500, 2007
- [7] Hanna Fares , Thèse de doctorat en Génie civil <<propriétés mécanique et physico-chimiques de bétons auto plaçant exposée à une température élevée >> Ecole Doctorale
- [8] Nacira , B; 2006. Etude des propriétés rhéologiques et mécanique des bétons autoplaçant
- [9] G. DREUX & J. FESTA : «Nouveau guide du béton et de ses constituants 1998
- [10] C. JOLICOEUR: «Superplasticizers: Chemistry , mode of action and performance criteria». Béton Canada. Université de Sherbrooke. 1995.
- [11]] KELKBIR H., <<Elaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique >>, mémoire de DEUA, Université de Boumerdes , 2011 .
- [12] Turcry P., Thèse de doctorat en Génie Civil, « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants – Influence de la formulation », Ecole Centrale de Nantes, Université de Nantes, le 3 février 2004,
- [13] Baalbek, M. (2000). Influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons: Importance du mode d'introduction 2000
- [14] Djiaab & HAFFAF .L'effet de l'utilisation des résidus (les copeaux métalliques) dans la formulation des bétons autoplaçants à l'Etat frais et durcis 2021

[15] T. SHINDOH, Y. MATSUOKA, S. TANGTERMSIRIKUL & J. SAKAMOTO: «Effect of variation of material quality on properties of super workable concrete». Transactions of Japan Concrete Institute. V 14, pp 71-78. 199

de ses constituants». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998.

[16] Groupe de travail «BAP»: «Bétons auto-plaçants : Recommandations provisoires». Association Française de Génie Civil. Juillet 2000

[17] Soufienne, M. O. S. T. E. F. A. I. (2019). *Evaluation de la qualité des bétons auto plaçant (BAP) fibrés aux moyens des Essais Non-Destructifs (END) et essai direct* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).

[18] Association Française de Génie civil << propriétés mécaniques et physico- chimiques de bétons autoplaçants _ Recommandations provisoires , Juillet 2002, page 63

[19] G. Benkechkache , 2007, Etude du comportement différé du béton autoplaçant, influence de paramètres de composition et de chargement, Thèse de Magister en Génie Civil, option Mécanique des structures, Université Mentouri Constantine, Novembre 2007.

[20] MezghicheBouzidi, « essais non-destructifs du béton», cours de 3ème année licence, université Mohamed Khaider, Biskra, 2013.

[21] KHEMISSI R., « Caractérisation et choix d'une filière de traitement des déchets ménagers et assimilés de la ville d'Oran » thèse de Magister Université d'Oran, 2014.

[22] Mehdi C ., «Les déchets de chantier et le recyclage des matériaux dans le secteur du bâtiment» thèse de fin de formation 2007

[23] Adema P-C «guide de déchet de l'artisanat» 2004.

[24] CHELABI H , TALEB Z ., « Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre ». Mémoire de master , université de boira 2017

[25] Mr. CHELABI HAMZA Mr. TALEB ZAHIR Amélioration des propriétés mécaniques du plâtre de construction avec des déchets plastiques et verre. 2016/2017

[26] MAEL A , XAVIER GH , CHRISTIAN M , DORIS N ., « Lexique à l'usage des acteurs de la gestion des déchets » , Collection « Références » du Service de l'Économie, de l'Évaluation et de l'Intégration du Développement Durable (SEEIDD) du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) , Mai 2012 .

[27] STAMBOULI M ., « Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières : Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte », Mémoire de master recherche , 2016 .

[28] EL HAFIANE S ., Gestion des déchets solides au niveau de la Commune Urbaine d'Agadir et leur impact sur le milieu naturel , mémoire de fin d'étude , Marrakech , mars 2012.

[29] FERGUENE HABIB . Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants. Mémoire fin d'étude de Master. Boumerdes 2016

[30] : François PERCHE « adsorption des poly carboxylates et de lignosulfates sur poudre modèle et ciments »Thèse de doctorat.

[31] SAADANI Sabrina « Comportement des bétons à base de granulats recycles» thèse de Magister, Université Mentour de Constantine.

[32] BarkatAbderezak «valorisation des déchets de brique dans la réalisation des ouvrage en béton » thèse de Magister Université KasdiMarbach Ouargla 2006-2007.

[33] : document d'une entreprise canadienne qui travaille en Algérie.

[34] : NF EN 934-2(sept.2002), adjuvant pour béton, mortier et coulis.

[35] : AICHOUCH Amine et BELKBIRE Hocine « élaboration d'un béton autoplaçant léger à base des déchets de plastique» DEUA Boumerdes 2011.

[36] <<https://www.dictionnaire-environnement.com>>.

[37] danscite<<<https://thumbs.dreamstime.com>...9tallique-27963334.jpg;32313024.jpg>>.

[38] LARIBI ,BOU RAHAHDOUN , Mémoire de master thème << Valorisation des déchets dans de béton auto-plaçant : état de l'Art 2020.

[39] Djebri, N. (2006). *L'EVALUATION DE LA QUALITE DU BETON IN SITU* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).