

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de GENIE CIVIL

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie Civil

Spécialité : Matériaux

Par

- KHARFI Nadjet
- BEN SALEM Noura

Intitulé

***Etude de la nature des nouvelles additions sur le comportement
physique et mécanique des bétons autoplaçants***

Soutenu le :15 septembre 2022

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.BELKADI Ahmed Abderraouf</i>	<i>MCA</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. KESSAL Oussama</i>	<i>MCA</i>	<i>Co-encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Nous tenons à remercier Allah le tout puissant de nous avoir aidé à réaliser ce modeste travail.

Nous adressons, nos vifs remerciements à nos encadrants :
M. BELKADI Ahmed Abderraouf et M. KASSAL Oussama pour leur contribution dans l'élaboration de ce projet grâce à leurs orientations et conseils.

Nous exprimons toute notre gratitude à nos parents qui nous ont soutenu tout au long de notre cursus dès le primaire jusqu'à l'écriture de ces lignes. Mille mercis.

Un grand merci à nos enseignants qui par leurs paroles et leurs critiques, ont guidés nos réflexions afin de perfectionner notre savoir-faire.

Enfin, nous témoignons toute notre reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Résumé

La philosophie de notre recherche, qui est essentiellement fondée sur un élément nouveau dans la technologie poussée, dans les bétons nouvellement baptisés béton autoplaçant. Les Bétons autoplaçants (BAP) constituent une nouvelle étape technologique dans le domaine du Génie civil. En effet se sont des bétons très fluides, homogènes et stables, ils sont mis en place sous leur propre poids sans apport de vibration, même dans des structures complexes et fortement ferrillées. Ces propriétés sont obtenues par l'emploi des superplastifiants et des ajouts minéraux fins...etc. Cependant jusqu'à nos jours une question reste en suspens, est-ce que ce type de béton est né d'un besoin économique, ou bien afin améliorer la résistance et la durabilité pour les constructions ? Le but de cette étude est non seulement la vulgarisation de l'emploi de ce type de béton en incorporant trois additions très abondantes dans la région, mais aussi mettre à la disposition du formulateur une méthode très simple et très pratique. Dans ce contexte un vaste programme expérimental est mené afin de répondre aux objectifs tracés. Les résultats obtenus mettent en évidence l'influence de la nature de l'addition sur les résistances à la compression et à la traction des BAP, en fonction du mode de conservation.

Mots clés

Béton autoplaçant, laitier, filler calcaire, marbre, résistance à la compression

Abstract

The philosophy of our research, which is essentially based on a new element in advanced technology, in concretes newly baptized self-compacting concrete. Self-compacting concretes (SCC) constitute a new technological step in the field of civil engineering. Indeed, they are very fluid, homogeneous and stable concretes, they are placed under their own weight without vibration, even in complex and heavily scrapped structures. These properties are obtained by the use of superplasticizers and fine mineral additions, etc. However until today a question remains unanswered, is this type of concrete born of an economic need, or to improve resistance and durability for constructions? The purpose of this study is not only to popularize the use of this type of concrete by incorporating three very abundant additions in the region, but also to provide the formulator with a very simple and very practical method. In this context, a vast experimental program is being carried out in order to meet the set objectives. The results obtained highlight the influence of the nature of the addition on the compressive and tensile strengths of SCCs, depending on the mode of preservation.

Key words

Self-consolidating concrete, slag, limestone filler, marble, compressive strength

ملخص

فلسفة بحثنا ، التي تقوم أساساً على عنصر جديد في التكنولوجيا المتقدمة ، في الخرسانة التي تم تعميدها حديثاً ذاتي الضغط. تشكل خطوة تكنولوجية جديدة في مجال الهندسة المدنية. في الواقع ، إنها خرسانة مرنة ومتجانسة ومستقرة (SCC) خرسانة الكيس الذاتي للغاية ، ويتم وضعها تحت وزنها دون اهتزاز ، حتى في الهياكل المعقدة والمدمرة بشدة. يتم الحصول على هذه الخصائص من خلال استخدام الملدنات الفائقة والإضافات المعدنية الدقيقة ، إلخ. ولكن حتى يومنا هذا ، يبقى سؤال بلا إجابة ، هل هذا النوع من الخرسانة ولد من حاجة اقتصادية ، أم لتحسين المقاومة والمتانة للإنشاءات؟ الغرض من هذه الدراسة ليس فقط تعميم استخدام هذا النوع من الخرسانة من خلال دمج ثلاث إضافات وفيرة جداً في المنطقة ، ولكن أيضاً لتزويد أداة التركيب بطريقة بسيطة جداً وعملية للغاية. في هذا السياق ، يتم تنفيذ برنامج تجريبي واسع من أجل تحقيق الأهداف المحددة. النتائج التي تم الحصول عليها تسلط الضوء على تأثير ، اعتماداً على طريقة الحفظ SCC طبيعية الإضافة على قوة الانضغاط والشد للـ

الكلمات الدالة

الخرسانة ذاتية التوحيد ، والخبث ، وحشو الحجر الجيري ، والرغام ، وقوة الانضغاط

Sommaire

Résumé

Abstract

ملخص

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR LES ADDITIONS MINERALES.

I.1. INTRODUCTION 5

I.2. L'utilisation des ajouts en Algérie 6

I.3. Filler calcaire : 6

I.3.1. Définition: 6

I.3.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie): 7

I.3.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité : 7

I.4. Cendres volantes 9

I.4.1. Définition 9

I.4.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie) 10

I.4.3. l'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leurs durabilités 10

I.5. Fumée de silice: 12

I.5.1. Définition: 12

I.5.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie): 13

I.5.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité : 13

I.6. Laitier à haut fourneau : 13

I.6.1. Définition : 13

I.6.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie): 14

I.6.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité : 14

I.7. Poudre de marbre : 15

I.7.1.	Définition :	15
I.7.2.	L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):	15
I.7.3.	L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :	15
I.8.	La poudre de verre :	16
I.8.1.	Définition :	16
I.8.2.	L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):	17
I.8.3.	L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :	17
I.9.	Pouzzolane naturelle:	18
I.9.1.	Définition :	18
I.9.2.	L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):	19
I.9.3.	L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :	19
I.10.	La combinaison entre les additions:	20
I.12.	CONCLUSION	24
 <i>CHAPITRE II : MATERIAUX DE BASE UTILISES ET LES ESSAIS DE CARACTERISATION.</i>		
II.1.	Introduction	27
II.2.	Matériaux de base utilisés.....	27
II.2.1.	Les granulats	27
II.2.2.	Ciment:	29
II.2.3.	Les additions minérales :	31
II.2.4.	L'adjuvant (super plastifiant) (EN934-2) :	32
II.2.5.	Eau de gâchage :	33
II.3.	Les essais de caractérisation des BAP	34
II.3.1.	Caractérisation a l'état frais :	34
II.3.	Caractérisation a l'état durci:	38
II.4.	Conclusion :	41
 CHAPITRE III : CONCEPTION DES BAP A BASE DES FINES RECYCLEES.		
III.1.	Introduction	44

III.2. Compositions des mélanges retenus :.....	44
III.2.1. Méthode de formulation :	44
III.2.1.1. Les étapes du calcul :.....	46
III.2.1.2. Des commentaires et discussions sur la formulation :.....	46
III.2.1.3. Les normes et les valeurs des paramètres de formulation:	46
Le tableau III.1 récapitule les éléments essentiels pour la formulation.....	46
III.2.1.4. La formulation dans le programme MATLAB :	49
III.2.1.5. Formulations retenues :	50
III.2.2. Confection des mélanges :.....	51
III.2.2.1. Fabrication des mélanges :	51
III.2.2.2. Mise en place :	52
III.2.2.3. Conservation :.....	53
III.3 Résultat de la caractérisation :.....	53
III.3.1 Résultat de la caractérisation a l'état frais:	53
III.3.2 Résultat de la caractérisation a l'état durci :.....	57
a. la résistance à la compression cylindrique (10x20) cm à 2, 7, et 28 jours;	57
b. la résistance à la compression cube (7x7x7) cm à 2, 7, 22, et 28 jours;.....	57
c. la résistance à la traction par flexion à 2, 7,22, et 28 jours.....	57
III.3.2.1 la résistance à la compression.....	57
III.3.2.2 Résistance à la traction par flexion :	64
III.4. Conclusion.....	67
CONCLUSION GENERALE.....	68

Liste des figures

Figure I. 1 L'influence de la nature des additions minérales (mélange binaire et ternaire) et le taux de substitution dans le ciment sur la viscosité plastique du BAP.[77].....	21
Figure II. 1 Caractéristiques géométriques des granulats utilisés	28
Figure II. 2 le cône d'Abrams utilisé.....	35
Figure II. 3 Le cône d'Abrams utilisé.	35
Figure II. 4 Essai de boîte en L	36
Figure II. 5 d'entonnoir (V-Funnel)	37
Figure II. 6 Stabilité au tamis.	37
Figure II. 7 L'aéromètre utilisé.	38
Figure II. 8 Appareil de compression.....	39
Figure II. 9 Appareil de compression d'un cube équivalent.	40
Figure II. 10 Le dispositif de l'essai de flexion 3 point.	41
Figure III. 1 Essai de compactage selon ASTM C29/C29M [63].....	45
Figure III. 2 L'organigramme montrant les principales procédures de la formulation.	48
Figure III. 3 représente un exemple pratique du calcul des constituants de BAP.....	49
Figure III. 4 Malaxeur utilisé.	51
Figure III. 5 Les étapes de fabrication de BAP	52
Figure III. 6 (a) éprouvettes cylindriques 10 x20cm et (b) les éprouvettes prismatiques 7x7x28cm:	52
Figure III. 7 l'étalement des différentes additions avec T ₅₀	54
Figure III. 8 Analyse de la galette à l'essai de l'étalement de laitier.	55
Figure III. 9 Résistance à la compression des éprouvettes cylindriques(10*20) à l'air et dans l'eau.....	58
Figure III. 10 Résistances à la compression sur cube 7x7 x7 cm dans l'eau et l'air.	60
Figure III. 11 la micrographie de la poudre de FC (a) et de FM (b) [53], [87].	62
Figure III. 12 les différentes combinaisons FC-FL-FM résultats à la compression sur deux modes de conservation.(cylindrique).	62
Figure III. 13 les différentes combinaisons FC-FL-FM résultats à la compression sur deux modes de conservation.(cubique).	63
Figure III. 14 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FC dans les deux modes de conservation.	63
Figure III. 15 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FL dans les deux modes de conservation.	64
Figure III. 16 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FM dans les deux modes de conservation.	64
Figure III. 17 Résistances à la flexion sur prisme 7x7 x28 cm dans l'eau et l'air.....	65
Figure III. 18 les différentes combinaisons BAP FC-FL-FM aboutissent aux résultats à la flexion pour deux modes de conservation.....	66

Liste des tableaux

Tableau I. 1 Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.	6
Tableau I. 2 Classification des cendres volantes sous les normes BS EN 12620 (2002) et BS EN 450 (2005) [29].	10
Tableau I. 3 Classification des cendres volantes sous la norme ASTM C618 (2003) [29].	10
Tableau I. 4 Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.	13
Tableau I. 5 récapitulatif de l'incidence des additions minérales sur les propriétés des BAP.	22
Tableau II. 1 Caractéristiques physiques des granulats utilisés	29
Tableau II. 2 Composition chimique du clinker.	30
Tableau II. 3 Composition minéralogique du clinker.	30
Tableau II. 4 propriétés physiques du ciment	30
Tableau II. 5 Résistances mécaniques du ciment.	30
Tableau II. 6 Composition chimique du fillers calcaire.	31
Tableau II. 7 Caractéristiques physiques des fillers	31
Tableau II. 8 Composition chimique du laitier d'El Hadjar.	31
Tableau II. 9 Caractéristiques pétrographiques minéralogique.	32
Tableau II. 10 Composition minéralogique.	32
Tableau II. 11 Caractéristiques physico-mécanique	32
Tableau II. 12 Caractéristiques chimique.	32
Tableau II. 13 Les caractéristiques de GLENIUM 27.	33
Tableau II. 14 Les résultats de l'analyse chimique effectuée sur l'eau utilisée.	33
Tableau III. 1 Les normes et les valeurs des paramètres de formulation.	46
Tableau III. 2 : Les densités de différents constituants utilisés.	47
Tableau III. 3 Exemple pratique du calcul des constituants de BAP.	50
Tableau III. 4 La composition des BAP dans 1m ³	50
Tableau III. 5 les résultats de l'étalement.	54
Tableau III. 6 la comparaison entre notre étude et celle de l'auteur M. Uysal [79].	55
Tableau III. 7 les résultats de la boîte en L.	56
Tableau III. 8 Stabilité au tamis des bétons utilisés.	56
Tableau III. 9 les résultats de temps d'écoulement.	56
Tableau III. 10 l'air occlus des bétons utilisés.	57
Tableau III. 11 les résultats de la densité.	57
Tableau III. 12 Résistances à la compression sur cylindres (10x20).	58
Tableau III. 13 Résistances à la compression sur cubes 7x7 x7.	59
Tableau III. 14 Résultats comparatifs de la résistance des éprouvettes cylindriques et cubiques des différents BAP dans les deux modes de conservation.	60
Tableau III. 15 Résistances à la traction par flexion sur prismes 7x7x28 exprimées en MPA.	64

INTRODUCTION GENERALE

Actuellement dans le domaine du génie civil la recherche a été développée dans plusieurs types de matériaux composites de construction en obtenant par exemple des bétons spéciaux (béton autoplçant, béton à haut performance...) afin de réussir des objectifs différents environnementaux, économique, esthétique, et la durabilité.

Les bétons ordinaires consomment beaucoup d'énergie non renouvelable, perdent une quantité considérable de CO₂ (l'hydratation du ciment), la santé (pollution), le bruit (vibration, les grues ...). C'est pourquoi il faut trouver des solutions.

La dernière innovation est le béton autoplçant (BAP) découvert par des chercheurs japonais au début des années 90. Il s'agit d'un béton fluide, très déformable, homogène, stable et se mettant en place sous son poids propre, même dans des milieux complexes et très confinés.

Les chercheurs introduisent des différents matériaux locaux dans les bétons (les additions minérales) pour augmenter les résistances mécaniques ou les propriétés rhéologiques. D'autres chercheurs ont mentionné qu'on peut remplacer une partie de ciment par des additions minérales.

Dans les dernières années, l'Algérie et le monde entier a subi une forte vague de froid, alors que la température a atteint -50°C dans certains pays d'Europe.

L'Algérie n'a pas échappé à ce phénomène de baisse température atteignant un seuil au-dessous de 0°C.

La résistance au gel dégel des matériaux cimentaires est un enjeu majeur pour la construction d'ouvrages en béton durable.

Le mémoire s'articule en deux grandes parties. La première partie à dominante bibliographique, elle se décompose en deux chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique dans laquelle la présentation de l'influence des différents types d'additions minéralogiques sur le comportement des bétons autoplçant.

La deuxième partie de cette thèse est consacrée à l'étude expérimentale et les résultats, elle est structurée comme suit :

Le deuxième chapitre décrit en détail tous les matériaux utilisés et les protocoles expérimentaux qui nous ont permis de mesurer toutes les grandeurs mécaniques (résistance mécanique en

compression) et à partir desquelles ont été réalisées les comparaisons entre BAP avec différents ajouts minéraux

Les conclusions générales clôturent ce mémoire, en synthétisant les principaux résultats sur le comportement des BAP du point de vue mécanique et variation dimensionnelle et pondérale en présentant l'effet de la baisse de température sur le comportement des BAP. Des perspectives de recherche sont aussi présentées pour continuer à apporter de nouvelles informations pertinentes à ces nouveaux matériaux du génie civil.

CHAPITRE I :
ETAT DE L'ART SUR LES ADDITIONS MINERALES.

I.1. INTRODUCTION

Le béton autoplaçant est un béton fluide, très déformable, homogène, stable et se mettant en place sous son poids propre, même dans des milieux complexes et très confinés. Depuis sa découverte, de nombreuses recherches ont été réalisées, notamment sur sa composition (la formulation) ainsi sur l'introduction des additions des fines et des déchets recyclés pour réussir des buts économiques, énergétiques et environnementaux. Cependant, beaucoup de travaux sont effectués sur l'influence des ajouts fins et leur comportement.

Un des arguments souvent avancé en faveur de l'utilisation de ces ajouts minéraux, est qu'ils permettent d'économiser de l'énergie et de préserver les ressources naturelles comparées au ciment portland.

Cet argument est en partie juste, mais le principal argument en faveur de l'incorporation de ces matériaux dans le béton est, en réalité, qu'ils apportent des avantages techniques. En effet dans plusieurs cas, ils sont utilisés de préférence au ciment portland indépendamment des considérations économiques ou environnementales.

Les différences entre le béton de référence et le béton autoplaçant ouvrent une porte sur la maniabilité, la résistance à différents âges, le dosage total en matériaux cimentaire ou le rapport eau/ciment peut importer d'autres apports. Aucune généralisation valable ne peut être tirée d'une telle comparaison.

Les différents ajouts minéraux affectent la cinétique de la réaction d'hydratation, en raison de leur composition chimique de leur réactivité, de leur granulométrie ainsi que la forme de leurs éléments.

Par définition les additions sont des matières minérales, naturelles ou artificielles spécialement sélectionnées, qui après préparation appropriée, en fonction de leur granulométrie, améliorent les propriétés physiques des ciments (ouvrabilité, rétention d'eau, compacité, ...). Ils peuvent être inertes ou présenter des propriétés faiblement hydrauliques, hydrauliques latents, pouzzolaniques.

Ils ne doivent pas accroître sensiblement la demande en eau du ciment, ni diminuer en aucune manière la résistance mécanique du béton ou la protection des armatures contre la corrosion.

Dans les paragraphes suivants on pourra faire une étude bibliographique démontrant les effets et l'importance des différentes additions minéralogiques (les fillers de calcaire, les cendres volantes, les laitiers, les fumées de silices, les poudres de verres, pouzzolanes naturelles et les poudres de marbres) sur le comportement dans les bétons autoplaçants.

I.2. L'utilisation des ajouts en Algérie

Cependant, parmi les moyens efficaces qui existent pour augmenter la production du ciment, est celui d'utiliser des ajouts qui sont très peu coûteux et disponibles en grandes quantités en Algérie. Comme le laitier d'El – Hadjar, le calcaire et la pouzzolane naturelle de Beni – Saf. Le tableau (I.1.) donne une idée sur les ajouts utilisés dans les cimenteries algériennes.

Tableau I. 1 Utilisation des ajouts dans les cimenteries algériennes.

Entreprise	Cimenterie	Ajouts Utilisés
ERCE	Ain Touta	Pouzzolane
	Ain El Kebira	
	Hamma Bouziane	
	H'djarEssaoud	Laitier
	Tebessa	
ERCC	Meftah	Tuf / Calcaire
	Raiss Hamidou	Poussière
	Sour EL Ghozlane	Calcaire/Tuf
ECDE	Chlef	Calcaire
ERCO	Beni Saf	Pouzzolane
	Zahana	
	Saida	

I.3. Filler calcaire :

I.3.1. Définition:

Les fillers calcaires sont des matériaux quasiment inertes, organiques naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométrique améliorent les propriétés physiques du ciment portland, (ouvrabilité, pouvoir de rétention d'eau...).

Les fillers sont des poudres fines à granulométrie contrôlée, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80µm obtenus par broyage ou par pulvérisation de certaines roches (calcaires, basalte, bentonite...). Les fillers se différencient les uns des autres par :

Un filler dit calcaire s'il contient au moins 90% de carbonate de calcium ; dans les autres cas, le filler est désigné par le nom de sa roche d'origine.

Le principal avantage des fillers calcaires est réduire le cout final unitaire du ciment en réduisant son contenu énergétique. De plus, l'addition de fillers calcaire au clinker permet d'augmenter significativement la capacité de mouture des broyeurs.

I.3.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

Syntheses expérimentales inspirées d'une idée littéraire démontrant les effets rhéologiques et l'influence sur les propriétés des BAP.

A. El Hilali [117] a fait des essais expérimentaux sur trois types de BAP (deux témoins et l'autre avec filler calcaire) afin de montrer l'influence de la finesse de cette addition, sur les propriétés de ce nouveau béton. L'auteur a conclu que l'augmentation de la finesse des fillers de calcaire a provoqué légèrement une diminution de la viscosité du BAP à l'état frais et une réduction obtenue du taux de remplissage H_2/H_1 et le seuil de cisaillement [53] [61]. D'autre part selon l'auteur N. Bouhamou [2] a indiqué que le dosage en fines de calcaires dépassant 25 % (valeur critique), aurait influencé sur la croissance de la viscosité.

Mais selon les chercheurs V. B. Bosiljkov [70] ont eu des résultats indiquant que la poudre de calcaire plus fine et mieux calibrée, augmente de façon significative la capacité de déformation de la pâte.

C. Selvamony et al [86] a montré que la substitution des granulats fins par (5% à 45%) de filler de calcaire peut mieux améliorer la maniabilité du BAP.

Selon une formulation inspirée par M. Behim et al [39]. Une optimisation de différents types d'additions, (laitier, filler calcaire et le recyclage du verre), permettant de s'adapter au mélange des caractéristiques rhéologiques et les propriétés mécaniques d'un BAP. Les résultats ont montré que les mélanges les plus coulants sont ceux obtenus avec les fillers calcaires et la plage du dosage optimal variant entre 15 ~ 60 % par rapport à la masse du ciment.

Ainsi une étude expérimentale présentée par l'auteur O. Esping [72] sur l'utilisation des fillers calcaires avec une surface spécifique différente et de leur effet exercé sur les propriétés du BAP à l'état frais. Les résultats ont montré que les FC avec une grande surface spécifique (plus fine) provoquent une augmentation de retrait endogène et une diminution de l'évaporation d'eau.

I.3.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

B. Boukni [45] a montré que la résistance en compression et la résistance à la traction semblerait beaucoup plus influencée par la présence des fillers dans le BAP.

B. Felekoglu [53] ont résumé que la substitution de 10% du ciment avec filler de calcaire a amélioré la résistance à la compression des pâtes du ciment, qui peuvent être acceptées comme un facteur positif dans l'effort de l'utilisation des fillers dans les applications de pâte autoplaçants.

Z. Wenzhong et al [69] Ils n'ont conclu que l'utilisation de filler calcaire donnant des gains sur la résistance mécanique du BAP. Exp: ils ont trouvé que la résistance à la compression sur les échantillons cubiques était de 60-80% plus élevée à 7 jours et 30 -40% plus élevée à 28 jours, par rapport au béton ordinaire au même rapport eau / ciment confirmant ainsi les résultats de B.Bosiljkov [70].

S. Bensebti [1] L'augmentation du taux de substitution du ciment par des fillers calcaires dans les compositions des BAP permet de réduire le retrait total dans les milieux ambiants et couverts, par contre le gonflement dans le milieu immergé devient plus grand [45][59]. Ceci est expliqué par l'absorption d'eau par les fillers au sein de l'échantillon [60] [68].

Le filler calcaire peut avoir un effet positif en limitant le retrait de séchage des BAP, s'il est utilisé avec une finesse et une proportion adéquate [5] [27].

M. Valcuende et al [60] a montré que le BAP avec un filler calcaire, le retrait total n'est que légèrement supérieur à celui de BOV, les différences étant de 9,2%.

H. Houari et al [35] ont exercé une étude expérimentale sur trois types de bétons, deux bétons autoplacants avec deux formulations différentes contenant un volume identique des granulats et présentant un rapport fillers/liant variable allant de 0.16 et 0.33. Le dernier est un béton vibré (témoin) pour voir l'effet de fillers sur les performances des BAP chauffés à 200°C. Les auteurs ont conclu qu'avant et après le chauffage que l'augmentation du dosage de fillers au détriment de ciment diminue le retrait et l'évaporation d'eau de BAP. Après le choc thermique, les deux BAP présentent un regain d'une partie de leur humidité.

P. Turcry [27] a fait une étude sur des mortiers, dont le volume de sable est fixé à 45% du volume total. En variant les proportions d'eau, d'ajout, et de superplastifiant. Le retrait plastique des mortiers est mesuré à 20°C et 50% d'humidité relative à l'aide d'un dispositif utilisant des capteurs laser. Les résultats ont démontré que l'amplitude et la cinétique du retrait plastique dépend essentiellement de deux paramètres de composition : la quantité de superplastifiant et la nature de l'addition. L'auteur a remarqué aussi que le remplacement d'une partie du ciment par de FC ne retarde nullement la prise.

Selon G. Benkechkeche et al [59] une faible différence de déformation entre le BAP1 (filler/liant = 0.33) et BAP2 (filler/liant= 0.16) en exerçant un taux de chargement égal à 25% sur un essai de flexion à quatre points. H. Houari et al [46] ont considéré que le fluage de BAP1 peut être équivalent à celui de BAP2 après le cycle de chauffage refroidissement. Le taux d'évaporation d'eau augmente quand le dosage de fillers diminue à l'exception des cinq premiers jours d'où la perte de masse pour le BAP1 est plus élevée. Il a constaté aussi que pour les BAP à l'état durci les résultats des essais mécaniques permettent de définir le rôle de la finesse des calcaires

sur l'obtention des bonnes résistances mécaniques notamment au jeune âge. Le degré d'hydratation est d'autant plus élevé au jeune âge ($t < 7$ jours) que la finesse des fillers additionnés au BAP est plus élevée [60].

M. Valcuende et al [60] La perte de masse due à la dégradation des BAP témoins (phénomène de carbonatation) par diffusion de CO_2 est plus importante que pour les BAP additionnés avec des fillers ayant une surface de Blaine moins élevée dont la cinétique est également plus rapide.

H. Siad et al [49] ont Réalisés des essais expérimentaux sur l'influence des différents types d'addition sur les performances de la liaison acier –béton (l'adhérence). les auteurs ont choisis trois types d'addition (pouzzolane naturelle, cendrevolante et filler calcaire). parmi les résultats obtenus sur les BAP avec addition de FC présentant une faible adhérence par rapport au BOV qu'avec les autres types d'ajouts.

R. Chaid et al [71] ont opéré sur différents types de bétons conservés dans l'eau de mer, constatant ainsi que les caractéristiques du béton aux fines calcaires ne sont pas affectées par les dégradations et à la pénétration des agents agressifs, à cause de la faible porosité [60].

M. Valcuende et al [19] a montré que l'utilisation d'une teneur plus élevée en FC justifie la faible perméabilité de l'eau du BAP. En outre, Il a constaté qu'à l'aide du porosimètre en mercure, la profondeur de pénétration de l'eau dans les BAP avec plus de FC est un peu plus Basse (4 mm) que dans les BAP réalisés avec l'agent de viscosité.

Mais par apport à l'effet économique B. Boukni [45] a observé que, l'emploi des poudres de déchets de carrière calcaire améliore la faisabilité économique de la production du BAP.

Z. Wenzhonget al [69] a montré que l'augmentation de niveaux d'addition de calcaire / poudre de craie pourrait conduire à une réduction de dosage de superplastifiant donc le mélange de BAP est plus économique.

I.4. Cendres volantes

I.4.1. Définition

PFA (mais actuellement appelées cendres volantes) est un sous-produit de la production d'électricité dans les centrales électriques au charbon. Il se compose d'oxydes de silice, alumine, de fer, de calcium et divers constituants mineurs. A cause de la haute température de formation, est sont essentiellement dans une phase vitreuse et les particules très fines, avec environ $45 \mu\text{m}$ sous une forme sphérique.

En 2007, environ 58% de cendres volantes produites ont été utilisées dans les fabrications, telles que les matières premières de ciment, ajouts aux bétons, des blocs de jointement, la

fabrication blocs aérés et le remplissage du sol pour assainissement. Considérant les avantages bien connus dans l'utilisation de cendres volantes, il y a un potentiel de taux d'utilisation. On peut utiliser des cendres volantes dans le béton comme une addition pour remplacer une certaine quantité de ciment.

Les tableaux I.2 et I.3 comprennent des normes pour classifier les cendres volantes.

Tableau I. 2 Classification des cendres volantes sous les normes BS EN 12620 (2002) et BS EN 450 (2005) [29].

SPECIFICATION	FINESSE	APPLICATION
BS EN 450 (2005)	Catégories S: ≤ 12.0 % le contenu du tamis 45 μm	Type II
	Catégories N: ≤ 40.0 % le contenu de tamis 45 μm	
BS EN12620 (2002)	70 ~100% supérieur de 63 μm	Type I

Tableau I. 3 Classification des cendres volantes sous la norme ASTM C618 (2003) [29].

I.4.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie)

CLASSIFICATION	Type de charbon	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ (%)
cendre volante classe C	Lignite ou charbon subbitumineux	≥ 50.0
cendre volante classe F	Bitumineux ou anthracite	≥ 70.0

Le remplacement d'une partie du ciment par des cendres volantes, peut améliorer la fluidité des BAP, car leur forme sphérique permet de réduire les frottements entre les grains de ciment. (Bethmont)

Les bétons contenant des cendres volantes présentent aussi habituellement moins de ségrégation et de ressuage.

Associées à un superplastifiant, les cendres volantes permettent de réduire le dosage en adjuvant nécessaire à l'obtention d'une certaine fluidité, mais le rapport E/C doit être suffisamment important (équivalent au rapport utilisé pour l'échantillon témoin) sinon la demande en adjuvant augmente fortement.

I.4.3. l'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leurs durabilités

B. Prasad et al [89] ont montré que le volume de cendres volantes élevés dans le BAP donne une meilleure résistance à la compression à 56 et 90 jours et non pas à 28 jours. Les auteurs ont utilisé une nouvelle méthode pour prédire la résistance à la compression en montrant leur l'efficacité.

R. Siddique et al [91] ont fait une étude expérimentale sur l'influence de rapport E/P sur les propriétés mécaniques du BAP contenant des cendres en charbon qui remplacent les granulats fins au pourcentages variables de 0% à 30% et les cendres volantes qui remplacent le ciment dans des proportions de 15 à 35%. Les propriétés mécaniques ont été obtenues à l'âge de 28, 90

et 365 jours pour les différents mélanges. Ils ont noté en plus que tous les mélanges ont montré un gain sur la résistance au-delà de 28 jours; quant au mélange avec 15 et 35% de cendres volantes la résistance a atteint respectivement 60 MPa et 40 MPa à 90 jours.

P. Neelamet al [93] ont utilisé dans un programme expérimental quatre matériaux cimentaires supplémentaires : deux cendres volantes et deux laitiers. Ils ont élaboré vingt mélanges de SMC avec une proportion de remplacement des ciments portland par des ajouts fins 0-100%. Le développement de la résistance à la compression au bout de 28 jours est moins que le mélange de base. Cette tendance est attendue de par sa réaction pouzzolanique lente. Idées confirmées par V. Corinaldesi et al [94]. La différence dans la résistance dépend du type de mélange et de la quantité de CaO.

L. Baoju et al [95] ont présenté une étude sur la fluidité et la résistance à la compression du béton contenant des cendres volantes ultra fines (UFAC). Les résultats expérimentaux indiquent qu'UFAC peuvent améliorer la fluidité et la résistance à la compression du béton lors du remplacement de 30-70% de ciment. Le Béton UFAC a été préparé avec une plus grande chute (l'essai de l'étalement) [14], résultant d'une résistance à la compression plus élevée avec un faible retrait de séchage.

N. Bouzoubaa et al [96] ont élaboré un programme expérimental afin de produire des BAP à un volume important de cendre de classe F. Neuf mélanges du BAP et un béton témoin ont été étudiés. Le contenu des matériaux cimentaires restant constant (400 kg/m³), tandis que le rapport E / C varie de 0,35 à 0,45. Les proportions de substitution du ciment sont de 40% à 60%. Les résultats ont montré que la résistance de BAP avec 50% de CV à la compression à 28 jours atteignent 35 MPa, et avec un rapport eau/ciment de 0,45. Aucune différence n'a été remarquée entre le retrait de séchage du béton de base et du BAP.

M. Sonebi [98] ont montré que le remplacement du ciment par CV au seuil de 20% a réduit considérablement la valeur de rendement et majorer la viscosité plastique en considérant le bon contact entre les particules de ciment et les particules roulées des cendres volantes.

Halit .Y [90] ont réalisé une étude afin d'apprécier l'effet de volume élevé des cendres volantes (CV) de classe C et fumées de silice (FS) sur les propriétés mécaniques, résistance à la pénétration de chlorure et de gel-dégel de béton autoplaçant. Les chercheurs ont utilisé des ciments avec un remplacement par de différentes proportions (30% à 60%) et aux mêmes mélanges ils ont introduit 10% de (FS). Les résultats obtenus indiquent que les résistances de hautes performances de BAP peuvent être obtenues avec une teneur plus élevée en CV et en particulier avec un remplacement de 10% du FS. Ces mélanges ont une bonne propriété mécanique, de gel-dégel et la résistance à la pénétration de chlorure. En outre, ces mélanges ont

également un grand avantage environnemental et économique. Il est évident que la chaleur d'hydratation et de retrait de ces mélanges sont inférieures que les BAP témoins (sans CV).

T. Philippe [27] a montré que l'utilisation des cendres volantes, addition plus fine que le filler calcaire, augmente considérablement le retrait plastique. Ceci prouve le rôle de la taille des pores sur le retrait plastique.

S. Rafat et al [92] ont réalisé une étude sur les propriétés mécaniques et quelques paramètres de la durabilité du (BAP) chauffé à température élevée. Les auteurs ont préparé les mélanges avec trois taux de substitution du ciment avec CV de classe F de 30% à 50% et comparé avec un BAP sans CV. La température étant variée entre 20°C et 300°C. Ils ont constaté que l'augmentation de la proportion de cendre volante, il y a peu d'amélioration sur la résistance à la compression dans la plage de température de 200 à 300°C par rapport à 20-200°C. Mais il y a peu d'influence sur la résistance à la traction; et avec une réduction très claire de la perméabilité aux ions chlorure du BAP. Le BAP à l'état frais a présenté une bonne fluidité, bonne résistance à la ségrégation et avait une bonne capacité de passage.

J. Khatib [97] Étudié l'influence de l'inclusion de cendres volantes sur les propriétés de béton autoplaçant. Le ciment Portland a été partiellement remplacé par des CV allant de 0 à 80%. Le rapport E/L étant toujours maintenu à 0,36 pour tous les mélanges. Le chercheur a constaté que le volume élevé de FA peut être utilisé dans le BAP pour obtenir une résistance élevée et un faible retrait. Le remplacement de 40% de ciment avec CV a entraîné une résistance de plus de 65 N/mm² à 56 jours d'âge. Les valeurs d'absorption élevées sont obtenues avec une quantité croissante de CVO.

Boukendakdji et al [23] en raison d'une géométrie sphérique et une taille de particules grossières, provoquant ainsi une réduction de l'air occlus et l'absorption d'eau libre. Cependant, tout le béton CV présente une absorption inférieure à 2%. Il a noté qu'il y a une réduction systématique de retrait que les augmentations de la teneur en CV (80%) le retrait à 56 jours réduit de deux tiers par rapport au témoin. Donc il existe une relation linéaire entre le retrait à 56 jours et la teneur du CV.

I.5. Fumée de silice:

I.5.1. Définition:

Les fumées de silice sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1 µm).

Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent comporter au moins 85% (en masse) de silice amorphe et avoir une surface massique supérieure à 15 m²/g. Les fumées silices ont des propriétés pouzzolaniques.

I.5.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

D. Singh et al [100] ont présenté une étude comparative sur l'effet d'utilisation des différents éléments d'additions dans le BAP à l'état frais. Les auteurs ont utilisé des cendres volantes (0 à 30%), les fumées silices et les poudres de chaux (0 à 15%), le rapport E/L étant maintenu à 0,41. Les résultats ont montré que les combinaisons de la poudre de la fumée de silice et de la chaux réduisent la maniabilité du mélange. Alors que le mélange devient plus dense donc il est exigé une augmentation en teneur de superplastifiant. L'idée confirmée par C. Selvamony et al [126].L'inclusion de FS permet d'obtenir un BAP moins poreux en réduisant le phénomène d'absorption d'eau à 28 jours.

I.5.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

K. Turk et al [99] ont réalisés une étude, sur l'influence de la fumée de silice (SF) et des cendres volantes (CV) sur les propriétés mécaniques du BAP .Pour cela les auteurs ont proposé un plan expérimental qui est basé sur un remplacement partiel du ciment de 5% à20% de FS et de 25% à 40% du CV. Les chercheurs ont montré qu'il y a une augmentation de la résistance à la compression et à la traction des BAP avec FS et CV par apport au BO dans tous les âges. Le module d'élasticité du BAP avec FS était le plus élevé dans tous les échantillons testés, tandis que le BAP avec CV avait été le contraire.

I.6. Laitier à haut fourneau :

I.6.1. Définition :

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la transformation du minerai de fer en fonte brute. Le laitier est ensuite refroidi lentement à l'air et donne un matériau cristallin et compact connu sous le nom de "laitier refroidi à l'air" ou bien il est refroidi rapidement et traité au moyen de jets d'eau pour obtenir un matériau léger désigne : sous le nom de " laitier expansé". Le laitier peut être mélangé avec du ciment après avoir être cobroyé avec le clinker.

Le laitier retient moins d'eau de gâchage que le ciment portland et craint donc d'avantage la dessiccation.

Le béton de laitier expansé a une excellente résistance au feu et une conductivité thermique d'environ 75% de celle des autres bétons.

La stabilité volumique, la résistance aux sulfates et la résistance à la corrosion par les solutions de chlorure font que le béton de laitier armé convient pour plusieurs applications.

D'un point de vue chimique (tableau I.4), les laitiers ont une composition relativement constante.

Tableau I. 4 Composition chimique type de laitiers de haut fourneau.

Oxydes	Laitier français	Laitier nord U S A	Laitier algérien
--------	------------------	--------------------	------------------

SiO ₂	29 à 36	33 à 42	38 à 42
Al ₂ O ₃	13 à 19	10 à 16	8 à 12
CaO	40 à 43	36 à 45	48 à 52
Fe ₂ O ₃	4%	0,3 à 2,0	2
MgO	6	3 à 12	4,7
S	1,5	/	0,15

I.6.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

B. Othman et al [16] ont réalisé une étude expérimentale pour extraire l'effet de laitier granulé de haut fourneau sur les propriétés de béton autoplaçant. Le ciment a été remplacé par 10% à 25% par LT. Ils ont constaté que le remplacement des ciments par le laitier de haut fourneau, a été très bénéfique pour les BAP à l'état frais, avec une tendance à l'amélioration de la maniabilité jusqu'à 20% de laitier avec toutefois une teneur préférentielle de 15% on y ajoutant un superplastifiant à base de polycarboxylate. La résistance à la compression a diminué avec l'augmentation de la teneur en laitier. [79]

M. Uysal et al [79] ont montré que les BAP avec laitier de haut fourneau subissaient une grande résistance contre l'attaque sulfatique.

E. Vejmelkova et al [101] ont fait une étude expérimentale sur les propriétés rhéologiques des BAP contenant des laitiers de haut fourneau et de métakaolin (argile).

Les auteurs ont conclu que les mélanges des BAP avec métakaolin ont montré une limite d'élasticité importante et une viscosité relativement faible, tandis que le mélange avec de laitier de haut fourneau donnant une limite d'élasticité presque nulle et de la viscosité plus élevée. Les deux constituants cités; résultent d'un faible coefficient d'absorption d'eau et d'une faible profondeur de pénétration de chlorure. Avec en outre une bonne résistance au gel dégel après 56 cycles de dégivrage dans une solution saline.

M. Behim et al [39] ont montré que le laitier influe un peu sur l'étalement (la fluidité) des BAP jusqu'à un dosage de 30 %. Au-delà de cette valeur il y a une réduction de la fluidité. Les auteurs ont conclu que les laitiers (addition à caractère pouzzolanique) demandent une quantité d'eau importante par rapport au ciment.

I.6.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

H. Siad et al [49] ont montrés que Les BAP contenant de la pouzzolane naturelle sont plus économiques et en possédant des performances mécaniques comparables à celles des bétons avec de la cendre volante, et meilleures que celles des bétons contenant des fillers calcaires.

K. Ayed et al [102] ont remarqué, que l'hydratation étant lente de la pouzzolane à long terme provoque un retrait plus important en raison d'un volume de C-S-H progressivement plus favorable.

I.7. Poudre de marbre :

I.7.1. Définition :

Le marbre a été couramment utilisé comme matériau de construction depuis l'Antiquité. L'élimination des déchets de l'industrie du marbre, composé de poudres très fines, est l'un des problèmes environnementaux à travers le monde.

Toutefois, ces déchets peuvent être utilisés économiquement avec succès pour améliorer certaines propriétés du béton autoplaçant frais et durci. H. Siad et al [49] Toutes les pierres naturelles qui peuvent être transformées industriellement comme coupées à la taille, polies, utilisées à des fins décoratives et économiquement précieuses sont appelées comme un marbre. Les États-Unis, la Belgique, la France, l'Espagne, la Suède, l'Italie, l'Égypte, le Portugal et la Grèce sont parmi les pays ayant une réserve considérable de marbre. La Turquie compte à elle seule 40% de réserve totale dans le monde. Cette poudre de marbre a montré une valeur d'une grande finesse de Blaine de 1500 m²/kg, avec 90% de particules inférieures à 50 microns et 50% de moins de 7 µm. Ergun [74].

H. Hebhou [125] le produit marbriers algériens sont extraits et transformés conformément aux normes européennes : italienne et françaises en particuliers. Les procédés utilisés en Algérie pour le travail du marbre sont ceux utilisés dans le monde. Le taux de déchets est de 50.000 m³ (carrière à bloc) et 12000t dérivés de marbre à Oran, 10.000m³(carrière à bloc) à Guelma et 8.000m² (usine de transformation) à Sig. Dans cette recherche nous avons introduit les poudres de marbre du gisement de Fli-Fila.

I.7.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

B. Topcu [20] a substitué le liant du BAP avec des quantités (0, 50, 100, 150, 200, 250 et 300 kg/m³). Il a conclu que la maniabilité de nouveau BAP n'a pas été affectée jusqu'à la teneur 200 kg/m³ de marbre [74].

V. corinaldesi et al [73] ont montré que la substitution de 10% de sable par la poudre de marbre, atteint une résistance à la compression maximale ayant la même ouvrabilité du BAP témoin. Sur la base de ces valeurs basses thixotropiques obtenues, l'auteur a conclu que l'utilisation de poudre de marbre ne serait pas accompagnée par une perte d'énergie lors du coulage du béton.

I.7.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

Selon une étude expérimentale de B. demirel [87] a montré que les effets sur l'utilisation des déchets de poudre de marbre (FM) influent sur les propriétés mécaniques de béton. A cet effet, quatre différents mélanges de béton ont été préparés en remplaçant le sable fin par le marbre aux proportions de 0, 25, 50 et 100% en poids. Les résultats ont montré que la porosité du béton a diminué et l'ultra son a augmenté avec un pourcentage croissant d'ajouts de la poussière de marbre et le poids unitaire du béton augmenté.

B. Topcu [20] a substitué le liant du BAP avec des quantités (0 à 300 kg/m³). Il a conclu que les propriétés mécaniques de BAP durcie ont diminué avec des teneurs supérieures à 200 kg/m³ en MD.

Sur la base de ces valeurs thixotropiques basses obtenues, V. corinaldesi et al [73] a conclu que l'utilisation de poudre de marbre ne serait pas accompagnée par une perte d'énergie lors du coulage du béton. B. demirel [87] a démontré que la plus haute résistance à la compression a été obtenue par l'emploi de marbre à 100% en remplacement du sable et en particulier au début du durcissement. B. rai et al [75] ont montré que la résistance à la flexion augmente en majorant le rapport de marbre déchets dans les bétons.

M. Uysal et al [88] a effectué une recherche sur les avantages de poudre de calcaire (LP), poudre de basalte (BP) et poudre de marbre (MP). En tant que remplaçant partiel de ciment Portland. Le rapport E/L est maintenu à 0,33 pour tous les mélanges. Les auteurs ont montré qu'il est possible à exploiter avec succès des déchets LP, BP et MP comme des additions minérales dans la production des BAP. Ils ont conclu que la plus haute résistance à la compression a été obtenue par les mélanges de MP.

L'incorporation des ajouts minéraux réduit le coût par unité de la résistance à la compression des BAP, pour tous les cas précédents, mais le mélange le plus économique restera le FM.

Une enquête expérimentale a été menée par M. uysal [76] pour évaluer la performance du béton autoplaçant, soumis à des températures élevées. A cet effet, le ciment Portland a été remplacé par différentes poudres (calcaire (FC), basalte (BP) et marbre (FM)) pour différents taux de dosage. Les échantillons ont été chauffés à des températures élevées (200 ~ 800° C) à l'âge de 56 jours; afin de déterminer la perte de poids et la résistance à la compression. En termes de durabilité, les résultats ont montré que les échantillons contiennent des ajouts fins présentant un meilleur comportement pour tous les cycles de chauffage.

I.8. La poudre de verre :

I.8.1. Définition :

Ce sont des matériaux élaborés principalement à partir de silice. Il a une structure amorphe lui conférant des propriétés de transparence.

Les verres silico-sodo-calciques utilisés dans le bâtiment sont fabriqués à partir de :

Sable siliceux : composé vitrifiant (70 à 72%); soude (carbonate) et sulfates composés fondants (14%); chaux (calcaire):composées stabilisant (10%); alumine, magnésie, composées améliorant la durabilité vis-à-vis des agents atmosphériques ; colorants éventuellement (oxydes métalliques).

Le verre est largement utilisé pour fabriquer des produits tels que le verre plat (vitres et pare-brise), récipients en verres (bouteilles et pots), verre de l'ampoule (les ampoules), tubes à rayons cathodiques (écrans de télévision, moniteurs, tube vide etc) cité par [29]

En raison de l'urbanisation et l'industrialisation, trois millions de tonnes de déchets de verre est produites chaque année au Royaume-Uni; dont 71% sont des déchets contenant des verres

I.8.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

H. Wang et al [80] ont fait une recherche expérimentale sur l'objectif de recycler des déchets de verres dans le BAP. Cette étude basée sur un rapport de E/ Liant variant de 0,28 à 0,36 et quatre types de sables remplacés par le verre. Le pourcentage de substitution étant de 0 à 30%. Ils ont constaté que le débit chute du béton autoplaçant avec le verre, croit avec l'augmentation de remplacement du sable par le verre et aussi le poids unitaire est réduit .Le remplacement partiel de 30% du sable par les déchets de verre pour LCD, reste conforme aux normes JSCE.

M. liu [81]a élaboré une recherche pour étudier la faisabilité de l'utilisation de verre dépoli au béton autoplaçant (BAP).Les auteurs ont conclu que les propriétés des BAP à l'état frais peuvent être satisfaisantes pour l'intégration jusqu'à 104 kg/m³ en verre dépoli remplaçant environ 10% de ciment et 10% de sable, sans la nécessité d'agent modificateur de viscosité (VMA).

S.C. kou [82] a montré que le débit chute (l'étalement), le rapport de blocage et la teneur en air du mélange RG-BAP croissent avec la teneur en verre recyclé.

H. Wang et al [85] sont arrivés à une conclusion que l'étalement du BAP augmente par inclusion de déchet de verre à une quantité appréciable.M. behim [39] jusqu'à 30% la poudre de verre influe peu sur l'étalement du BAP. Au-delà de cette valeur il y a risque de diminution sur cette caractéristique.

I.8.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

S.C. kou [82]déchet de verre a été utilisé pour remplacer le sable de rivière (dans des proportions de 10% à 30%), et en granit (5% à 15%) pour la fabrication des mélanges de BAP. Par contre les cendres volantes ont été utilisées dans le béton pour supprimer le potentiel de réaction alcali-silice.

Les résultats ont montré que la résistance à la compression, au fendage, à la traction et le module d'élasticité statique de mélanges RG-BAP ont diminué avec une augmentation de la teneur en verre de granulats recyclés. M. Behim [39] a montré que les BAP avec un dosage optimal de 45% de verre obtiennent de meilleures résistances à 7 jours.

H. Wang et al [85] ont réalisé une étude expérimentale sur l'influence de différentes proportions de teneur en verres sur les propriétés mécaniques des BAP. En outre l'auteur a utilisé des agrégats de remplacement par un liquide de sable de verre cristallisé (0% à 30%). Il en résulte que les résultats avec 20% de verre donnent une plus haute résistance à la compression et à la flexion et une plus grande vitesse d'impulsion ultrasonique. Ils ont constaté que lorsque le volume de verre est majoré de 30%, la quantité de pénétration des ions chlorure est réduite, donc la durabilité du béton autoplaçant est améliorée.

A. Shayan [83] ont montré que l'utilisation des particules des verres grossiers substitués par des granulats naturels réactifs peuvent supprimer les alcalis réaction.

S. Kou [82] ont démontré que la résistance à la pénétration d'ions chlorure augmente et le retrait de séchage du BAP diminue lorsque la teneur en verre recyclé augmente. Les chercheurs ont conclu qu'il est possible de produire des BAP avec du verre recyclé.

T. Chai et al [84] ont appliqué une étude pour évaluer la performance du béton autoplaçant avec le verre. Après une cuisson à quatre températures élevées de 300°C à 800°C.

Pour chaque régime de durcissement, cinq mélanges BAP ont été préparés avec du verre recyclé (RG), qui a été utilisé pour remplacer des granulats fins naturels au niveau de 0%, 25%, 50%, 75% et 100%. L'incorporation de dans le mélange de béton a contribué à maintenir les propriétés du béton après la cuisson à haute température comme cité plus haut en raison de la fusion et resolidification du verre recyclé dans la matrice du béton. Pour cela ce remplacement permet une meilleure résistance à la pénétration de l'eau dans la matrice du béton après resolidification à la température 700°C.

I.9. Pouzzolane naturelle:

I.9.1. Définition :

Les pouzzolanes ne durcissent pas par elles-mêmes lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau, mais réagissent, à température ambiante en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium. Les matériaux pouzzolaniques réagissent lentement dans le ciment. Elles améliorent les résistances finales à long terme et la durabilité.

❖ **Pouzzolanes naturelles :**

Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. Elles présentent naturellement ou après activation thermique des propriétés pouzzolaniques.

La silice se trouve dans une phase amorphe (silice opaline) ou sous forme de silicate (zéolites). La Pouzzolane de Pozzuoli et le Trass de Bavière sont 2 roches volcaniques. Le kieselguhr, la gaize ou la terre de diatomée sont issues de dépôt sédimentaire.

❖ **Pouzzolanes industrielles :**

Les pouzzolanes industrielles sont des argiles ou des schistes traités et activés thermiquement, des laitiers de cuivre ou de plombs refroidis à l'air et d'autres produits de l'industrie des ferroalliages.

I.9.2. L'influence sur les propriétés à l'état frais du BAP (rhéologie):

Aichouba et al cité par [125] ont montré, qu'en étudiant l'effet de la pouzzolane naturelle sur les propriétés d'un ciment à base de calcaire, que la substitution du ciment par la pouzzolane de 10 à 30 % incite une augmentation de la consistance normale.

Colak cité par [125] a montré qu'en étudiant les caractéristiques des pâtes de ciment portland contenant différentes quantités de pouzzolanes naturelles, que :

- La substitution du ciment par la pouzzolane nécessite un besoin en eau pour pâtes de ciment à maniabilité constante. L'ajout de 1% de superplastifiant entraîne une réduction significative du rapport eau/ (ciment + pouzzolane).
- La porosité de la pâte augmente avec le taux de substitution du ciment par la pouzzolane.

I.9.3. L'influence sur les propriétés à l'état durci des BAP et leur durabilité :

H. Siad et al [141] ont montré que les BAP contenant de la pouzzolane naturelle active présentant une adhérence presque semblable à celle du BO, malgré que le comportement de BAP à long terme semble être meilleur que celui du BOV. Donc les auteurs ont conclu que l'utilisation PZ comme addition dans les BAP est très bénéfique pour la résistance de ces bétons vis-à-vis de l'adhérence acier, plus économiques et possèdent des performances mécaniques comparables à celles des bétons contenant de la cendre volante et meilleures que celles des bétons contenant des fillers calcaires.

K. Ayed et al [102] ont fait une étude expérimentale afin de démontrer l'influence de la pouzzolane naturelle sur le comportement différé (retrait) du BAP. Les résultats ont montré que le retrait du BAP avec FC est du même ordre que celui du BAP à base de pouzzolane naturelle, du moins au jeune âge. A long terme, l'hydratation lente de la pouzzolane induit un retrait plus important en raison d'un volume de CSH progressivement plus important. La cinétique de

séchage du BAP FC très accélérée conduit à un retrait total plus amplifié durant le premier mois, par rapport au BAP PZ. L'écart entre les deux retraits se stabilise à long terme à environ 20%. Les auteurs ont conclu que l'exploitation des vastes étendues de pouzzolane naturelle subit un avantage écoenvironnementale.

I.10. La combinaison entre les additions:

M. Uysal [79] a présenté une étude expérimentale sur les propriétés de béton autoplaçant. Le ciment portland a été remplacé par des différentes poudres (cendres volantes (CV), laitier granulé de haut fourneau (LT), calcaire (FC), basalte (BP) et marbre (MP)) dans différents taux de dosage. Les tests à la résistance en sulfate par immersion (10% de magnésium et 10% de sodium pour une période de 400 jours.

Les résultats ont montré que, parmi les additions minérales utilisées, CV et LT ont augmenté de façon significative la maniabilité et la résistance à la compression des mélanges du BAP. Le remplacement de 25% de ciment avec CV a entraîné une résistance de plus de 105 MPa à 400 jours. En outre, la présence d'ajouts minéraux a eu un effet bénéfique sur la résistance à l'attaque du sulfate de sodium et de magnésium. D'autre part, la meilleure résistance a été obtenue à partir d'une combinaison de 40% LT et 60% du ciment portland.

B. Craeye et al [28] ont fait une étude pour démontrer l'influence du type d'additions minérales sur le retrait endogène de béton autoplaçant.

Les résultats ont montré que les différents types d'additions minérales utilisées n'ont pas donné une grande différence entre les diamètres des pores de la microstructure. Les auteurs ont conclu que pour cette raison il ya aucune distinction significative entre les valeurs finales du retrait endogène.

N. Diamantonis et al [77] ont fait une recherche expérimentale sur l'influence des additions fines (calcaire, la fumée de silice, les cendres volantes, pouzzolane, nano-fumée de silice) sur la viscosité plastique de la pâte de ciment. Les résultats ont montré que le dosage de poudre de calcaire (40%) peut améliorer le comportement rhéologique des pâtes de ciment, et la synergie de (20%) FC et CV pouvant conduire à la densité de compactage supérieure. Les pâtes de ciment qui combinent ces deux caractéristiques, pourrait servir de base pour la production des bétons autoplaçants. Ci-contre figure I.1

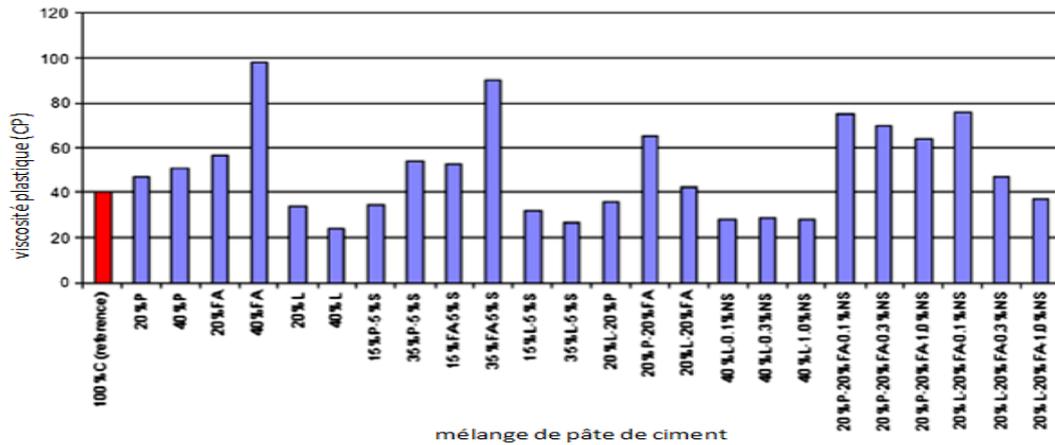


Figure I. 1 L'influence de la nature des additions minérales (mélange binaire et ternaire) et le taux de substitution dans le ciment sur la viscosité plastique du BAP.[77]

A. Belaidi et al [78] ont réalisé une étude sur l'effet de substitution du ciment par la pouzzolane naturelle et poudre de marbre sur les propriétés rhéologiques, mécaniques des mortiers et des bétons autoplaçants. Le ciment a été partiellement remplacé par différents pourcentages de pouzzolane et de poudre de marbre (10-40%). Les résultats indiquent la découverte d'amélioration de la maniabilité. Par contre la résistance à la compression des BAP avec cette combinaison a diminué.

M. Sahmaran et al [23] ont réalisé une étude sur quatre types différents des additions minérales (la cendre volante, de la poudre de brique, poudre de calcaire, et de la kaolinite), trois superplastifiants (SP) et deux adjuvants modifiant la viscosité (VMA). Dans le cadre du programme expérimental.

Ils ont constaté que l'utilisation des poudres de cendres volantes et de calcaire dans le mortier provoquent une augmentation de façon significative leur maniabilité. D'autre part, en particulier les cendres volantes augmentent le temps de prise des mortiers. Ils ont conclu aussi, que la finesse des ajouts minéraux n'est pas le seul paramètre pour améliorer la maniabilité d'un SMC. Les caractéristiques de surfaces lisses et la forme sphérique de la FA sont des paramètres importants aussi pour améliorer les caractéristiques d'ouvrabilité des mélanges SMC.

Park et al. [6] ont étudié l'influence de GGBFS, FA et la fumée de silice sur la rhéologie des pâtes. Les liants cimentaires ont été conçus comme un composant (PC), deux composants (PC-GGBFS, PC-FA, et PC-SF), et trois composants (PC-GGBFS-SF et PC-FA-SF). Ils ont constaté que pour les systèmes de trois composants, les propriétés rhéologiques des pâtes de ciment sont améliorées par rapport à des systèmes binaires.

I.11. Bilan :

A base de tableau I.4 l'on peut conclure que le dosage et la nature des additions minérales des BAP jouent un rôle prépondérant dans les comportements des BAP à l'état frais et durci.

Donc un dosage préférentiel (optimal) des constituants permet d'aboutir aux BAP de bonne qualité et aux résultats performants.

Tableau I. 5 récapitulatif de l'incidence des additions minérales sur les propriétés des BAP.

	Référence	poudres		Ciment (kg/m ³)	Eau (kg/m ³)	W/P by wt	Adju vant	Sable (kg/m ³)	Granulats (kg/m ³)	boite -L (H2/H1)	Epalement D (mm)	V-automoir T (s)	f _{ca} (MPa)
		%	kg/m ³										
BAP avec les cendres volantes	Bouzoubaa et al [1]	40 ~ 60	160 ~ 240	161 ~ 247	136 ~ 190	0,35 ~ 0,45	Sp et AE	842 ~ 866	842 ~ 866		320 ~ 650	3 ~ 7	26 ~ 48 (cylindre)
	Yazici, H [90]	0 ~ 60 FA 0 ~ 10SF	0 ~ 360	600 ~ 180	165		Sp	880-804				20 ~ 16	61,8 ~ 28,4
	Siddique, R et al [91]	0 ~ 30	85 ~ 195	465 ~ 355		0,41 ~ 0,62	Sp		590	0,6 ~ 0,95	590 ~ 675		60 ~ 40
BAP avec les marbres	Neelam, P et al [92]	30 ~ 50		500			Sp		876-856		620-678		29-39,5
	I B Topcu et al [20]		50 ~ 300	450 ~ 225	191 ~ 197		SP	RS = 326-321 CSS = 597-588	CS I (6/12mm) 466-459 CS II (12/20 mm) 192-189		520-750		
	Ali Ergun [74]	5 ~ 10	15 ~ 22,5 ~ 30	285 ~ 277,5 ~ 270	150		SP	312,3	(6-12) 648,7 (12-22) 565		700-710	12-16	39,9 → 7,5%
BAP avec les LT	M Uysal et al [79]	10 ~ 30	55 ~ 165	385-495	182	0,33	SP	867-863	CS I = 466-463 CS II = 309-312	0,87-0,94			77,5 → 20%
	Baboo Rai et al [75] mortier	10 ~ 20	60 ~ 240	1140-960	528			3600					38 → 5%
	M. Behim et al [39]	30-60	105-210	350	200		SP	S 0/0,5 = 495 S 0,5/5 = 249	G 3/8 416 G 5/15 499		550-700		50 → 60%
BAP avec les FC	M Uysal et al [79]	20-60	110-330	440-220	182	0,33	SP	866-861	CS I 465-461 CS II 310-308	0,94-1	700-730	10-14	77,9 → 20%
	O Boukendakdji et al [16]	10-25	44 ~ 110	420-352	185		SP	867	(3/8)280 (8/15)560		660-787	4-14,8	62 → 10%
BAP avec les FC	M. Behim et al [39]	30-60	105-210	350	200		SP	S 0/0,5 495 S 0,5/5 249	G 3/8 416 G 5/15 499	0,85-0,93	700-720		40 → 60 %
	H. Siad et al [49]		70-170 ~ 260	260 - 450	188- 198- 199		SP	(0/6) 839,7- 814-807,1	(4/6) 171,2-165,9-164,5 (6/12) 687,3-666,2-660,6		650-670		71,8

I.12. CONCLUSION

L'écoulement des BAP peut être obtenu par l'emploi de super plastifiant (voir annexe) alors que pour rétablir un niveau de viscosité convenable permettant de diminuer le risque de ségrégation, l'emploi d'additions fines est parfaitement justifié. Le caractère inerte ou réactif de l'addition peut avoir des effets positifs sur le béton frais pour l'amélioration de la fluidité et l'élimination des risques de ségrégation en relation avec le béton durcit par l'augmentation des résistances mécaniques.

Dans la littérature nous pouvons lire, que de nombreuses études justifient les effets favorables des additions minérales micronisées sur les propriétés des bétons à l'état frais et à l'état durci. Notamment les fillers calcaires qui sont les plus utilisés. Cependant peu d'études ont été conduites sur le laitier granulé de haut fourneau et les poudres de marbre.

Le chapitre suivant a été consacré sur l'étude bibliographique sur les différentes approches et méthodes de formulations des bétons autoplaçants à travers le monde.

CHAPITRE II :
MATERIAUX DE BASE UTILISES ET LES ESSAIS DE
CARACTERISATION.

II.1. Introduction

L'objectif de notre chapitre est de donner le bilan des recherches sur la caractérisation à l'état frais et durci des BAP, nous décrirons au début les matériaux utilisés pour les essais envisagés. Nous nous sommes intéressés à l'ouvrabilité de béton, ainsi qu'aux propriétés mécaniques, Pour ce qui est de la durabilité du BAP, nous nous intéresserons au retrait et à la perte en masse dans deux milieux (l'air et l'eau), et à la fin en tirerons les conclusions.

II.2. Matériaux de base utilisés

En utilisant une gamme de constituants disponibles et très utilisés localement pour confectionner un béton autoplaçant. Les différents constituants utilisés sont:

- Ciment du type CEM I/42.5 ,
- Des fillers calcaires UF20 de la carrière ENG de Khroub, (FC)
- Poudre de marbre (FM)
- Laitier haut fourneau (FL)
- Sable de Oued souf
- Gravier,
- Un superplastifiant GLENIUM,
- L'eau du robinet du laboratoire de génie civil de l'université de Bordj Bou Arreridj,

Dans cette partie, on s'intéresse aux matériaux qui ont été utilisés avec les différents essais expérimentaux de notre programme de recherche.

II.2.1. Les granulats

Les normes NF P 18-101 et NF P18-541 définissent les caractéristiques des granulats, pouvant être utilisés pour la confection des bétons. Les granulats utilisés dans les travaux de bâtiments et de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et à des caractéristiques propres à chaque usage, il est nécessaire d'en établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire.

a. Caractéristiques géométriques :

❖ analyse granulométrique :

Les granulats sont d'origine naturelle concassés calcaires. De cette carrière nous avons pu commander et obtenir trois classes granulaires délivrées sous les appellations commerciales suivantes : Sable 0/3, Gravier 3/8, 8/15.

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon.

L'essai consiste à classer les différents grains qui constituent l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. L'échantillon étudié est mis sur le tamis supérieur et le classement des grains est obtenu par vibration de la colonne de tamis.

Les résultats de l'essai effectués pour les granulats utilisés va être présenté dans la Figure II.1.

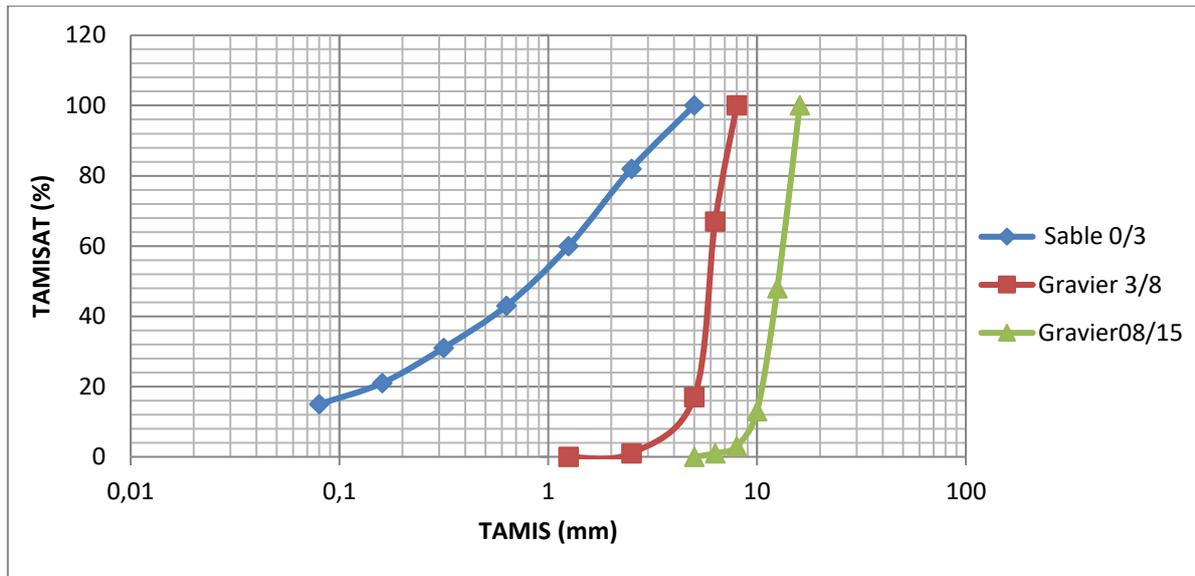


Figure II. 1Caractéristiques géométriques des granulats utilisés

b. Caractéristiques physiques des granulats utilisés:

❖ Mesure de la propreté de granulat :

La propreté de granulats peut être mesurée en deux méthodes :

- En utilisant les essais d'équivalents de sable « NF P 18-598 » qui permettent donc la quantité des éléments les plus fins contenus dans les granulats.
- Par l'essai au bleu de méthylène « NF P 18-592 » qui permet d'évaluer le degré d'activité des particules fines argileuses qui sont responsables, dans un large mesure de désordres et de non qualité dans les bétons.

❖ **Détermination de la masse volumique absolue et apparente des granulats :**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. De même que l'on distingue le volume apparent (c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides) et le volume absolu (sans tenir compte du volume des vides (compris ceux formant la porosité fermée)).

❖ **mesure de coefficient d'absorption des granulats : «XP P 18-545»**

Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures.

Les résultats obtenus de nos essais ; sont montrés dans le tableau II.1.

Tableau II. 1 Caractéristiques physiques des granulats utilisés

Propriétés mesurées	Désignation			Norme de spécifications XP P 18-545 et NF P 18-598
	0/3	3/8	8/15	
Masse volumique absolue (t/m ³)	2,60	2,56	2,62	/
Masse volumique apparentes (t/m ³)	1,46	1,33	1,37	/
Equivalent de sable (%)	69	/	/	60 ≤ ES <70
Valeur au bleu de méthylène	0,38	/	/	/
Coefficient d'absorption (%)	0,14	2,28	1,77	V _s = 2,5

Le résultat qu'on a trouvés conformes aux spécifications de la norme «XP P 18-545», mais la norme «NF P 18-598» qui a conformes le sable qu'en a obtenus est un sable argileux de propreté admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.

II.2.2. Ciment:

Les ciments utilisés sont de type CEM I 42,5.

Les différentes caractéristiques que ce soit chimiques, physiques ou mécaniques du ciment utilisé sont établies sur des fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'usine même. Les différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants.

Les résultats sont représentés la composition chimique du clinker dans le tableau II.2, est conforme les fourchettes sont représentés.

Tableau II. 2 Composition chimique du clinker.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Chlorures	CaO libre	Résidus insolubles	P.A.F
	27,83	6,21	3,12	57,22	0,94	2,02	/	/	0,00	0,88	2,28	2,41
les fourchettes de spécifications	/	3.7< Al ₂ O ₃ <7.1	1.7< Fe ₂ O ₃ <5.7	/	/	/	/	/	/	0.6<CaO libre < 2.8	/	/

Les résultats sont représentés la composition minéralogique du clinker dans le tableau II.3, est conforme les fourchettes sont représentés.

Tableau II. 3 Composition minéralogique du clinker.

Eléments	Abréviation	Teneur (%)	les fourchettes de spécifications
Silicate tri calcique	C ₃ S	56,60	45.0 < C ₃ S < 79.7
Silicate bi calcique	C ₂ S	22,98	5.7 < C ₂ S < 29.8
Aluminate tricalcique	C ₃ A	9,87	1.1 C ₃ A < 14.9
Alummino - ferrite tetracalcique	C ₄ AF	8,25	2.0 < C ₄ AF < 16.5

Les résultats obtenus conformes aux normes sont représentés propriétés physiques du ciment dans le tableau II.4:

Tableau II. 4 propriétés physiques du ciment

Désignation	Temps de prise		Expansion le Chatelier		Surface spécifique (BLAINE)	Consistance normale
	Début	Fin	à chaud	à froid		
CEM II/A 42,5 d'EI- Hamma	2h 50min	4h 06min	2,9	1,65	3891	26,91
Norme de spécifications NF EN 197-1	Li≤1h	Li≤2h Ls≤5.16h	/	/	/	/

Les résultats obtenus conformes aux normes sont représentés résistances mécaniques du ciment dans le tableau II.5:

Tableau II. 5 Résistances mécaniques du ciment.

Essais	Age		
	2jours	7jours	28jours
Compression (bars)	143,2	266,4	433,1
Norme de spécifications NF EN 197-1	Li ≥125	/	Li ≥ 425 Ls ≤ 625
Flexion	35,7	58,3	77,9

II.2.3. Les additions minérales :

a. Filler calcaire :

Les additions que nous avons utilisées dans notre étude sont des éléments qui représentent des dimensions inférieurs à 80 μ m. Des fillers calcaire, provenance ENG d'El Khroub, noté UF20; dont les principales caractéristiques que nous présentons proviennent des fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'ENG, différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants.

Le tableau II.6 sont représentés la composition chimique du fillers calcaire:

Tableau II. 6 Composition chimique du fillers calcaire.

Composant	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Perte au feu	Al ₂ O ₃	CaCO ₃	SO ₃	PH
Teneur en %	0.06	0.02	0.01	43.8	0.09	99	0.01	9

Le tableau II.7 sont représentés les caractéristiques physiques des fillers:

Tableau II. 7 Caractéristiques physiques des fillers

Fillers	Poids spécifique	Densité apparente	Blancheur	Prise d'huile	Humidité
UF 20	2.7 Kg/l	1.23	92%	18%	0.1%

En ce qui concerne les morphologiques du filler calcaire utilisé, le diamètre moyen des grains des fillers « diamètre pour lequel 50% des fillers sont inférieur » est de l'ordre 19 μ . 98% des éléments du fillers présentent un diamètre inférieur à 200 μ , et 26% un diamètre inférieur à 10 μ .

b. Laitier de haut fourneau :

Le laitier granulé utilisé dans cette étude a été fourni par le complexe sidérurgique d'El Hadjar situé à Annaba. Il a la forme d'un sable de granulométrie 0/3, de couleur claire, de masse volumique apparente de 1 g/cm³, de masse volumique absolue de 2.9 g/cm³ et la surface spécifique est de 2000 cm²/g. Les valeurs portées sur le tableau II.8, relatif à sa composition chimique, indique une teneur importante de silice.

Tableau II. 8 Composition chimique du laitier d'El Hadjar.

Elément	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	PF
%	38.89	7.07	4.09	40.71	4.56	0.04	0.72

c. Poudre de marbre :

La poudre de marbre que nous avons utilisé dans notre étude, provenance fil-fila (willaya Skikda). Dont les principales caractéristiques pétrographiques minéralogique, physico-mécanique et chimique que nous présentons proviennent avec de la carrière de fil-fila (willaya Skikda), différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants.

Le tableau II.9 sont représentés les caractéristiques pétrographiques minéralogique des poudre de marbre:

Tableau II. 9 Caractéristiques pétrographiques minéralogique

Nature pétrographique	Couleur	Aspect	Texture	Structure
Calcaire microcristallin	Blanche	Homogène	Massive	Microcristallin

Le tableau II.10 sont représentés Composition minéralogique des poudre de marbre:

Tableau II. 10 Composition minéralogique

Calcite	Quartz	Oxyde de fer
100%	/	/

Le tableau II.11 sont représentés les caractéristiques physico-mécanique des poudre de marbre:

Tableau II. 11 Caractéristiques physico-mécanique

Masse volumique en g/cm ³	2.763
Compacité en %	98 .03
Porosité en%	1.96
Coefficient d'absorption d'eau en %	0.39
Coefficient de saturation en %	0.87
Résistance à la compression a l'état sec en Kg/cm ²	961
Résistance à la compression après refroidissement et réchauffement en g/cm ²	966
Résistance à l'usure en g/cm ³	1 .82
Résistance au choc en kg/cm ²	

Le tableau II.12 sont représentés les caractéristiques chimique des poudre de marbre:

Tableau II. 12 Caractéristiques chimique

Ca co ₃	Mgo	Cao	Fe ₂ o ₃	Al ₂ o ₃	Si _o 2	P ₂ C
99.5	1.03	54.86	0.04	0.08	0.15	44.26

II.2.4. L'adjuvant (super plastifiant) (EN934-2) :

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 5% du poids de ciment permet d'améliorer certaines de ses propriétés,

Dans notre étude on a utilisé le Super plastifiant GLENIUM 27: (haut réducteur d'eau pour béton à faible E/C, hautes performances et long maintien d'ouvrabilité), adjuvant a été développé pour l'utilisation dans l'industrie du béton où haute qualité, durabilité, performance et ouvrabilité sont requises.

Le GLENIUM 27 est un adjuvant pour béton qui doit être incorporé isolément. L'effet optimal est obtenu par incorporation du GLENIUM 27 dans le béton en différé, c'est-à-dire après l'addition de 70 % de l'eau de gâchage dans le malaxeur. Toutefois, il est possible d'incorporé le GLENIUM 27 dans l'eau de gâchage, différentes caractéristiques sont présentées dans le tableau II.13.

Tableau II. 13 Les caractéristiques de GLENIUM 27.

Aspect	liquide
Couleur	brun
Masse volumique (MA 002)	$1.05 \pm 0,02\text{g/cm}^3$
PH (MA003)	7.01 ± 1
Teneur en chlorures (MA 004)	< 0.1%
Extrait sec	$20 \pm 2\%$
Na20 eq	< 2%

II.2.5. Eau de gâchage :

L'eau utilisée dans notre travail est l'eau de robinet de laboratoire de génie civil de l'université de bordj bou arreridj.

Nous avons soumis un échantillon de cette eau à une analyse chimique dont les résultats recueillis sont présentés au tableau II.14.

Tableau II. 14 Les résultats de l'analyse chimique effectuée sur l'eau utilisée.

Concentration en matières et sel dissout dans l'eau (mg/l)		
Echantillons	Concentrations	Norme de spécifications NFP 18-303
Matière en suspension	Traces	/
Sels dissous	1470	/
Sulfates (SO_4^{-2})	413,56	Ls = 2000
Chlorures (Cl^-)	298,2	/
PH	7,9	Li = 4
Calcium (Ca^{+2})	36	/
Magnesium (Mg^{+2})	60	/

Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	27	/
Carbonates	3,5	/
Temperature (°C)	19	/

Les résultats obtenus répondent aux prescriptions de la norme NF P 18-303 relative à la concentration en matières en suspension et sels dissous.

II.3. Les essais de caractérisation des BAP

II.3.1. Caractérisation a l'état frais :

Avant d'accepter une composition comme étant celle d'un BAP, il faut s'assurer que les propriétés du béton à l'état frais à certains critères établis selon les recommandations. Différents essais spécifiques permettent de caractériser les BAP à l'état frais. On présentera ceux qui ont été utilisés dans cette étude : Essai d'étalement ou slump flow, essai de la boîte en L, essai de V funnel, essai de stabilité au tamis, essai de l'air occlus, la densité.

a. Essai d'étalement « Slump Flow »:

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow) selon la norme NF P 18-451 (NA 431).

Avec des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. Ainsi différentes classes d'étalement ont été définies :

- Classe SF1 : étalement compris entre 550 et 650mm
- Classe SF2 : étalement compris entre 660 et 750mm
- Classe SF3 : étalement compris entre 760 et 850mm

Si le BAP de classe d'étalement SF1 est pour la réalisation d'éléments non ou très faiblement armés celui de classe SF3 est dédié aux ouvrages fortement ferrailés.

La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné. Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

Le matériel utilisé pour pratiquer cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque lisse de largeur égale à 120 cm. La plaque était systématiquement humectée à l'aide d'une éponge en chassant tout excès d'eau. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis à le soulever et à mesurer le diamètre moyen de la galette d'étalement obtenue.

$$D_{moyen} = \frac{D1 + D2}{2}$$

La Photo II. 2 présentés le cône d'Abrams utilisé.

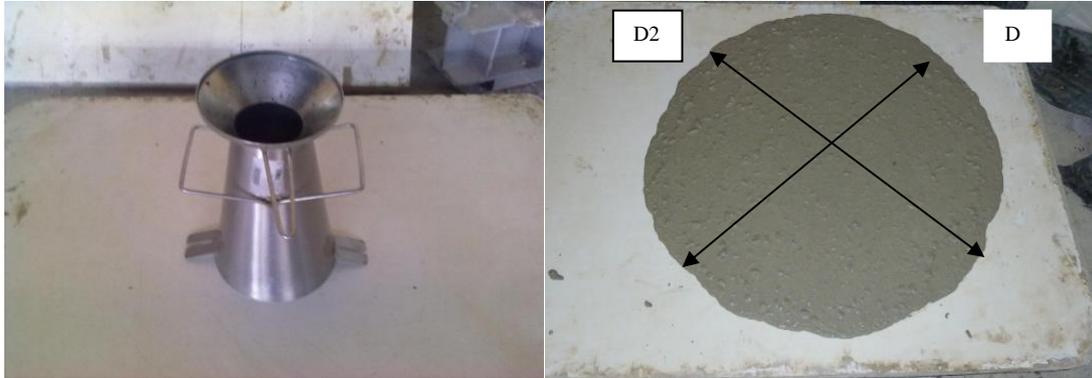


Figure II. 2 le cône d'Abrams utilisé.

b. Le temps d'étalement T50 :

Lorsque l'on effectue un essai d'étalement, on peut mesurer le temps T50, à partir du moment où on soulève le cône, pour que la galette de béton atteigne un diamètre de 500 mm. Pour un même étalement final, plus le béton sera visqueux, plus il mettra de temps à s'affaisser et plus la valeur T50 sera élevée. On s'attend donc à ce que cette valeur soit reliée à la viscosité de béton (Voir la Photo II. 3).



Figure II. 3 Le cône d'Abrams utilisé.

c. Essai de la boîte en L :

La cohésion du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée peuvent se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L qui a présentés par la Photo II. 4. Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures. La méthode consiste à remplir de BAP

la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe, à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (formé de 3 barres d'armature 16 mm distantes de 50 mm). Après écoulement du béton (Il devrait être compris entre 3 et 7 secondes), on mesure la différence de hauteur dans les parties verticales (H1) et horizontales (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage $H2/H1$ qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.



Figure II. 4 Essai de boîte en L

d. Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

La procédure d'essai du V-funnel est la suivante: l'entonnoir dont les dimensions sont définies par la Photo II.5 est rempli de béton jusqu'à arasement. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont 11 mesures le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Dans la littérature, ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du béton autoplaçant. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible.

Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le béton autoplaçant.



Figure II. 5 d'entonnoir (V-Funnel)

e. Essai de stabilité au tamis :

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.

Puis au bout de 2 minutes, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 et 20 %.

Photo II. 6: est présentés stabilité au tamis



Figure II. 6 Stabilité au tamis.

f. Densité :

On se sert toujours de la chambre inférieure de l'aéromètre remplis par le mélange avant la mesure de l'air occlus, si les poids de la chambre pleine et vide sont successivement P et P0, la densité du mélange frais est ρ tel que : ($V = 7$ litres, volume de la chambre inférieure).

$$\rho = \frac{P - P0}{V}$$

g. Air occlus :

La mesure de l'air occlus a été effectuée au moyen d'un aéromètre de 7 litres modèle «CONTROLS ». (Photo II. 7): l'aéromètre utilisé.

On commence d'abord par remplir la chambre inférieure de l'appareil par le béton, on fixe ensuite la chambre supérieure, on injecte de l'eau à l'aide d'une pissette dans le premier robinet, le deuxième est ouvert, quand l'eau commencera à sortir de ce dernier on ferme les deux robinets et on applique une pression en actionnant la pompe manuelle intégrée jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre de l'appareil indique la valeur de référence 0%.

On ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres (supérieures et inférieures), le mélange est alors comprimé et le pourcentage d'air occlus est directement indiqué par l'aiguille du manomètre.



Figure II. 7 L'aéromètre utilisé.

II.3. Caractérisation a l'état durci:

Les essais sur béton durci visent à vérifier l'homogénéité des propriétés du matériau en place.

a. Essai de compression:

Les essais de compression simple sont réalisés à 2, 7, 28 jours par écrasement d'éprouvettes de bétons cylindriques 10x20cm, sur une presse CONTROL (Photo II.8), avec un asservissement constantes croissant à la vitesse de 0.5 kN/s $\pm 10\%$ jusqu'à la rupture. Les faces d'appui des éprouvettes sont rectifiées au lapidaire, pour acquérir une planéité de la surface et éviter la dissymétrie lors de l'essai de compression, les éprouvettes sont placées verticalement et leurs

faces sont en contact direct avec les plateaux de la presse. La résistance à la compression est exprimée à $0,5\text{N/mm}^2$ près par la relation suivant :

$$f_c = F_{max}/A_c$$

Avec F_{max} (en la charge maximale, et A_c (en mm^2) la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée.

La presse utilisée est d'une capacité maximale de 3000 kN, asservie en force. La résistance en compression a été évaluée suivant la norme NF P 18-406 : les essais ont été réalisés sur l'échelle de force la mieux appropriée (600 ou 1500 kN).



Figure II. 8 Appareil de compression.

b. Essai du cube équivalent :

La résistance à la compression du béton est déterminée en utilisant des parties d'un prisme d'abord mis à l'essai de flexion. Les extrémités d'un tel prisme sont intactes après rupture en flexion et, le prisme ayant généralement une section carrée, un cube (équivalent) ou (modifié) peut être obtenu par application d'une charge au moyen de plaques métallique carrées de même section que le prisme. Il est important que les deux plaques soient placées rigoureusement à la verticale l'une au-dessus de l'autre; (la photo II.9) montre un dispositif permettant de réaliser correctement un tel essai. L'éprouvette doit être placée de façon que la face supérieure du prisme, non coffrée lors du coulage, ne soit en contact avec aucune des deux plaques.



Cube 7×7× 7cm

Figure II. 9 Appareil de compression d'un cube équivalent.

Cet essai est dans décrit dans les normes BS 1881 : partie 119 : 1983 et ASTM C 166-90. La norme ASTM autorise l'utilisation de prisme de section rectangulaire.

La résistance obtenue lors d'un essai sur cube modifie est à peu près la même que celle d'un cube normalisé de même dimension. En fait, la répartition des contraintes des parties qui ne sont pas chargées peut entraîner une légère augmentation de la résistance finale 12.4 en sorte que l'on peut supposer que la résistance d'un cube modifié est, en moyenne, de 5% supérieure à celle d'un cube moulé de même dimension.

c. Essai de traction par flexion :

Les essais de flexion trois points sont réalisés à 2, 7,22 et 28 jours de mûrissement du béton sur des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm. Les échantillons sont soumis à un moment de flexion par application d'une charge constante et continue au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs en trois points sur une presse CONTROL à vérin hydraulique et d'une capacité de 3000 KN (Photo II.10). La mesure est quasi-statique et la vitesse d'asservissement du compactage est très faible, de 0,1 KN/s \pm 1%. Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge sont apprêtées et présentent des surfaces planes.

À partir de la charge maximale, la résistance à la traction par essai de flexion trois points peut être calculée. La résistance de traction à la flexion est donnée indirectement par la contrainte correspondant à la force maximale F_{max} flexion admissible par l'éprouvette en flexion trois points avant rupture. La résistance à la flexion dans le béton testé à 28 jours vaut dans le cas d'une charge unique (flexion trois points) :

$$f_f = 3F_{max}L/2bh^2$$

Avec L la distance entre les axes des rouleaux porteurs, et b et h les dimensions latérales de l'éprouvette.



Figure II. 10 Le dispositif de l'essai de flexion 3 point.

II.4. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons interprété les caractéristiques des matériaux et des essais pour la confection des BAP.

Dans le cadre de l'étude de composition des bétons pour notre recherche.

Nous concluons ce qui suit :

Les matériaux que nous avons utilisés présentent des caractéristiques de fabrication intrinsèques adéquates pour la fabrication des bétons des classes demandées.

Dans le cinquième chapitre, sont présentés les résultats permettant l'évolution des performances des différents mélanges retenus sous différents types de corps d'épreuve étudiés ainsi ceux décrivant les évolutions de ses principales caractéristiques physiques et mécaniques en fonction des différents additions.

***CHAPITRE III :
CONCEPTION DES BAP A BASE DES FINES
RECYCLEES.***

III.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter la méthode de formulation des bétons autoplaçants retenus.

Les matériaux utilisés (ciments, granulats, fillers calcaires) sont identiques dans les formulations de BAP. La fabrication des BAP a pu être réalisée sans problème avec des moyens conventionnels.

Tous les essais menés au cours de cette étude, ont été effectués sur béton. Les premiers concernent l'étude des propriétés des mélanges à l'état frais afin d'estimer leur fluidité et leur ségrégation dynamique et statique (essais d'étalement au cône, de la boîte en L, V-funnel et de stabilité au tamis). Ensuite, divers essais relatifs aux domaines mécaniques ont été réalisés sur les mêmes mélanges à des échéances précises (performances mécaniques, retrait et perte en poids).

III.2. Compositions des mélanges retenus :

III.2.1. Méthode de formulation :

Par définition, un béton autoplaçant (BAP) est un béton très fluide, homogène et stable, qui se met en place par gravitation et sans vibration. Il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique.

A partir de la littérature, on avait un grand nombre de méthodes de formulations pour les bétons autoplaçants.

En 1993, les chercheurs de l'université de Tokyo (Okamura et Ozawa et Ouchi et al.) ont été les premiers à imposer une méthode de formulation des BAP. Leur idée principale, c'était le premier essai à effectuer sur la pâte et mortier dans le but d'examiner les propriétés et la compatibilité de superplastifiant, le ciment, les granulats fins et les additions minérales, ainsi suivis par des essais sur les bétons.

L'avantage principal de cette méthode et d'avoir évité la répétition pour le même type de contrôle de qualité sur le béton; obtenant ainsi un gain de temps à moindre prix. Toutefois, l'inconvénient de cette méthode est dû par la difficulté de l'application de la procédure de cette formulation à la mise en œuvre.

Su et al [66] ont présenté une formulation afin de permettre à réaliser un BAP de grande qualité par rapport à la méthode développée par l'Association béton prêt à la japonaise (JRMCA). Cette méthode est plus simple, plus facile pour la mise en œuvre et moins de temps, exigeant une plus petite quantité de liants, pour un coût avantageux.

En 2006 Y.Wang et al [67] ont proposé une étude complémentaire sur la formulation Su et al[66]qu'en ajoutant une procédure pratique de calcul du facteur PF. En 2008 J.Shen[63] ont préconisé une méthodologie théorique pour calculer PF qui est inspiré d'une courbe expérimentale de la norme ASTM C28 voir la figure III.1:

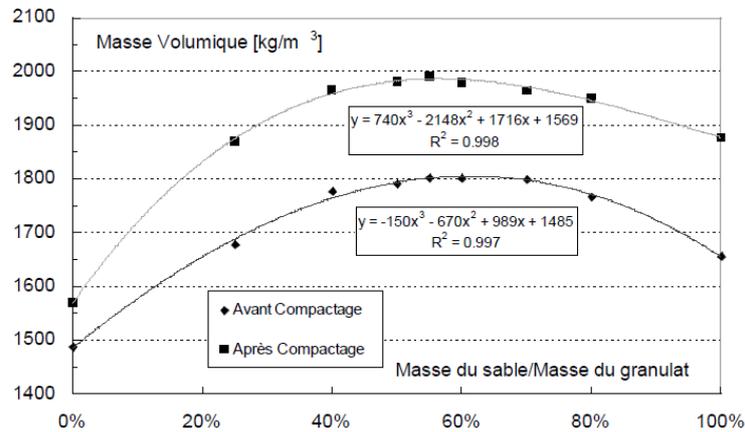


Figure III. 1 Essai de compactage selon ASTM C29/C29M¹ [63].

Dans ce chapitre nous privilégions, des démarches qui puissent stimuler l'innovation tout en tenant compte des contextes très divers dans lesquels le béton sera produit. Il est souhaitable de chercher à optimiser des solutions en fonction de matières premières locales.

Nous présenterons une étude de la formulation des bétons autoplaçants à base de différentes additions et sans agent de viscosité, à partir des méthodes précédentes.

Dans cette étude les exigences spécifiées par la Société japonaise de génie civil (JSCE) (Japan Society of Civil Engineers, 1998) restent conformes.

Après avoir sélectionné les matériaux qualifiés, en faisant quelques essais avec des ajustements, afin d'obtenir une bonne fluidité et une bonne résistance à la ségrégation suivant les exigences voir tableau III.1.

Les paragraphes suivants on détaille les procédures de la méthode de formulation et avec la l'obtention des résultats des essais à l'état frais et durci d'un BAP avec une interprétation relative.

III.2.1.1. Les étapes du calcul :

Premièrement détermination, du volume des granulats requis, en plus de la pâte. A ce stade quelques essais sur la fluidité et d'autres propriétés seront nécessaires. La quantité des fines et le dosage en supeplastifiant ainsi que la détermination de la quantité d'eau sont des facteurs principaux influençant sur les essais d'étalement, V-funnel....

En traçant un organigramme pour résumer toutes les étapes de calcul, en utilisant un logiciel **Matlab** afin de préserver, avec précision pour aboutir à de bons résultats.

III.2.1.2. Des commentaires et discussions sur la formulation :

Cette méthode introduit des paramètres importants, en prenant en considération la nature des fines et leurs teneurs en eau absorbée (la finesse) par exemple le rapport E/L.

Dans les granulats l'incorporation du facteur PF reste liée avec le degré de compacité, la forme et la nature des agrégats.

Mais cette formulation ne tenant pas compte de la classe des granulats et donnant une quantité plus élevée d'eau, d'où une nécessité de modification sur cette application. En tenant compte de la moyenne de résultats, obtenus par plusieurs auteurs issus de la littérature des classes 3-8 ; 8-15 plus précisément en Algérie.

D'où l'obligation de cette formule relative au rapport de la teneur en eau.

$$we = 1000 - Wgro/Ggro - Wgrav/Ggrav - Ws/Gs - C/Gc - Wf/G - Wsp/Gsp$$

III.2.1.3. Les normes et les valeurs des paramètres de formulation:

Le tableau III.1 récapitule les éléments essentiels pour la formulation.

Tableau III. 1 Les normes et les valeurs des paramètres de formulation.

Les paramètres	Les valeurs	La source
PF	1.12	Suivant l'auteur shene [63]
La proportion du sable /agrégat (s/a)	52%	Suivant la norme ASTM C29
Le pourcentage de SP (n%)	1.8%	Fiche technique [1]
La masse d'extrait sec du SP (m%)	40%	
La teneur d'air (V _a)	1.5%	La norme ASTM C29
E/C; E/FC; E/FT; E/FM Respectivement	0.43; 0.45; 0.37; 0.50	Suivant la finesse et la teneur d'absorption (littérature) en Algérie
La résistance du ciment <i>f_{c'}</i>	45 MPA	Fiche technique du ciment

La résistance pour 1 kg ciment	0.11 MPA	Littérature
Le pourcentage de gros gravier /granulat et gravelette/granulat	0.5812 0.4166	La moyenne des cinq auteurs dans la littérature

Tableau III. 2 : Les densités de différents constituants utilisés.

Le matériau	La densité absolue (kg/m³)	La densité apparente
Sable	2600	1460
Gravier (8/15)	2602	1370
Gravelets (3/8)	2560	1330
Ciment	3100	
FC	2700	
FL	2900	
FM	2750	

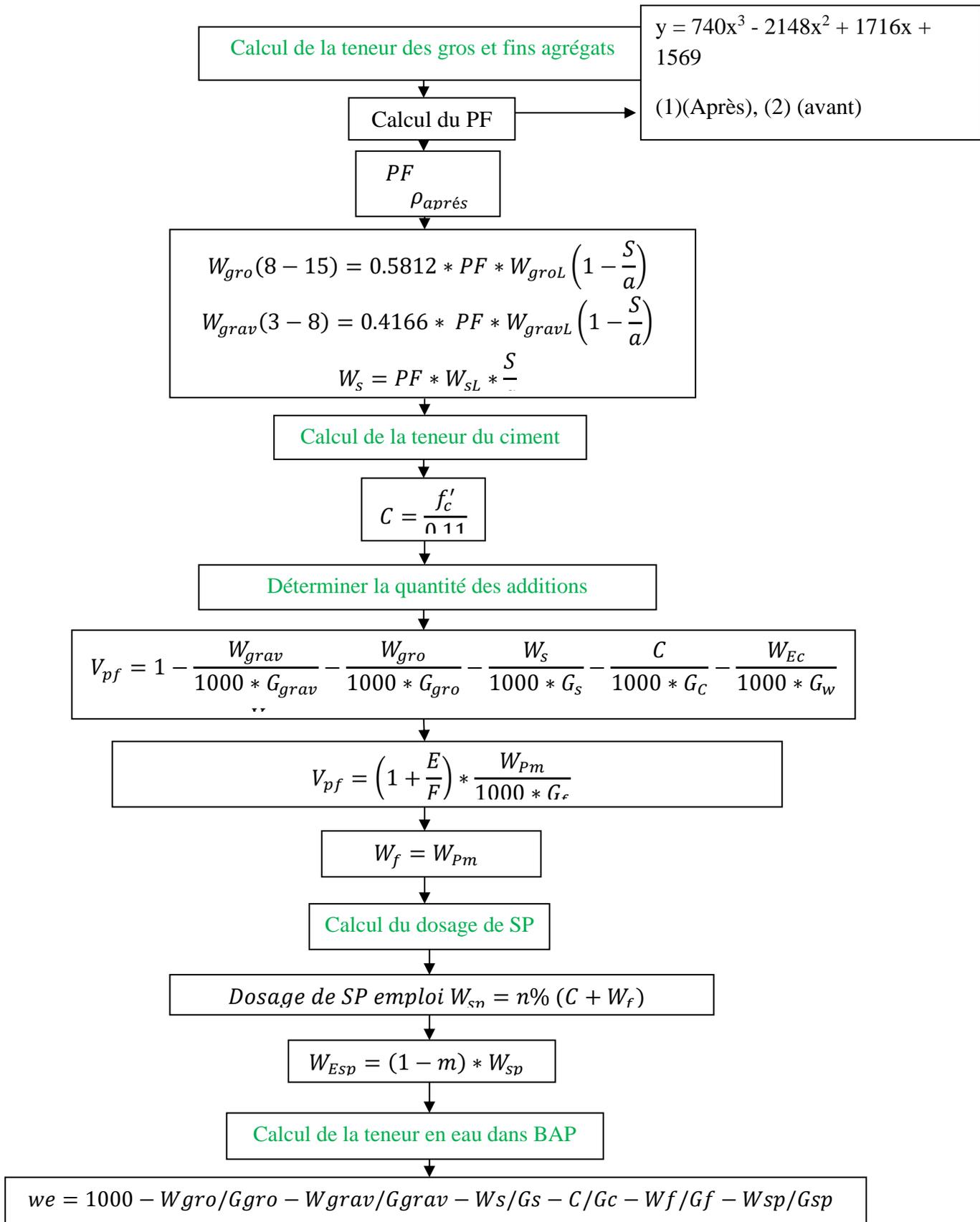


Figure III. 2 L'organigramme montrant les principales procédures de la formulation.

: Respectivement la densité apparente des gros granulats, les gravelettes W_{groL} ; W_{gravL} ; W_{sL} et le sable

III.2.1.4. La formulation dans le programme MATLAB :

```

##### FORMULATION DU BAP1 #####
#####
%%calcul PF
sab=input('s/a=');
PF=1.12;
%% calcule la teneur des gros et fins agrégats
GSp=1460;
Ggravp=1330;
Ggrop=1370;
Wggrav=PF*Ggravp*0.2;
Wggro=PF*Ggrop*0.279;
Ws= PF*GSp*(sab);
%% calcule la teneur en ciment
fc28=input('fc28m=');
C1=(fc28/0.11);
%% calcule la teneur de l'eau dans le ciment
eaucim=input('w/c=');
Wwc=eaucim*C1;
%Calcul la quantité de l'addition fins
vair=0.015;
Gc=3100;
Gw=1000;
Ggro=2620;
Ggrav=2560;
GS=2600;
Vglobal=1-Wggro/(Ggro)-Ws/(GS)-C1/(Gc)-Wwc/(Gw)-vair-Wggrav/(Ggrav);
eauf=input('W/F=');
Gf=input('Gf=');
Wpm=Vglobal/((1+eauf)/(Gf));
Wf1=Wpm;
%calcul la teneur de l'eau dans les addition
Wwf=eauf*Wf1;

% calcul le dosage en SP
pous=0.018;
Wsp=pous*(C1+Wf1);
% calcul la teneur en eau dans SP
SPsoli=0.4;
Wwsp=(1-SPsoli)*Wsp;
%calcul de la teneur en eau dans le BAP
w=1000-Wggro/2.62-Wggrav/2.56-Ws/2.6-C1/3.1-Wf1/(Gf/1000)-Wsp/1.21;
EsurC=w/C1;
EsurP=w/(Wf1+C1);
#####resultats finals#####
disp(['PF= ',num2str(PF)]);
disp(['Wgro= ',num2str(Wggro)]);
disp(['Wgrav= ',num2str(Wggrav)]);
disp(['Ws= ',num2str(Ws)]);
disp(['C= ',num2str(C1)]);
disp(['Wf= ',num2str(Wf1)]);
disp(['Wsp= ',num2str(Wsp)]);
disp(['w= ',num2str(w)]);
disp(['E/C= ',num2str(EsurC)]);
disp(['E/P= ',num2str(EsurP)]);

```

Figure III. 3 représente un exemple pratique du calcul des constituants de BAP.

Les constituants de BAP-FC	Les constituants de BAP-FM

Tableau III. 3 Exemple pratique du calcul des constituants de BAP

Les formulations obtenues par les calculs doivent accomplir les conditions suivantes :

- Les résultats d’essais d’étalement, boîte en L et V-funnel doivent être vérifiés.
- Les phénomènes de ségrégation doivent être satisfaits.

III.2.1.5. Formulations retenues :

Compositions (kg/m ³)	Désignation des BAP		
	BAP FL	BAP FM	BAP FC
Ciment CPJ 42.5	409.09	409.09	409.09
Sable 0/3	850.304	850.304	850.304
Gravillon 3/8	297.92	297.92	297.92
Gravillon 8/15	428.0976	428.0976	428.0976
SP	9.2577	9.7178	9.7204
Eau	212.2617	206.3162	203.6976
FL	105.227	/	/
FM	/	130.786	/
FC	/	/	130.9315
E/C	0.51	0.50	0.49
E/F	0.41	0.3821	0.37905

Tableau III. 4 La composition des BAP dans 1m³.

III.2.2. Confection des mélanges :

Pour la confection des gâchées, nous avons utilisé plusieurs équipements et fournitures courants afin d'avoir un composant bien homogène. (Balance, récipient, spatules, truelles, huile de coffrage...); mais également des appareils de mesure telle que malaxeur, cône d'Abrams, aéromètre....

III.2.2.1. Fabrication des mélanges :

L'utilisation du malaxeur est impérative dans le béton. Un malaxeur à axe vertical et mouvement circulaire de capacité 180 litres.



Figure III. 4 Malaxeur utilisé.

La fabrication se déroule comme suit :

- Pré mouillage du malaxeur pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois du malaxeur.
- Introduction des constituants solides en commençant par les graviers (3/8 et 8/15), le sable avec un temps de 30 sec.
- Introduction du ciment et les additions (LT, FM et FC) avec de temps de 30 sec.
- Malaxage puis introduction de l'eau et adjuvant.

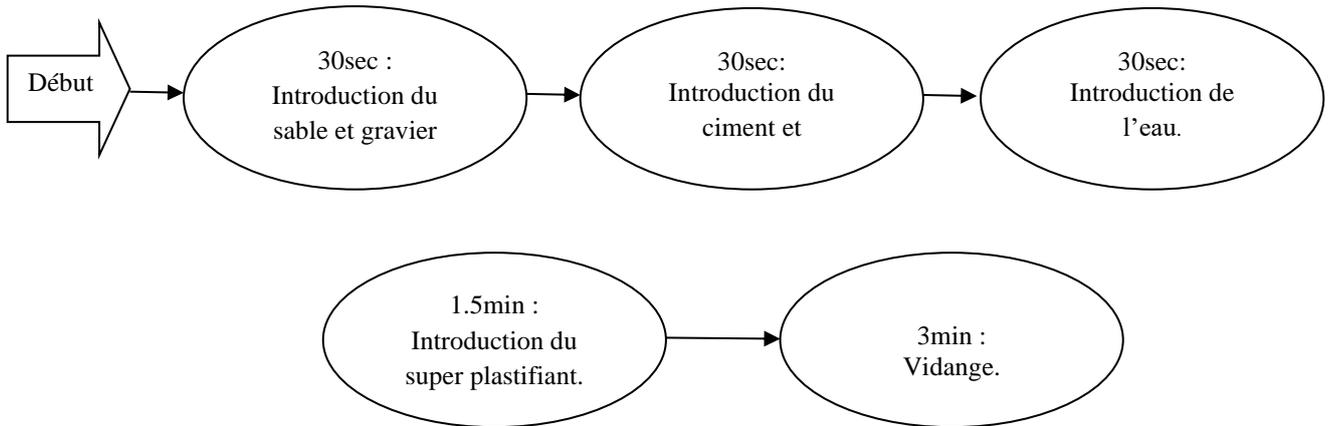


Figure III. 5 Les étapes de fabrication de BAP

Sur chaque mélange, on effectue: essai d'étalement « Slump Flow », essai de la boîte en L, essai d'entonnoir (V-Funnel), essai de stabilité au tamis, l'air occlus, densité.

En ce qui concerne la caractérisation mécanique, le programme expérimental comprend deux types d'essais (Essai de compression et de traction par flexion) devant être effectués à des échéances bien précises.

Type d'éprouvettes utilisées (cylindriques et prismatiques): Conformément respectivement aux normes NF P18-406 (NA427), NFP18-407(NA428).



Figure III. 6 (a) éprouvettes Cylindriques 10 x20cm et (b) les éprouvettes prismatiques 7x7x28cm:

III.2.2.2. Mise en place :

Après vidange de béton on remplit les moules, jusqu'au meilleurs remplissage. Les BAP sont capables de s'écouler sous leur propre poids, donc l'absence de vibration, La finition de la surface est effectuée à l'aide d'une règle biseautée.

Il y a plusieurs formes de corps d'épreuve ont été coulées pour chacune des compositions :

- pour la résistance mécanique en compression : cylindre 10x20 cm.
- pour la résistance mécanique en traction/flexion : prismes 7x7x28 cm.
- pour la résistance mécanique en compression : cubiques 7x7x7 cm.
- pour les variations dimensionnelles et pondérales (retrait et perte en poids) : prismes 7x7x28cm munis de plots.

III.2.2.3. Conservation :

Après le coulage, les échantillons sont couverts avec un film plastique pour éviter l'évaporation de l'eau.

Toutes les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après la fabrication. Elles ont ensuite été immergées dans l'eau est à l'air ambiant du laboratoire jusqu'au, moment de l'essai qui s'effectue à 2, 7, 18 et 28 jours.

III.3 Résultat de la caractérisation :

On présente les résultats de la caractérisation des mélanges dans le but de générer un ensemble d'information suffisamment riche pour permettre de relier la composition des bétons avec leurs performances.

III.3.1 Résultat de la caractérisation a l'état frais:

Une liste non exhaustive des essais de caractérisation des propriétés des bétons à l'état frais a été présentée dans l'annexe. Cependant, la caractérisation à l'état frais des bétons s'est limitée aux essais suivants : L'étalement au cône, écoulement à la boîte en L et stabilité au tamis, V funnel, air occlus et la masse volumique.

Les essais ont été effectués selon les procédures décrites par l'AFGC. De plus, pour les essais d'étalement au cône et d'écoulement à la boîte en L, des temps d'écoulement intermédiaires ont été mesurés. Pour le premier essai, il s'agit du temps nécessaire pour atteindre un diamètre d'étalement de 50 cm, noté T_{50} . Pour le second, le temps mesuré (T_{60}) est celui entre l'ouverture de la trappe et le moment où le béton parvient au fond de la boîte en L.

Les propriétés à l'état frais de chacune des compositions sont les suivant.

a. L'étalement :

Les résultats d'essai d'étalement pour les BAP sont représentés dans le tableau IV.1:

Tableau III. 5 les résultats de l'étalement.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
Etalement (cm)	75.5	75	74
T ₅₀ (s)	4	4.32	4.52

La figure III.7 représente l'étalement et T₅₀ des différentes additions :

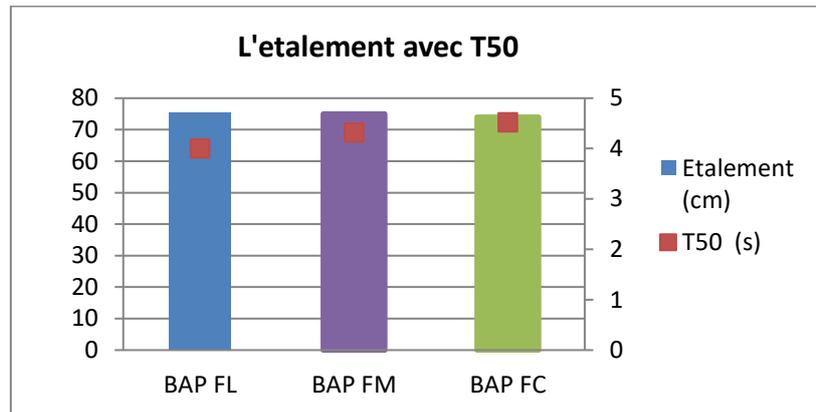


Figure III. 7 l'étalement des différentes additions avec T₅₀

D'après le tableau III.5, on remarque que l'étalement des trois bétons se situe entre 74 et 75,5 cm. Ce qui le qualifie d'autoplaçant selon les recommandations de l'AFGC. Le BAP FM à un étalement de 1 cm de plus par rapport aux BAP FC et inférieur de 0.5 cm par rapport aux BAP-FL.

On remarque qu'il y a une diminution de T₅₀ lorsque que l'étalement augmente.

La photo V. 4 représente une analyse de la galette à l'essai de l'étalement de laitier.

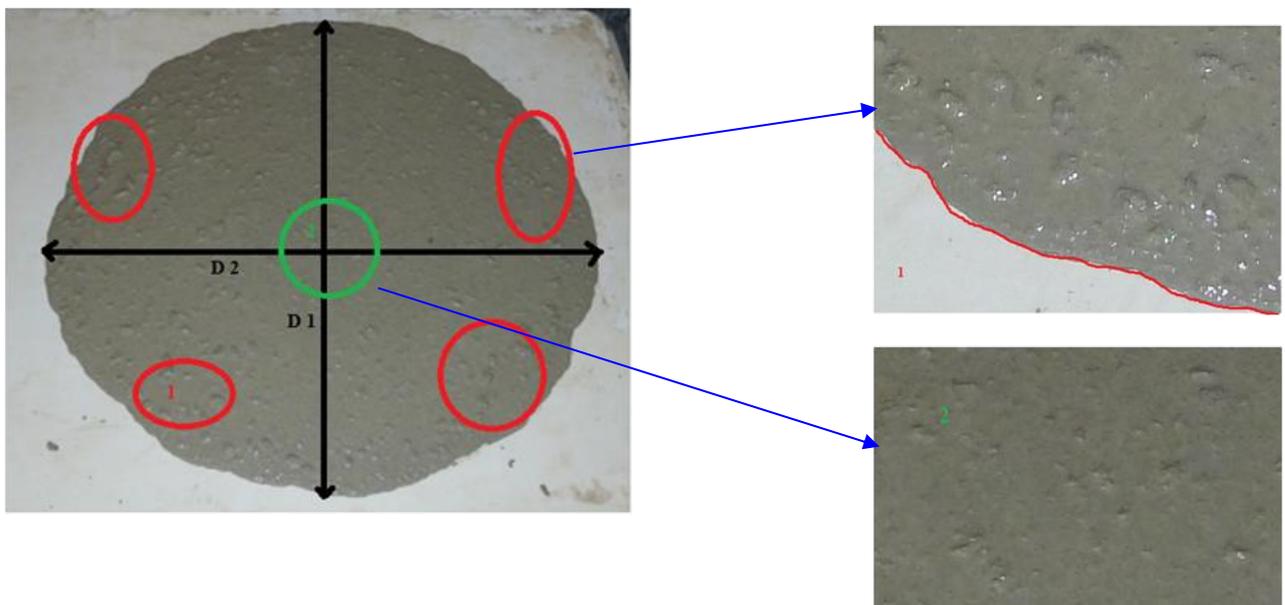


Figure III. 8 Analyse de la galette à l'essai de l'étalement de laitier.

La photo III.8 montre qu'il y a absence de gros éléments (8/15) au milieu de la galette, mais à l'extrémité on observe une forte concentration de ce dernier. Le trait rouge indique qu'il n'existe pas d'auréole affectant le ressuage.

Dans ce cas l'étalement a présenté une distribution homogène des granulats, qui empêchent le phénomène de ségrégation.

Analyse et discussion : Dans la formulation du béton on a constaté que le volume de la pâte est élevé. Par conséquent une limite des contacts entre les granulats pour éviter le phénomène de blocage.

On constate aussi que l'augmentation du volume de pâte, contribue significativement à l'amélioration de la maniabilité. [72] [75].

La réduction de la teneur des gros granulats concassés substituée de 40% de 8-15 par 3-8. Ce qui implique un frottement minimisé entre le béton et la plaque d'assise, alors permettant d'aboutir à un étalement requis par un minimum en dosage de superplastifiant.

Le tableau V.7 montre la comparaison des valeurs obtenues par nos soins et ceux caractérisés dans la littérature.

Tableau III. 6 la comparaison entre notre étude et celle de l'auteur M. Uysal [79].

La nature de fine	M. Uysal, [79]					Notre étude		
	Quantité Eau (kg/m ³)	Ciment (kg/m ³)	D (cm)	[79] (s)	La finesse (g/cm ³)	D (cm)	T50 (s)	La finesse (g/cm ³)
FL	182	440	70	3.1	2610	75.5	4	> FC
FC	182	440	72	3.8	2500	74	4.52	3000
FM	182	440	71	2.6	8889	75	4.32	FC < FM < FL

Les fillers calcaires exigent moins d'eau mais atteignent les résultats escomptés. Par contre la poudre de marbre demande beaucoup d'eau autant que la surface Blaine est plus grande. Cela suppose une augmentation du frottement inter-granulaire → la viscosité augmente réciproquement et l'étalement diminue. [79]

Mais dans notre étude il s'est produit l'inverse en majorant la teneur en eau dans les mélanges de laitiers (212 Kg/m³), les fillers 203 Kg/m³ et dans FM 206 Kg/m³.

Le laitier par son caractère hydraulique latent, son écoulement dépend de deux composantes: une composante physico-chimique liée au potentiel d'interaction entre les particules et de

l'interaction des fines avec le liquide saturant, et une composante granulaire liée aux frottements des particules [39].

Un chercheur a démontré que le laitier favorise un grand étalement raison par laquelle les caractéristiques des surfaces des grains de laitier permettent un glissement meilleur inter granulaire dans la pâte.

En déduisant que l'étalement est influencé par les facteurs suivants : la nature, la finesse, le dosage d'addition et leur état (inerte ou actif) ainsi que la teneur des gros granulats [39].

On peut prédire un modèle de la forme de la galette par un logiciel a base des éléments finis.

b. Essai de la boîte en L :

Les résultats des essais de ségrégation dynamique sont regroupés dans le tableau III.7:

Tableau III. 7 les résultats de la boîte en L.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
Essai de la boîte en L	0.875	0.888	0.857

Les résultats obtenus par l'essai boîte-L sont représentés sur le tableau V. 3 Tous les mélanges donnent des taux de remplissage qui s'inscrivent dans le domaine des BAP, [AFGC]. L'augmentation de la viscosité du mortier a rendu difficile l'écoulement et a entraîné, un blocage du béton surtout pour le BAP FC. Donc le volume de la pate et la finesse d'addition jouent un rôle prépondérant sur ce phénomène.

c. Stabilité au tamis :

Le tableau III.8 représente les résultats des essais de ségrégation statique effectués:

Tableau III. 8 Stabilité au tamis des bétons utilisés.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
Stabilité au tamis (%)	/	/	18.55

(/) En cours d'essai.

d. Essai de l'entonnoir :

Les résultats obtenus sont regroupés au tableau III.9.

Tableau III. 9 les résultats de temps d'écoulement.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
Essai de l'entonnoir (s)	16	20	16

Le temps d'écoulement mesuré par l'entonnoir était respectivement compris entre 9 et 25 s et se rapproches des valeurs couramment rencontrées (dans les fourchettes de la norme AFGC).

On remarque que BAP-FM donne un temps d'écoulement plus élevé avec un pourcentage 20% par rapport au BAP FL et par rapport à la combinaison filler de calcaire.

e. L'air occlus :

Le tableau III.10 regroupe les résultats des essais air occlus effectués.

Tableau III. 10 l'air occlus des bétons utilisés.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
L'air occlus (%)	2.49	1.8	1.3

D'après la figure III.7 on remarque que BAP-FL donne une teneur en air plus élevée avec un pourcentage 28% par rapport au BAP FM et 48% par rapport à la combinaison filler de calcaire. Et donc l'ajout des fillers calcaire a contribué à la diminution à l'air occlus par apport BAP FL et BAP FM. En d'autre terme l'introduction des additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire.

f. La densité :

Les résultats de la densité de différentes additions sont résumés dans le tableau III.11.

Tableau III. 11 les résultats de la densité.

Béton	BAP FL	BAP FM	BAP FC
La densité calculée (Kg/m ³)	2356.85	2360.28	2402

D'après le tableau V.12 on constate que la différence des densités est conditionnée par l'addition exemple: BAP-FC symbolise une densité plus élevée que les autres. Du point de vue quantitatif un pourcentage de 1.76% par rapport au BAP FM et 1.91% par rapport à la combinaison fine de laitier.

III.3.2 Résultat de la caractérisation a l'état durci :

Pour chacune des compositions énumérées dans le tableau, On a réalisé expérimentalement l'étude des propriétés suivantes :

- a. la résistance à la compression cylindrique (10x20) cm à 2, 7, et 28 jours;
- b. la résistance à la compression cube (7x7x7) cm à 2, 7, 22, et 28 jours;
- c. la résistance à la traction par flexion à 2, 7,22, et 28 jours.

III.3.2.1 la résistance à la compression

A. Selon la nature d'addition:

❖ **Les éprouvettes cylindriques:**

L'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques 10x20. Les résistances des éprouvettes en MPa obtenues sont regroupées dans le tableau III.12.

Tableau III. 12 Résistances à la compression sur cylindres (10x20).

Résistance à la compression 10×20 cm							
		2j		7j		28j	
		AIR	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU
BAP FL	Charge (KN)	240	280	325.79	281.33	465.7	336.5
	Résistance (MPa)	30.57	35.66	41.50	35.83	59.29	42.84
BAP FM	Charge (KN)	193	159	201.92	224.1	252.4	263.3
	Résistance (MPa)	24.58	20.25	25.71	28.53	32.14	33.52
BAP FC	Charge (KN)	199	202.1	228.7	221.6	310.3	332.6
	Résistance (MPa)	25.33	25.73	29.12	28.22	39.51	42.35

En représentant dans la figure III.9 les résistances à la compression (cylindrique) des différentes additions dans les deux modes de conservation (l'eau, l'air).

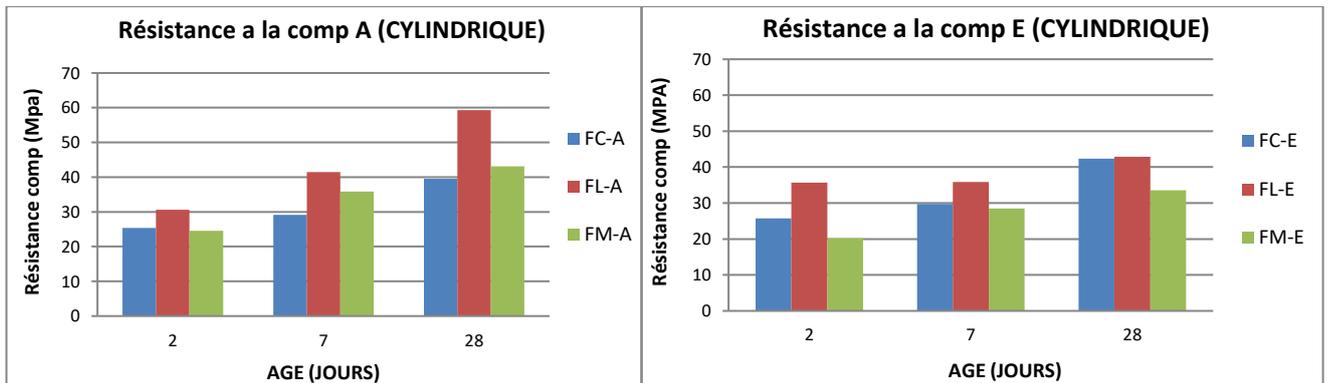


Figure III. 9 Résistance à la compression des éprouvettes cylindriques(10*20) à l'air et dans l'eau.

En considérant les résultats obtenus par diverses additions, le plus édifiant est la performance acquise par le BAP-FL, pour les deux modes de conservations.

Concernant la combinaison BAP fines marbre les résultats obtenus ne donnent pas satisfaction. Dans l'eau : Une explication mérite l'attention concernant la cinétique résistance –âge. Entre l'une et l'autre addition ex : en observant qu'entre 2 et 7 jours il n'ya pas eu d'évolution pour le laitier (0.5%). par contre les fines marbres et les fillers présentent une évolution considérable respectivement (29%), (13.42%).Mais qu'entre 7 et 28 jours en observant que les BAP-FL et

BAP-FC ont continué à augmenter en résistance alors que les fines de marbre ont tendance à se stabiliser.

A 2 jours d'hydratation, les BAP-FL affichent une augmentation de résistance de 43% par rapport au BAP FM et de 28% du BAP FC. Cette différence n'est que la conséquence de la finesse de mouture du laitier à moyen terme [102]. À 7 jours, on voit déjà une différence de 20% par rapport aux deux bétons (BAP FC et BAP FM), nous remarquons une hausse différentielle à long terme.

A l'air : les remarques précédentes pour les meilleures performances sont toujours validées. On constate que pour les tous les types de BAP présentent une évolution très importante de la résistance pendant tous les âges contrairement dans l'eau. De point de vue quantitative pour les BAP-FL, BAP-FM et BAP-FC donnent respectivement une augmentation à la période 2 à 7 jours d'âge 26%, 31,5%, 13%.

❖ **Les éprouvettes cubiques équivalentes:**

L'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cube 7x7x7. Les résistances des éprouvettes en MPa obtenues sont regroupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III. 13 Résistances à la compression sur cubes 7x7 x7.

Essais		2j		7j		22j		28j	
		AIR	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU
BAP FL	Charge (KN)	180	185	233.48	241.25	142.7	285.4	291.85	289.2
	Résistance (MPa)	36.73	37.75	47.64	49.235	51.58	58.25	59.56	59.02
BAP FM	Charge (KN)	129.27	127	170.24	165.6	409.1	197.05	212.8	224.1
	Résistance (MPa)	24.36	26.035	34.73	39.305	41.74	40.21	43.42	45.73
BAP FC	Charge (KN)	141.9	141.85	181.76	208.9	209.15	237.2	227.2	237.3
	Résistance (MPa)	28.95	28.97	37.09	42.63	42.68	48.43	46.37	48.42

On assemblé des différents résultats de la résistance à la compression sur les cubes de divers additions soumise aux deux modes de cure (saturé, air ambiant) sur la figure III.10.

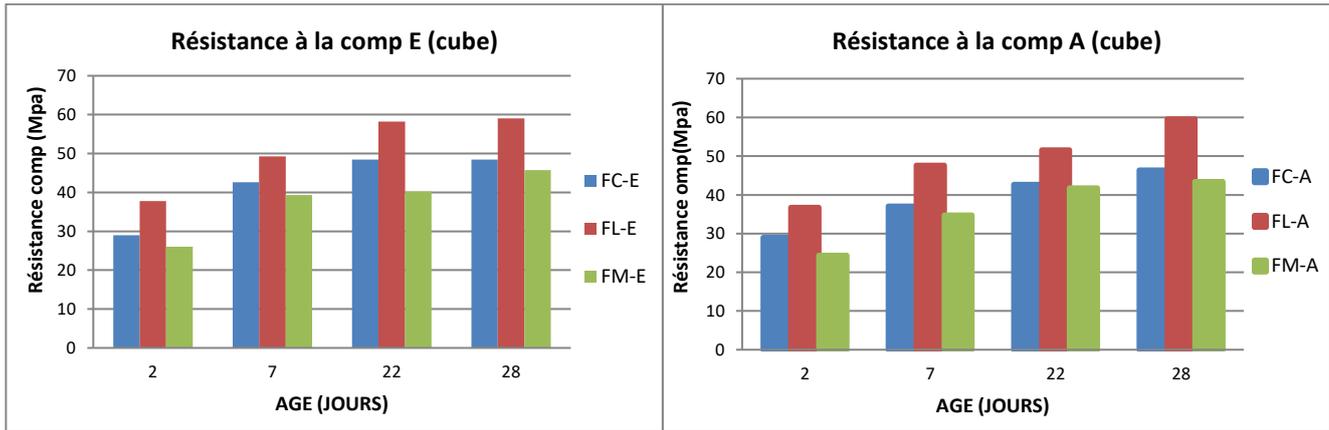


Figure III. 10 Résistances à la compression sur cube 7x7 x7 cm dans l'eau et l'air.

Dans l'eau on remarque que les combinaisons BAP laitier présentent des résistances plus élevées que les deux autres. Comparativement aux résultats des éprouvettes cylindriques.

Les éprouvettes des mélanges contenant des fines marbres offrant des résistances moins que le filler calcaire par pourcentage voir le tableau III.14.

Le tableau III.14 représente les résultats comparatifs de la résistance des éprouvettes cylindriques et cubiques des différents BAP dans les deux modes de conservation et relativement aux divers pourcentages.

Tableau III. 14 Résultats comparatifs de la résistance des éprouvettes cylindriques et cubiques des différents BAP dans les deux modes de conservation.

Le mode de conservation	âge/jours	FL/FM	FL/FC	FC/FM	FL/FM	FL/FC	FC/FM
		Cylindrique (%)			Cubique (%)		
Eau	2	43.21	27.84	21.30	31.03	23.26	10.13
	7	20.37	21.24	-1.09	20.17	13.41	7.8
	28	21.75	1.15	20.85	22.52	17.96	5.55
Air	2	19.60	17.14	2.96	33.68	21.18	15.85
	7	38.04	29.83	11.71	27.09	22.14	6.36
	28	45.79	33.36	18.65	27.1	22.14	6.36

La poudre de marbre fait améliorer la résistance au jeune âge, la raison est l'accélération d'hydratation de la chaleur du ciment [88].

M. Uysal, et al [79] ont constaté que les réactions pouzzolaniques FL n'étaient pas suffisamment concordantes pour augmenter la résistance à la compression aux jeunes âges. Mais à 28 jours, les réactions pouzzolaniques avaient un effet positif sur les résistances

à la compression. Ce qui explique cette manifestation, est que l'activité chimique de l'hydratation du ciment, est de remplir les vide entre les particules entre eux, et ayant provoqué l'augmentation de la production d'hydrates par des réactions secondaires pouzzolaniques.

En outre, FM n'est pas pouzzolanique, ni totalement inerte car il réagit avec les phases d'alumine du ciment. Si le ciment contient une quantité appréciable d'aluminate tricalcique (C3A), calcium de carboaluminate dont il sera produit à partir d'une réaction entre le calcium de carbonate (CaCO_3) de la FM et le C3A. Ce qui explique l'accélération de l'hydratation et l'augmentation de la résistance à la compression. En outre, les surfaces de FM agiront à titre de nucléation au début de réaction produits de CH et C-S-H, qui permettra d'accélérer l'hydratation du clinkaïre de ciment (en particulier C_3S). Par conséquent augmenter la résistance à la compression plus jeune âge

Les rôles des FC sont également mieux compris car ils n'agissent que comme additions minérales inertes réduisant la résistance en compression. Mais, la série FM a montré la meilleure performance à la fois à 7 j et à 28 jours.

Les auteurs cités par [53] ont montré que l'augmentation de la résistance en faible taux de remplacement de filler calcaire peut agir sur la nucléation des cristaux CH. Ce qui implique une amélioration de la résistance. Une autre possibilité nous indique que FC peut réagir avec la phase d'aluminate de ciment. Produisant ainsi calcium de hemicarboaluminate, de monocarboaluminate et calcium de tricarboaluminate.

Une autre source possible de l'augmentation de la résistance était indiqué comme poudres calcaire peut réagir avec la phase d'aluminate de ciment produisant calcium de hemicarboaluminate, calcium de monocarboaluminate et calcium de tricarboaluminate.

Pour la troisième possibilité lors de l'hydratation de phases de silicate, de petites quantités de filler ont été incorporées à l'extrémité C-S-H d'où la formation de silicate de carbonate de calcium hydraté a été rapportée.

Cependant, à partir de cette étude, il a été observé que, ces réactions par leur force ne pourraient pas être généralisées à toutes les poudres de calcaire et au taux de substitution différents. La photo V.4 montre la différence de la microstructure de FM et FC.

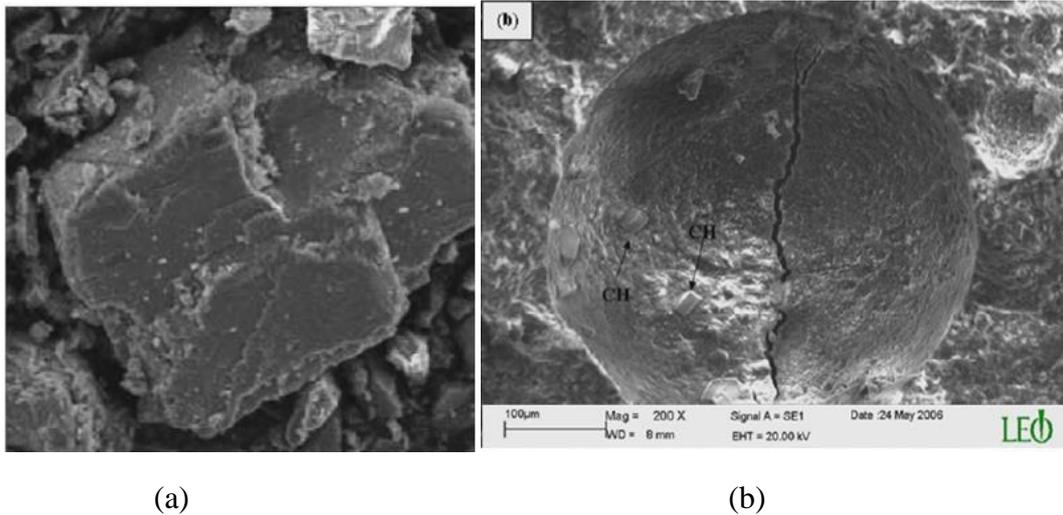


Figure III. 11 la micrographie de la poudre de FC (a) et de FM (b) [53], [87].

B. Avec mode de conservations :

❖ **Cylindrique :**

L'importance d'apprécier l'effet du mode de conservation sur la résistance des trois types de BAP. Dans les figures III.12 ces comparaisons sont justifiées pour les éprouvettes cylindriques.

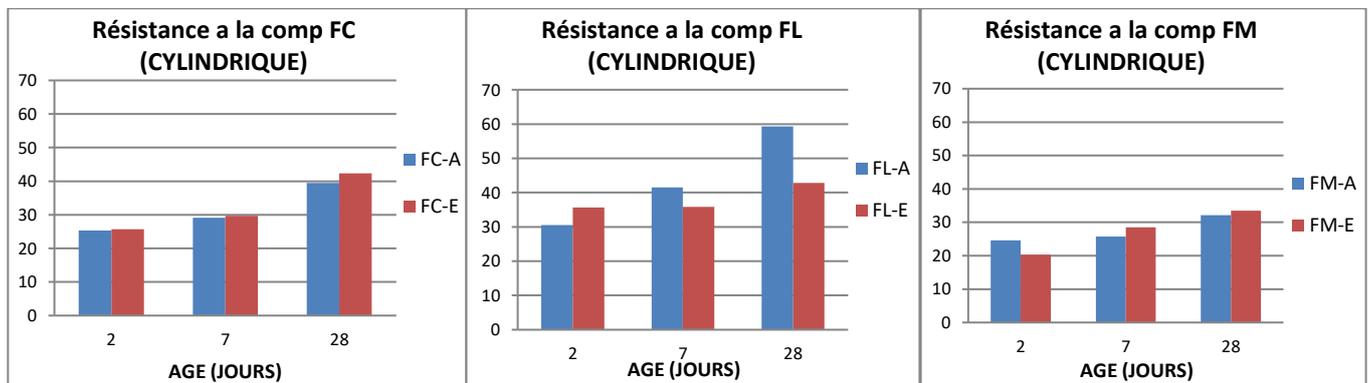


Figure III. 12 les différentes combinaisons FC-FL-FM résultats à la compression sur deux modes de conservation.(cylindrique).

Pour Laitier à 2 jours d'âge : on observe que la résistance des éprouvettes dans l'eau est supérieure à l'air de 5 MPa mais à 28 jours l'on remarque que la résistance des éprouvettes à l'air ambiant est plus élevée que les premières. Probablement dû au mode de prélèvement défaillant (mauvaise confection).

Pour les fines de marbre c'est l'inverse à 2 jours la résistance à l'air est supérieure qu'à l'eau. Par contre le FC conservé dans l'eau, la résistance est toujours plus élevée qu'à l'air.

❖ **Cubique :**

Pour les éprouvettes cubiques on a schématisé dans la figure III.13 afin de démontrer l'évolution de la résistance à différents types de conservation.

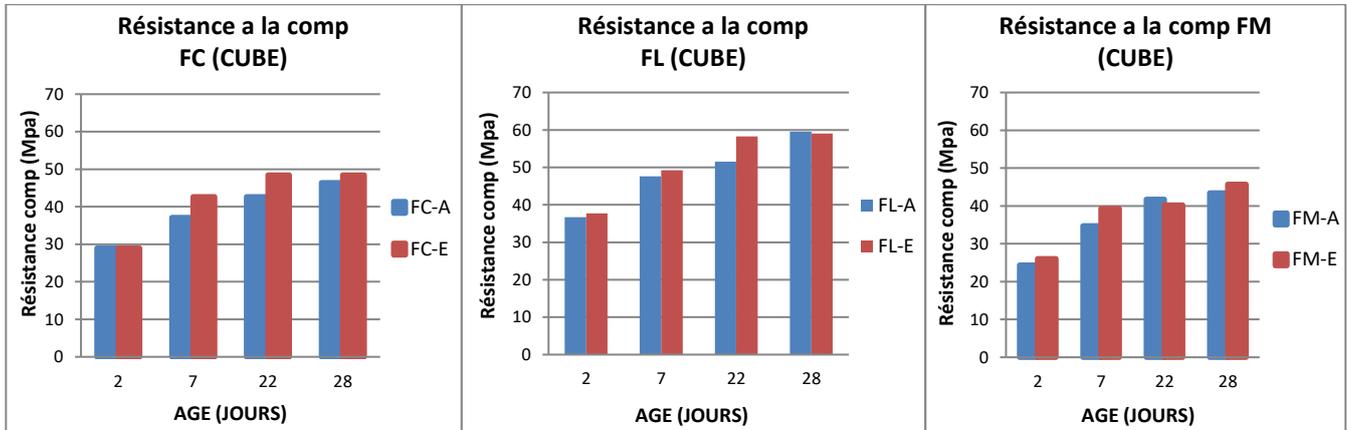


Figure III. 13 les différentes combinaisons FC-FL-FM résultats à la compression sur deux modes de conservation.(cubique).

les résultats de l'évolution de la résistance cubique confirment l'analogie des résultats sur éprouvettes cylindriques. On constate que la variation de la résistance des cylindres et cubes pour les deux modes de cure et les trois mélanges est presque similaire.

❖ **Etude de coefficient d'équivalent K entre les cylindres et cubes :**

Les figures suivantes représentent le facteur d'équivalent de la résistance des éprouvettes cylindriques et cubiques des trois mélanges dans les deux modes de conservation.

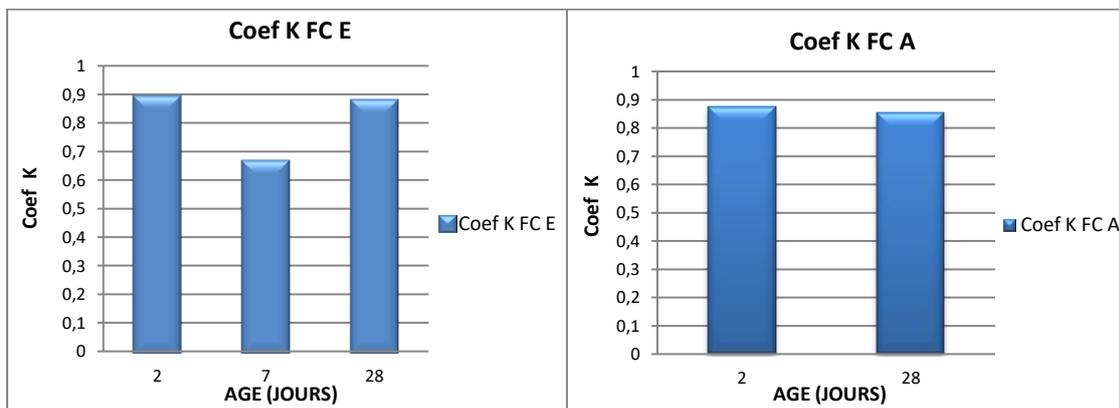


Figure III. 14 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FC dans les deux modes de conservation.

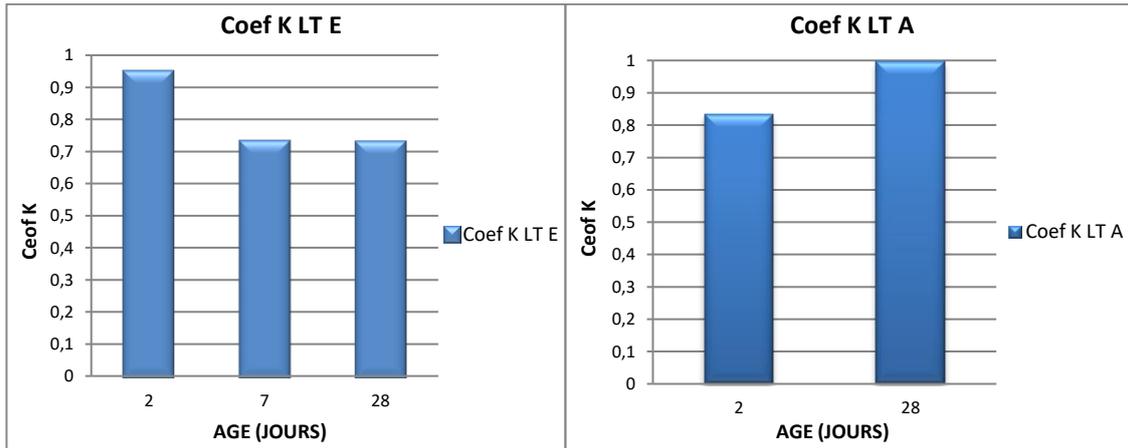


Figure III. 15 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FL dans les deux modes de conservation.

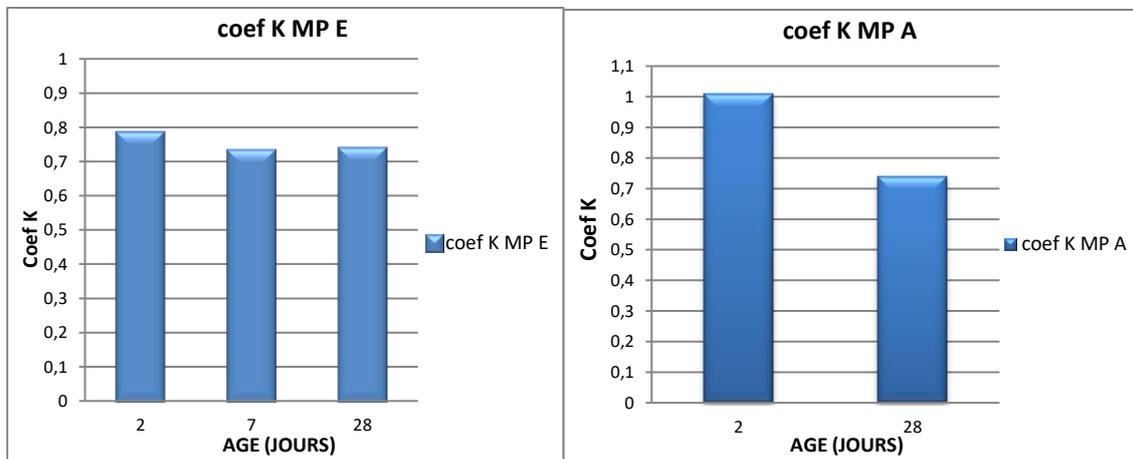


Figure III. 16 Facteur d'équivalence entre cylindrique et cubique du mélange de FM dans les deux modes de conservation.

En remarquant que le coefficient K est dans l'intervalle de 0.7 à 1 et en plus, on distingue que le coefficient K des éprouvettes immergées dans l'eau est peu similaire. Il varie entre 0.7 et 0.9; par contre les spécimens conservés à l'air montrent une petite dispersion.

III.3.2.2 Résistance à la traction par flexion :

Tableau III.15 représente les résultats des Résistances à la traction par flexion.

Tableau III. 15 Résistances à la traction par flexion sur prismes 7x7x28 exprimées en MPA.

Résistance à la traction par flexion 7x7x28 cm									
	2j		7j		22j		28j		
	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	AIR	EAU	

BAP FL	Charge (KN)	4.75	5.25	6	10.1	7.8	11.8	7.5	11.6
	Résistance (MPa)	4.36	4.82	5.50	9.27	7.163	10.836	6.887	10.653
BAP FM	Charge (KN)	4.6	5.55	6.8	8.9	7.65	10	8.5	10.68
	Résistance (MPa)	4.27	5.096	6.24	8.17	7.023	9.183	7.806	9.80
BAP FC	Charge (KN)	5.18	5.4	5.28	8.88	5.94	10.3	6.6	11.1
	Résistance (MPa)	4.76	4.95	4.84	8.15	5.45	9.45	6.06	10.19

L'essai de traction par flexion est effectué sur des éprouvettes prismatiques 7x7x28, en utilisant un dispositif de flexion 3 points. Les trois résultats obtenus figurent dans le tableau III.15.

A. selon la nature d'addition :

On a vu dans les paragraphes précédents que la résistance à la compression aux différentes additions et actuellement on étudiera le comportement de ces BAP à la flexion pour voir l'influence des ajouts minéraux sur cette propriété mécanique. La figure III.17 permet de comprendre ces objectifs.

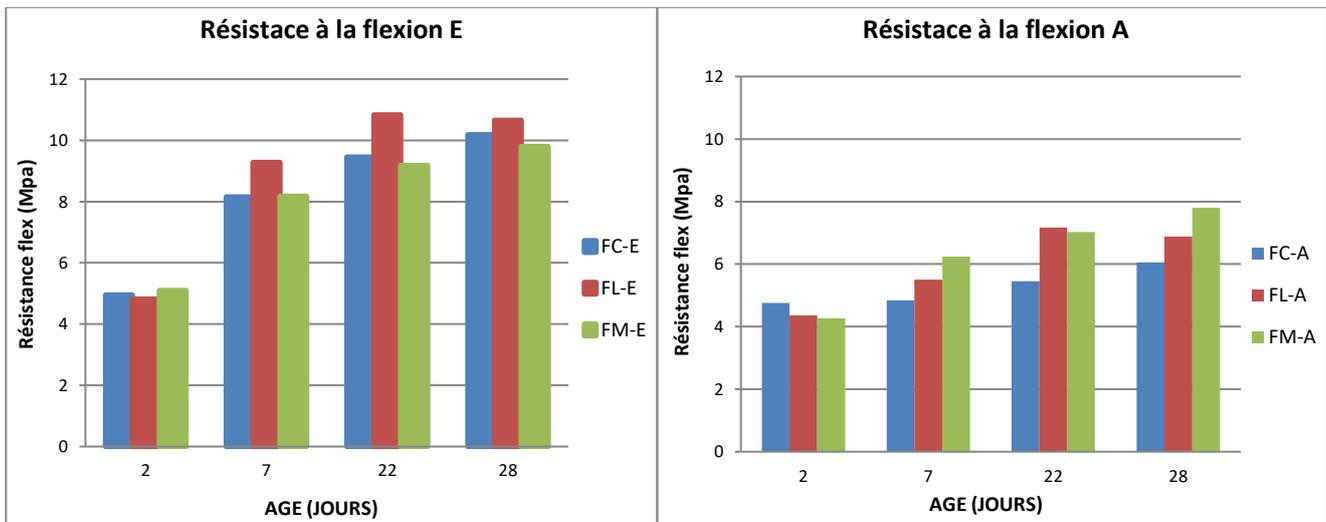


Figure III. 17 Résistances à la flexion sur prisme 7x7 x28 cm dans l'eau et l'air.

La remarque qui mérite toujours l'attention est que les résistances augmentent avec l'âge de béton. Mais cette augmentation est nuancée pour chaque addition. Exp : les BAP-FL mentionnent des résistances supérieures par rapport aux deux autres, précisément pendant les âges 7 et 28 jours. Par contre aux deuxièmes jours d'âge, on observe que la résistance des fines de marbre et des fillers par rapport au laitier est un peu similaire.

B. Selon le mode de conservations :

L'étude de mode de conservation est toujours importante à cause de leur effet sur la résistance des bétons. La figure III.18 présente la comparaison de chaque addition selon deux modes de conservation (l'air, l'eau).

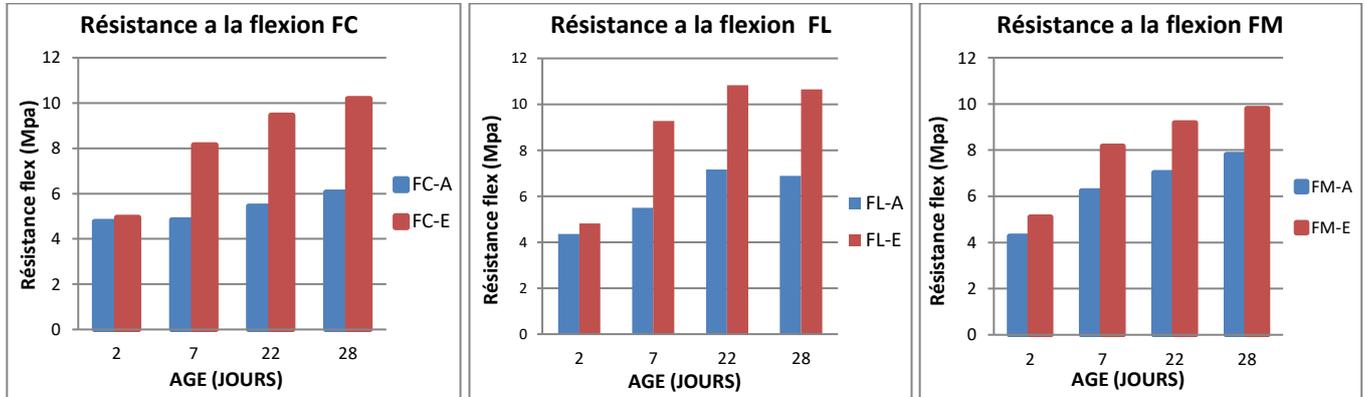


Figure III. 18 les différentes combinaisons BAP FC-FL-FM aboutissent aux résultats à la flexion pour deux modes de conservation.

On constatant que les résistances à la flexion pour les BAP immergés dans l'eau présentent un meilleur résultat par un écart important. Cette divergence on peut la remarquer clairement sur les spécimens de filler calcaire et le laitier. On note aussi que la résistance à la flexion est plus sensible dû au type de la cure par rapport à la compression.

Les causes de cette influence du mode de conservation sont:

Powers cité par [139] a démontré que l'hydratation est réduite de façon importante quand l'humidité relative à l'intérieur du système de pores capillaires est inférieure à 80%. Donc pour que l'hydratation se poursuive, l'humidité relative à l'intérieur du béton doit être maintenue à au moins 80%. Si l'humidité relative de l'air ambiant est au moins supérieure à cette valeur, il n'y a aura que très peu de différence entre le béton et l'air ambiant et il ne sera pas nécessaire d'envisager une maturation active pour assurer la poursuite de l'hydratation. On connaît que l'hydratation du ciment ne peut se développer que dans les capillarités remplies d'eau. Il faut éviter l'évaporation de l'eau capillaire.

La perte de résistance à 28 jours semble être directement liée à la perte d'eau qui s'est produite durant les trois premiers jours. [139]

En outre, l'eau perdue par auto dissiccation dû aux réactions chimiques de l'hydratation du ciment doit être remplacée par l'eau venant de l'extérieur. On conclue que le degré d'humidité du milieu de conservation a une influence importante sur la résistance du béton.

Toutefois à notre avis la dessiccation du béton est toujours défavorable, mais surtout dans ses premiers jours ; les ciments de laitier sont particulièrement sensibles à la dessiccation. [1

III.4. Conclusion

Ce chapitre avait pour objectif de comparer plusieurs propriétés mécaniques de bétons autoplaçants à base de différentes fines. Ainsi, de nombreuses variantes expérimentales ont été obtenues sur plusieurs séries d'échantillons. De ces variantes s'inspirent les résultats suivants :

La formulation de BAP :

En appliquant une formulation du BAP basée sur la méthode chinoise (JCEP) qui tient compte de plusieurs facteurs prépondérants. Et intégré dans logiciel (MATLAB).

Propriétés mécaniques (compression, flexion) :

Les trois bétons issus du même mélange (ciments et teneur en agrégats). Les résultats ont montré que les BAP-FL donnent de meilleures résistances par rapports aux BAP-FC et BAP-FM. Par conséquent les éprouvettes immergées dans l'eau, ont donné de meilleures résistances qu'à l'air. A noter et en particulier les BAP avec laitier avaient des résistances supérieures à 28 jours à l'air en comparaison des deux autres mélanges.

Variation pondérale et dimensionnelle :

On conclut que les BAP-FL après leur immersion présentaient un gonflement considérable par rapports aux deux autres. Mais à l'inverse ils présentaient une plus faible baisse en perte en poids à l'air libre. Pour les BAP immergés présentant un retrait à la place d'un gonflement. La forte présence en fines, en est la raison principale du phénomène. A la base d'un modèle de prédiction d'un retrait (CEB99) on remarque qu'il y a sous-estimation évidente, par rapport à nos résultats expérimentaux. Tout en rappelant que ce dernier ne tenait pas compte de la nature des fines et leur dosage.

En fin compte la nature d'addition, la surface spécifique de Blaine, le mode de conservation et la géométrie des éprouvettes ont eu un impact sur les propriétés mécaniques et physico-chimiques du béton autoplaçant.

CONCLUSION GENERALE

Les objectifs de ces travaux de mémoire étaient de donner des réponses claires à deux questions majeures. Le premier objectif est de formuler des mélanges pour BAP à base de fines recyclées (fillers calcaire, fines marbre et laitier).

Ainsi, le deuxième objectif était d'évaluer les conséquences dues à la présence importante de différentes fines dans les compositions du BAP, sur leurs propriétés mécaniques (la résistance à la compression et à la traction)

S'inspirant de l'étude bibliographique on relève que les fines minérales présentent un aspect favorable quant à leur utilisation dans la composition des BAP pour améliorer plusieurs propriétés et caractéristiques à l'état frais et durcis. Le superplastifiant, le ciment, la forme et le type des agrégats ont un rôle prépondérant dans les formulations des BAP. Bon nombre de formules permettent d'avoir un BAP répondant aux exigences des normes requises.

Le plan expérimental préconise, une méthode de formulation basée sur les principes de l'auteur Su [66] qui tient compte de plusieurs facteurs prépondérants. Et intégrée dans le logiciel (MATLAB). Les principales caractéristiques de cette méthode sont soulignées par un volume de pâte plus élevé pour faciliter sa mise en œuvre. Dans le même chapitre, on a étudié quelques paramètres à l'état frais et durci des BAP à base de FC, FL, FM suivant différents modes de conservation (l'air ambiant et par immersion dans l'eau) conformément aux exigences de la norme française. Parmi les résultats obtenus :

- L'influence remarquable des additions sur les propriétés des BAP,
- Le laitier donne une résistance optimale que les fines de marbre et les fillers calcaires. Par contre ils présentent dans l'eau un gonflement et retrait plus élevés que les deux autres. Mais à l'air la manifestation est inverse.

A la lumière de ces analyses nous constatons que la densité, la finesse de l'addition et le mode de conservation jouent un rôle important.

Perspective :

- Prévoir des modèles sur la forme de la galette à l'étalement;

- L'influence des différentes additions locales et leur effet sur l'adhérence entre les BAP (anciens et nouveaux);
- L'interaction entre sel fondant et la fissuration interne du cycle gel-dégel.

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Mr. Bensebti Salah Eddine, Formulation et Propriétés des Bétons Autoplaçants à Base de Matériaux Locaux, thèse de doctorat. Université Mentouri de Constantine, Juillet 2008.
- [2] N. Bouhamou, N. Belas, H. Mesbah, A. Mebrouki et A. Yahia, Influence des paramètres de composition sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais, *Afrique SCIENCE* 04(1) 1 – 20. (2008)
- [3] P.L. Domone, Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies, *Cement & Concrete Composites* 28 (2006) 197–208.
- [4] Konstantin Kovler, Nicolas Roussel , Properties of fresh and hardened concrete, *Cement and Concrete Research* 41 (2011) 775–792.
- [5] Stéphan Assié, durabilité des bétons autoplaçants, mémoire de doctorat, L'INSTITUT national des sciences appliquées DE toulouse, octobre 2004.
- [6] Beata Lazniewska-Piekarczyk, The influence of selected new generation admixtures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self compacting concrete, *Construction and Building Materials* 31 (2012) 310–319.
- [7] Nathan Tregger , Amedeo Gregori , Liberato Ferrara , Surendra Shah, Correlating dynamic segregation of self-consolidating concrete to the slump-flow test, *Construction and Building Materials* 28 (2012) 499–505.
- [8] Her-Yung Wang, Wen-Liang Huang, A study on the properties of fresh self-consolidating glass concrete (SCGC), *Construction and Building Materials* 24 (2010) 619–624.
- [9] Prakash Nanthagopalan, Manu Santhanam , Fresh and hardened properties of self-compacting concrete produced with manufactured sand , *Cement & Concrete Composites* 33 (2011) 353–358.
- [10] O. R. Khaleel, S.A. Al-mishhadani, and H. Abdul Razak, The Effect of Coarse Aggregate on Fresh and Hardened Properties of Self-Compacting Concrete (SCC), *Procedia Engineering* 14 (2011) 805–813.
- [11] H. Siad, M. Mouli, H.A. Mesbah, H. Khelafi, influence du type d'additions dans les bétons autoplaçants sur l'adhérence béton-ancrage, International Conférence on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries Enset Oran (Algeria) – October 12-14, 2009.

- [12] Anaclet Turatsinze & Mathieu Garros, Une nouvelle génération de matériaux à base cimentaire par incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC) INSA-UPS, Génie Civil - 135, avenue de Rangueil 31077 Toulouse Cedex 4.
- [13] M. Benhouna, B. Nezergui, S. Boudraa, valorisation des granulats recyclés dans la formulation d'un béton autoplacant, 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
- [14] V. Corinaldesi, G. Moriconi, The role of industrial by-products in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 25 (2011) 3181–3186.
- [15] F.M. Almeida Filho, B.E. Barragán, J.R. Casas, A.L.H.C. El Debs, Hardened properties of self-compacting concrete a statistical approach, *Construction and Building Materials* 24 (2010) 1608–1615.
- [16] Othmane Boukendakdji, El-Hadj Kadri, Said Kenai, Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete, *Cement & Concrete Composites* 34 (2012) 583–590.
- [17] Etsuo Sakai, Takayuki Kasuga, Tomomi Sugiyama, Kiyoshi Asaga, Masaki Daimon, Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 2049–2053.
- [18] L. Ferrari, J. Kaufmann, F. Winnefeld, J. Plank, Multi-method approach to study influence of superplasticizers on cement suspensions, *Cement and Concrete Research* 41 (2011) 1058–1066.
- [19] M. Valcuende, C. Parra, E. Marco, A. Garrido, E. Martínez, J. Cánoves, Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the porous structure of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 28 (2012) 122–128.
- [20] Ilker Bekir Topcu, Turhan Bilir, Tayfun Uygunoglu, Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 23 (2009) 1947–1953.
- [21] Mohammed Sonebi, "Rheological properties of grouts with viscosity modifying agents as diutan gum and welan gum incorporating pulverised fly ash", *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1609–1618.
- [22] Beata Lazniewska-Piekarczyk, The influence of selected new generation admixtures on the workability, air-voids parameters and frost-resistance of self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 31 (2012) 310–319.

- [23] Othmane Boukendakdji, El-Hadj Kadri, Said Kenai, « Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete », *Cement & Concrete Composites* 34 (2012) 583–590.
- [24] Thierry Sedran, « Les Bétons Autobloquants », laboratoire central des ponts et chaussées centre de Nantes.
- [25] P.L. Domone, A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete, *Cement & Concrete Composites* 29 (2007) 1–12.
- [26] Le béton autoplaçant fait l'objet de règles complémentaires dans la norme NF EN 206-9.
- [27] Philippe Turcry, "Le retrait plastique des bétons autoplaçants. Etude paramétrique de l'influence de la formulation", rencontres Universitaires de génie civil 2003.
- [28] M. Nepomuceno, L. Oliveira, S.M.R. Lopes "Methodology for mix design of the mortar phase of self-compacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders" *Construction and Building Materials* 26 317–326 (2012)
- [29] Miao Liu, "Wider Application of Additions in Self-compacting Concrete", these de doctorat, University College London, July 2009.
- [30] Sébastien Rols, Jean Ambroise, Jean Péra, "Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete" *Cement and Concrete Research* 29 (1999) 261–266.
- [31] Andreas Leemann, Frank Winnefeld, "The effect of viscosity modifying agents on mortar and concrete", *Cement & Concrete Composites* 29 (2007) 341–349.
- [32] L. D'Aloia Schwartzentruber, R. Le Roy, J. Cordin, "Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC)", *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1203–1213.
- [33] Maher El Barrak, Michel Mouret, Alain Bascoul, "Self-compacting concrete paste constituents: Hierarchical classification of their influence on flow properties of the paste", *Cement & Concrete Composites* 31 (2009) 12–21.
- [34] S. Girish, R.V. Ranganath, Jagadish Vengala, "Influence of powder and paste on flow properties of SCC", *Construction and Building Materials* 24 (2010) 2481–2488.
- [35] Bouknibariza, Houari hacène, "L'effet de fillers sur les performances des bétons autoplaçants chauffés à 200°C", ENSET Oran (Algeria) – October 12-14, 2009.

- [36] BenmounahAbdelbaki, Kheribet Rabia, Samar Madjid, Saidi Mohammed, "Comportement rhéologique des pâtes cimentaires destinées aux bétons autoplacants", Université de Boumerdès, Algérie Juin 2009. Pages 74 à 88.
- [37] P. Turgut, E. S. Yahlizade, "Research into Concrete Blocks with Waste Glass", International Journal of Civil and Environmental Engineering 1:4 2009.
- [38] A. Alrifai, S. Aggoun, R. Cabrillac," Influence des Paramètres de Formulation sur le Retrait Endogène des Pâtes et des Mortiers Issus de BAP", Universitaires de Génie Civil. Nancy, 4 au 6 juin 2008.
- [39] M. Behim et T. Ali Boucetta, "Effet des additions micronisées sur l'écoulement des bétons autoplacants (laitier de haut fourneau, filler calcaire et poudre de verre)", ENSET Oran (Algeria) - Octobre 12-14, 2009.
- [40] E. Rozière, S. Granger, Ph. Turcry, A. Loukili, Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete, Cement & Concrete Composites 29 (2007) 626–636.
- [41] A. alrifai, S. Aggoun, R. Cabrillac, "Influence des Paramètres de Formulation sur le Retrait Endogène des Pâtes et des Mortiers Issus de BAP", Universitaires de Génie Civil. Nancy, 4 au 6 juin 2008.
- [42] RiçalKhelifa, Xavier Brunetaud, MuzahimAlmukhtar, "Conséquences mécaniques de l'attaque sulfatique externe sur des bétons autoplacants", Universitaires de Génie Civil. Nancy, 4 au 6 juin 2008.
- [43]BurakFelekoglu, Selc-ukTurkel, Bulent Baradan "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete", Building and Environment 42 (2007) 1795–1802.
- [44] M.C. Torrijos, B.E. Barragan, R.L. Zerbino, "Physical–mechanical properties, and mesostructure of plain and fiber reinforced self-compacting concrete", Construction and Building Materials 22 (2008) 1780–1788.
- [45]Bouknibariza, "tenue au feu des betonautoplacants", mémoire de magister, Université Mentouri de Constantine, Décembre 2007.
- [46] G. benkechkeche, H. houari, "influence des paramètres de composition sur le fluage des poutrelles en beton autoplacant", International Conférence on SustainableBuiltEnvironment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.

- [47] Valeria Corinaldesi , Giacomo Moriconi, "Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions", *Cement & Concrete Composites* 33 (2011) 596–601.
- [48] Yining Ding , Cecília Azevedo , J.B. Aguiar , Said Jalali , "Study on residual behaviour and flexural toughness of fibre cocktail reinforced self compacting high performance concrete after exposure to high temperature", *Construction and Building Materials* 26 (2012) 21–31.
- [49] H. Siad, M. Mouli, H.A. Mesbah, H. Khelafi, "Influence du type d'additions dans les bétons autoplaçants sure l'adhérence béton-ancrage", *International Conférence on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) – October 12-14, 2009.*
- [50] Ilker Bekir Topcu , Turhan Bilir , Tayfun Uygunoglu , "Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 23 (2009) 1947–1953.
- [51] R. Mohamed Krachai , A. Benaïssa ET K. Ayed, "caractéristiques du béton autoplaçant a l'état frais et a l'état durci", *Département de Génie Civil d'Université USTO d' ORAN et l'ENSET d'ORAN.*
- [52] Aaron W. Saak, Hamlin M. Jennings, Surendra P. Shah, a generalized approach for the determination of yield stress by slump and slump flow, *Cement and Concrete Research* 34 (2004) 363–371.
- [53] Burak Felekoglu, "Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case)", *Resources, Conservation and Recycling* 51 (2007) 770–791.
- [54] Mustafa Sahmaran , Heru Ari Christianto, Ismail Ozgur Yaman, "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars", *Cement & Concrete Composites* 28 (2006) 432–440.
- [55] N. Bouzoubaa , M. Lachemi, "Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results", *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 413–420.
- [56] Mahmoud Nili , Vahid Afroughsabet, "Property assessment of steel–fibre reinforced concrete made with silica fume", *Construction and Building Materials* 28 (2012) 664–669.
- [57] A. El Hilali, E. Ghorbel, P. Gonnon, "Influence des fillers sur l'ouvrabilité des bétons autoplaçants", *Université de Cergy-Pontoise.*
- [58] Pr. Hocine CHABIL, "Confection d'un béton autoplaçant a base de matériaux locaux approche multi-échelles", *Université El-Hadj Lakhdar de Batna 2008.*

- [59] Benkechkeche .G, boukni.B, ferkous .S, houari. H, "pathologie des bétons autoplaçants", Université Mentouri Constantine - 25 et 26 Novembre 2008.
- [60] M. Valcuende, E. Marco, C. Parra b, P. Serna, "Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the shrinkage of self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* xxx (2012) xxx–xxx.
- [61] Hanna Fares, "Propriétés Mécaniques et Physico-chimiques de Béton Autoplaçants", mémoire de doctorat, Université Cergy-pontoise, Décembre 2009.
- [62] Affef Aggoun, Ismail Yurtdas, Jean Fabien Berthet & Alex Li, "Influence de la température sur le comportement mécanique des bétons autoplaçants", *Rencontres Universitaires de Génie Civil. Nancy*, 4 au 6 juin 2008.
- [63] Jie Shen, Ismail Yurtdas, Cheikhna Diagana & Alex Li, "Une nouvelle méthode de formulation des bétons autoplaçants (BAP)", *Rencontres Universitaires de Génie Civil. Nancy*, 4 au 6 juin 2008.
- [64] G. Heirman , R. Hendrickx , L. Vandewalle , D. Van Gemert , D. Feys , G. De Schutter , B. Desmet , J. Vantomme , "Integration approach of the Couette inverse problem of powder type self-compacting concrete in a wide-gap concentric cylinder rheometer Part II. Influence of mineral additions and chemical admixtures on the shear thickening flow behavior", *Cement and Concrete Research* 39 (2009) 171–181.
- [65] Iliana Rodríguez Viacava, Antonio Aguado de Cea, Gemma Rodríguez de Sensale, "Self-compacting concrete of medium characteristic strength", *Construction and Building Materials* 30 (2012) 776–782.
- [66] Nan Su, Kung-Chung Hsu, His-Wen Chai, "A simple mix design method for self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* 31 (2001) 1799–1807.
- [67] Yun Wang Choi , Yong Jic Kim , Hwa Cheol Shin , Han Young Moon , "An experimental research on the fluidity and mechanical properties of high-strength lightweight self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1595– 1602.
- [68] Luc Courard , Frédéric Michel , Julie Pierard , "Influence of clay in limestone fillers for self-compacting cement based composites", *Construction and Building Materials* 25 (2011) 1356–1361.
- [69] Wenzhong Zhu, John C. Gibbs, "Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1457– 1462.

- [70] Violeta Bokan Bosiljkov, " SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler", *Cement and Concrete Research* 33 (2003) 1279–1286.
- [71] R. Chaid, R. Jauberthie et A. Boukhaled, "Effet de l'ajout calcaire sur la durabilité des bétons", *Libanaise Science Journal*, Vol. 11, No. 1, 2010.
- [72] O. Esping, "Effect of limestone filler BET (H₂O)-area on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete", *Cement and Concrete Research* 38 (2008) 938–944.
- [73] Valeria Corinaldesi , Giacomo Moriconi , Tarun R. Naik , "Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete", *Construction and Building Materials* 24 (2010) 113–117.
- [74] Ali Ergun, "Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete", *Construction and Building Materials* 25 (2011) 806–812.
- [75] Baboo Rai , Khan Naushad H , Abhishek Kr , TabinRushad S , Duggal S.K , "Influence of Marble powder/granules in Concrete mix", *international journal of civil and structural engineering* Volume 1, No 4, 2011.
- [76] MuctebaUysal, "Self-compacting concrete incorporating filler additives: Performance at high temperatures", *Construction and Building Materials* 26 (2012) 701–706.
- [77] N. Diamantonis , I. Marinos , M.S. Katsiotis , A. Sakellariou , A. Papathanasiou , V. Kaloidas , M. Katsioti , "Investigations about the influence of fine additives on the viscosity of cement paste for self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 24 (2010) 1518–1522.
- [78] A.S.E. Belaidi , L. Azzouz , E. Kadri , S. Kenai, "Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 31 251–257 (2012).
- [79] MuctebaUysal, Mansur Sumer, "Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures", *Construction and Building Materials* 25 (2011) 4112–4120.
- [80] Her-Yung Wang, Wen-Liang Huang, "A study on the properties of fresh self-consolidating glass concrete (SCGC)", *Construction and Building Materials* 24 619–624. (2010)
- [81] Miao Liu, "Incorporating ground glass in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials* 25 919–925 (2011).
- [82] S.C. Kou, C.S. Poon, "Properties of self-compacting concrete prepared with recycled glass aggregate", *Cement & Concrete Composites* 31 107–113(2009).

[83]Ahmad Shayan, "Value-added utilisation of Waste Glass in Concrete", iabse symposium melbourne (2002).

[84]Tung-Chai Ling, Chi-Sun Poon , Shi-Cong Kou, "Influence of recycled glass content and curing conditions on the properties of self-compacting concrete after exposure to elevated temperatures", *Cement & Concrete Composites* 34 265–272 (2012).

[85]Her-Yung Wang, Wen-Liang Huang, Durability of self-consolidating concrete using waste LCD glass, *Construction and Building Materials* 24 1008–1013 (2010).

[86] C. Selvamony, M. S. Ravikumar, S. U. Kannan and S. Basil Gnanappa, "investigations on self-compacted self-curing concrete using limestone powder and clinkers", *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, VOL 5 March 2010.

[87]BaharDemirel, "The effect of the using waste marble dust as fine sand on the mechanical properties of the concrete", *International Journal of the Physical Sciences* Vol. 5(9), pp. 1372-1380, 18 August, 2010.

[88]MuctebaUysal , Kemalettin Yilmaz "Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete" *Cement & Concrete Composites* 33 771–776 (2011).

[89] B.K. Raghu Prasad, Hamid Eskandari, B.V. Venkatarama Reddy, "Prediction of compressive strength of SCC and HPC with high volume fly ash using ANN", *Construction and Building Materials* 23 117–128 (2009).

[90] HalitYazıcı, "The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 22 456–462 (2008).

[91]Rafat Siddique , Paratibha Aggarwal , Yogesh Aggarwal , "Influence of water/powder ratio on strength properties of self-compacting concrete containing coal fly ash and bottom ash", *Construction and Building Materials* 29 73–81(2012).

[92]Rafat Siddique , Paratibha Aggarwal , Yogesh Aggarwal," Influence of water/powder ratio on strength properties of self-compacting concrete containing coal fly ash and bottom ash", *Construction and Building Materials* 29 73–81(2012).

[93]Neelam Pathak, Rafat Siddique, "Properties of self-compacting-concrete containing fly ash subjected to elevated temperatures", *Construction and Building Materials* 30 274–280 (2012).

[94]V. Corinaldesi, G. Moriconi, "The role of industrial by-products in self-compacting concrete", *Construction and Building Materials* 25 3181–3186 (2011).

- [95] Liu Baoju, Xie Youjun, Zhou Shiqiong, Yuan Qianlian, Influence of ultrafine fly ash composite on the fluidity and compressive strength of concrete, *Cement and Concrete Research* 30 1489±1493. (2000)
- [96] N. Bouzoubaa, M. Lachemi, "Self-compacting concrete incorporating high volumes of class F fly ash Preliminary results", *Cement and Concrete Research* 31 413±420. (2001)
- [97] J.M. Khatib, "Performance of self-compacting concrete containing fly ash", *Construction and Building Materials* 22 1963–1971 (2008).
- [98] Mohammed Sonebi, "Rheological properties of grouts with viscosity modifying agents as diutan gum and welan gum incorporating pulverised fly ash", *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1609–1618.
- [99] K. Turk, P. Turgut, M. Karatas, A. Benli, "Mechanical Properties of Self-compacting Concrete with Silica Fume/Fly Ash", *International Congress on Advances in Civil Engineering*, 27-30 September 2010 Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey.
- [100] Dilraj Singh, Harkamaljeet Singh Gill, Sarvesh Kumar, "an experimental investigation on the fresh properties of self-compacting concrete containing fly ash, silica fume and lime powder", *Volume 2, Issue 2 ISSN: 2249-3905* (February 2012).
- [101] Eva Vejmelkova, Martin Keppert, Stefania Grzeszczyk, Bartłomiej Skalinski, Robert Cerny, "Properties of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin and blast furnace slag" *Construction and Building Materials* 25 1325–1331 (2011).
- [102] K Ayed, A Benaissa, T Vidal, G Pons, A. Abidlah, "étude du comportement diffère du BAP l'influence de la pouzzolane naturelle de benisaf sur le retrait du beton auto plaçant" *1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Développions Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.*
- [103] Huaishuai Shang, Yupu Song, Jinping Ou. "Behavior of air-entrained concrete after freeze-thaw cycles. *Acta Mechanica Sinica*" Vol. 22, Published by AMSS Press, Wuhan, China. March 2009
- [104] V. Boel and G. De Schutter. "Freeze/thaw resistance of SCC in combination with deicing salts". *5th International Rilem Symposium on Self-Compacting Concrete*. Ghent, Belgium. September 2007.
- [105] O. Pospíchal, B. Kucharczyková, P. Misák, T. Vymazal. "Freeze-thaw resistance of concrete with porous aggregate". *Procedia Engineering* 2 521–529 (2010).

- [106] D.K. Panesar, B. Shindman. "The effect of segregation on transport and durability properties of self consolidating concrete" Department of Civil Engineering, University of Toronto Canada. Cement and Concrete Research 42 252–264 (2012).
- [107]Eva Mnahoncakova, Milena Pavlíkova, Stefania Grzeszczyk , PavlaRovnaníková , Robert Cerny. Hydric, "thermal and mechanical properties of self-compacting concrete containing different fillers" Construction and Building Materials 22 1594–1600 (2008).
- [108] YoujunXie, Baoju Liu, Jian Yin, ShiqiongZhou."Optimum mix parameters of high-strength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash". Cement and Concrete Research 32 477–480 (2002).
- [109] Stefania Grzeszczyk and Piotr Podkowa."The Effect of Limestone Filler on the Properties of Self Compacting Concrete". Annual transactions of the nordic rheology society, vol. 17, 2009.
- [110] Raissa P. "DouglasProperties of Self-Consolidating Concrete Containing Type F Fly Ash" Master of Science Field of Civil Engineering (2004).
- [111] François de larrard."La structures granulaires et formulation des bétons' étude et recherches des laboratoires des ponts et chaussées" (1999).
- [112] livre la durabilité des bétons.
- [113] Youcef fritih thèse de doctorat de l'université de Toulouse délivré par l'Insa de Toulouse spécialité : génie civil (2009).
- [114] Sandrine Bethmont "mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants" Thèse de Docteur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (2005)
- [115] Hajime Okamura and Masahiro ouchi "self-compacting Concrete "Journale of advanced concrete " Technolodiy Vol.1.No.1.5-15. Japansconcreteinstitute (2003)
- [116] Naima Rebbouh" Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant" mémoire d'Ingénieur d'Etat en Génie Civil Algérie (2006).
- [117] Abdellah El Hilali "étude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçant (BAP):influence des fines calcaires et des fibres végétales" these de doctorat d'Université cergy-pontoise (2009)
- [118] M. Valcuende , E. Marco , C. Parra , P. Serna" Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the shrinkage of self-compacting concrete" Cement and Concrete Research (2012)

- [119] M. Valcuende, C. Parra, E. Marco, A. Garrido , E. Martnez , . Canoves "Influence of limestone filler and viscosity-modifying admixture on the porous structure of self-compacting concrete" *Construction and Building Materials* 28 122–128 (2012).
- [120] Mahmoud Nili , Vahid Afroughsabet "Property assessment of steel–fibre reinforced concrete made with silica fume".
- [121] Philippe Turcry "Retrait et Fissuration des Betons Autoplaçants Influence de la Formulation"Thèse de Doctorat conjointement par l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes. (2004)
- [122] N. Roussel T, .L.H. Nguyen, P. Coussot "Correlation between L-box test and rheological parameters of a homogeneous yield stress fluid" *Cement and Concrete Research* 36 1789–1796(2006).
- [123]Mohammed RisselKhelifa "Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants" thèse de Doctorat en Sciences de l'université de Constantine et de l'université d'Orléans 2009
- [124]Thierry sedran " rhéologie et rhéomètre des bétons. Application aux bétons autonivelants" docteur de l'école nationale des ponts et chaussées (1999)
- [125] Hebhoub Houria "granulats recyclés de substitution pour béton hydraulique déchet de marbre" these de doctorat de l'université 20 Aout 1955 SKIKDA 2008
- [126] C. Selvamony, M. S. Ravikumar, S. U. Kannanand S. Basil Gnanappa "investigations on self-compacted self-curing concrete using limestone powder and clinkers" vol. 5, no. 3, issn 1819-6608 (2010)
- [127] Sandra Nunes a, Helena Figueiras a, Paula Milheiro Oliveira b, Joana Sousa Coutinho a, Joaquim Figueiras" A methodology to assess robustness of SCC mixtures" *Cement and Concrete Research* 36 2115–2122 (2006)
- [128] Haifi .Mohamed "formulation des bétons autoplaçant" mémoire de Magister de l'université mentouri (2011).
- [129] Mouhamed A S Mouhamed "influence de la valorisation des microfibrilles végétales sur la formulation et la résistance aux cycles de gel-dégel de BAP". Thèse de doctorat de l'université de Cergy-pontoise.(2011).
- [130] Michel Pigeon, Bruno Zuber and Jacques Marchand" Freeze /thawresistance"

- [131] "Guide d'utilisation du béton en site maritime" Centre d'études techniques maritimes et fluviales. Notice n° PM 08-01 Avril 2008
- [132] Antonin Fabbri "Physico-mécanique des matériaux cimentaires soumis au gel-dégel" Thèses de docteur de l'université de Marne-La-Vallée. (2006)
- [133] Y.protière , J.Marchand , E.Samson "Modélisation de la formation de la glace dans un milieu poreux.(2007).
- [134] Bertil Persson "Internal frost resistance and salt frost scaling of self-compacting concrete" *Cement and Concrete Research* 33 373–379 (2003).
- [135] Mehmet Burhan Karakoc , Ramazan Demirbog, Ibrahim Turkmen ,Ibrahim Can. "Modeling with ANN and effect of pumice aggregate and air entrainment on the freeze–thaw durabilities of HSC" *Construction and Building Materials* 25 4241–4249 (2011)
- [136] Mohammed Sonebi, Abdulkadir Cevik 'Genetic programming based formulation for fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing pulverised fuel ash' Contents lists available at ScienceDirect 2009
- [137] Liberato Ferrara, Yon-Dong Park, Surendra P. Shah" A method for mix-design of fiber-reinforced self-compacting concrete" *Cements and Concrete Research* 37 (2007) 957–971.
- [138] Arnaud pertué "Etude expérimentale du retrait endogène, du fluage propre et de la fissuration des matrices cimentaires aux jeune et très jeune âges" thèse de doctorat Spécialité Génie Civil.2008
- [139] Adam M.Neville, Propriétés des bétons.
- [140] Georges Dreux, Nouveau Guide du béton.
- [141] H. Siad, M. Mouli, H.A. Mesbah, H. Khelafi "Influence du type d'additions dans les bétons autoplaçants sur l'adhérence béton-ancrage" International conférence on sustainable built environments infrastructures in developing countries .October 12-14, 2009.
- [142] Osman Gencil , Cengiz Ozel, FuatKoksal, ErtugrulErdogmus,Gonzalo Martínez-Barrera, Witold Brostow. "Properties of concrete paving blocks made with waste marble". *Journal of Cleaner Production* 21 62-70. (2012)