



**MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE «ABBES LAGHROUR» DE KHENCHELA
FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE**



Département de Génie Civil

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Génie civil

Formulation et caractérisation d'un béton auto plaçant

Réalisé par :- BOULAGHMANE Rabah
- ZERAOULIA Fawzi

Dirigé par : Ben Addi Hachemi

Membres de jury :

M. NOM Prénom Président : Massas Tidjani

M. NOM Prénom Examineur : Touam Lekhmissi

Présenté le 15/09/2020

Résumé :

Les bétons autoplaçants présentent des particularités de compositions comparativement aux bétons ordinaires. Parmi ces particularités, un volume élevé de fines et un volume de pâte élevé qui est d'ailleurs responsable de leur comportement rhéologique. De plus, la texture très complexe des bétons autoplaçants à l'état durci qui a fait l'objet de nombreuses recherches.

L'objectif principal de ce travail est d'établir un programme expérimental afin de comparer entre les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires. Dans ce travail expérimental, nous avons préparé des échantillons de BAP avec différents pourcentages de filler calcaire (10,20,30) par rapport au volume de ciment de l'échantillon de BAP ce qui va nous permettre d'étudier la valorisation du filler calcaire sur les propriétés mécaniques (résistance à la compression et la résistance à la traction par Flexion). Grâce aux résultats obtenus, on en conclut que le filler calcaire a un effet positif sur les propriétés mécaniques et physiques.

Mots clés : Béton Autoplaçant, béton ordinaire, Propriétés mécaniques, Propriétés physiques.

Abstract :

The self-placing concretes present particularities of compositions comparatively Ordinary concrete. Among these characteristics, a high volume of fines and a volume of paste High which is responsible for their rheological behaviour. In addition, the very Complex of self-compacting concrete in a hardened state that has been the subject of much research.

The main objective of this work is to establish an experimental program in order to compare between self-compacting concrete and ordinary concrete. In this experimental work, we prepared BAP samples with different percentages of limestone filler (10,20,30) per volume of cement. The BAP sample, which will allow us to study the limestone filler recovery. mechanical properties (compressive strength and tensile strength by Bending). From the results obtained, it is concluded that filler limestone has a positive effect on the mechanical and physical properties.

Keywords : Self-compacting concrete, Ordinary concrete, Mechanical properties, Properties physical.

ملخص :

تتميز الخرسانة ذاتية الحركة بخاصية التراكيب مقارنة بالخرسانة العادية. من بين هذه الميزات، كمية كبيرة من الغرامات وحجم كبير من العجينة و هو مسؤول أيضا عن سلوك الريولوجي لها. بالإضافة إلى ذلك، فإن تركيبة الخرسانة ذاتية الانضغاط المعقدة للغاية في الحالة الصلبة التي كانت موضوعا للكثير من الأبحاث. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو وضع برنامج تجريبي لمقارنة الخرسانة ذاتية الانضغاط والخرسانة العادية نحن مهتمون، في هذا العمل التجريبي بديمومة الخرسانة، قمنا بإعداد عينات من الخرسانة ذاتية الانضغاط بمحتوى حشو من الحجر الجيري (10، 20، و30٪) كبديل من حجم الأسمنت .

العينة من الخرسانة ذاتية الضغط ستسمح لنا بدراسة تقييمها لحشوة الجيرية على الخواص الميكانيكية (قوة الانضغاط ومتانة الخرسانة). بفضل النتائج التي تم الحصول عليها، استنتج أن حشو الحجر الجيري له تأثير إيجابي على الخواص الميكانيكية والفيزيائية، التأثير مقبول ، ولكن بصفة عامة الخرسانة ذاتية الانضغاط أكثر دواما .

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية الانضغاط، الخرسانة العادية، الخواص الميكانيكية، الخواص الفيزيائية.

Remerciements

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses et que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs, sincères, profonds et je passe les obscures subtilités de la langue française, le choix de la formule de remerciements est difficile.

Nous tenons à remercier vivement notre encadreur monsieur BEN ADDI Hachemi pour ses conseils, ses orientations et sa disponibilité durant l'élaboration de ce travail.

Nous remercions aussi notre chef de département de génie civil.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements à l'ensemble des enseignants de faculté de science et technologie KHENCHELA qui nous ont accompagnés tout au long de notre formation.

Nous remercions également toute personne ayant contribué de près ou de loin à la finalisation de ce travail.

Rabah et fawzi

Dédicaces

A ma famille ,elle qui m'a doté d'une éducation digne son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

Particulièrement a mon épouse pour le goût a l'effort qu'elle a sa suscité en moi de par sa rigueur.

A vous mes enfants Niaama, Aya ,Abd Rahim ,Aniss ,Hadil ,Nour elamel ,Mouaatasme billah qui m'avez toujours soutenu et en couragé durant ces années d'études.

Je vous souhaite tout le bonheur du monde.

BOULAGHMANE Rabah

Dédicaces

À ceux qui se sont toujours dévoués et se sont sacrifiés pour moi; Ceux qui m'ont encouragé et soutenu à combattre les hauts et les bas de la vie et à faire de mon mieux; Comme symbole de ma gratitude éternelle, je dédie cette thèse principalement à mes parents.

À mes chères sœurs, ainsi qu'à mon cher frère; À qui j'exprime mon amour et mon admiration.

A ceux qui ont su me soutenir, m'encourager et surtout être patient avec moi; ma femme; A quoi j'exprime ma tendresse et toute ma gratitude.

la lumière de ma vie. Ma joie et ma fierté. Je ne vis que de leur rire. Leur regard et leur innocence. Pour mes enfants qui j'espère un jour seront fiers de leur père.

A tous ceux que j'aime et qui m'ont aidé de près ou de loin à accomplir ce modeste travail...

ZERAOULIA Fawzi

Table des matières

Nomenclature	xi
Table des figures	xiii
Liste des tableaux	xiv
Introduction	1
I Etude bibliographique	3
I.1 introduction	4
I.2 Historique	5
I.3 Notion du béton Autoplaçant	5
I.4 Domaine d'utilisation des BAP	6
I.5 Les avantages et inconvénients des BAP	7
I.5.1 Avantages techniques	7
I.5.2 Avantages économiques	7
I.5.3 Avantages écologiques	7
I.6 La structure des BAP	8
I.7 Les principaux constituants des BAP	9
I.7.1 Constituants spécifique des BAP	10
a- Une quantité de fines importante	10
b- Un volume de pâte élevé	10
c- Utilisation d'adjuvant (superplastifiant)	10
d- Eventuelle utilisation d'un agent de viscosité	10
e- Un faible volume de gravillon	10
I.8 CARACTÉRISTIQUES A L'ÉTAT FRAIS	11
I.8.1 La résistance à la ségrégation	11

I.8.2	La capacité de remplissage	11
I.9	l'ESSAIS A L'ÉTAT FRAIS	12
I.9.1	L'étalement au cône	12
I.9.2	La ségrégation dynamique	13
I.9.3	La ségrégation statique	14
I.10	Méthode de formulations des BAP	15
I.11	Différentes types des méthodes	16
I.11.1	Méthode Japonaise	16
I.11.1.1	Dosage des gravillons	16
I.11.1.2	Dosage du sable	17
I.11.1.3	Dosage du liant	17
I.11.1.4	Dosage de l'eau et du super plastifiant	17
I.11.2	Méthode Suédoise	17
I.11.3	Méthode Française	17
I.11.4	Autres Méthodes	18
I.12	Essais et caractérisation	19
I.12.1	Essai d'étalement	19
I.12.2	Essai de boite en L	20
I.12.3	Essai de stabilité au tamis	20
I.13	Conclusion	21
II	CARACTERISATION DES MATERIAUX	22
II.1	Introduction	23
II.2	CARACTERISATION DES MATERIAUX	23
II.2.1	Ciment	23
II.2.2	Agrégats	25
II.2.3	Sable	25
II.3	Différents essais sur les matériaux	26
II.3.1	Essai Equivalent de sable (NF P18-598)	26
II.3.1.1	Comparaison des résultats	28
II.3.2	EssaisAnalyse granulométrique d'un granulat	28
II.3.2.1	Courbe granulométrie	29
II.3.3	Module de finesse MF	31
II.3.4	Mesure de coefficient d'aplatissement des granulats « NF P 18-561 »	32

II.4	Résistance au choc : essai los Angeles	33
II.4.1	Principe de l'essai	33
II.4.2	But de l'essai	33
II.5	La masse volumique	34
II.5.1	Masse volumique (absolue) : NF P 18-555	34
II.5.2	Masse volumique apparente	34
II.6	Teneur en eau	34
II.6.1	Teneur en eau : NF P 18-555	35
II.7	Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)	35
II.8	Fillers de calcaires	36
II.9	L'adjuvant	39
II.10	Eau de gâchage	42
II.11	Conclusion	42
III	Etude expérimentale	43
III.1	Introduction	44
III.2	Formulation empirique du béton auto plaçant	44
III.2.1	premiere variante	44
III.2.2	Deuxième variante	46
III.2.3	Troisième variante	46
III.2.4	Préparation de mélange	47
III.3	Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais	47
III.3.1	Essai d'étalement au cône d'Abrams NF EN 12 350-8	48
III.3.2	Essai de stabilité au tamis NF EN 12 350-11	49
III.3.3	Essai de la boîte en « L » NF EN 12 350-10	51
III.3.4	DISCUSSION DES RESULTATS	53
III.4	Effet de l'ajout de filler de calcaire sur la résistance de BAP	54
III.5	Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état durci	55
III.5.1	Essai non destructifs	55
III.5.1.1	L'essai d'auscultation sonique	55
III.5.2	Essais destructifs	56
III.5.2.1	Confection et conservation des éprouvettes pour les essais de résistance NF EN 12390	56
III.5.2.2	Remplissage	57

III.6 Essai compression NF EN206-1	58
III.6.1 But de l'essai	58
III.6.2 Principe de l'essai	59
III.6.3 Rectification des extrémités des éprouvettes	59
III.6.4 Conduite de l'essai de rupture	60
III.7 Essai de traction par flexion	62
III.8 Présentation de résultats à l'état durci pour BAPFC	63
III.8.1 DISCUSSION DES RESULTATS	64
III.9 Conclusion	64
Conclusion générale	65
Bibliographie	67

Nomenclature

AFGC	Association Française de Génie Civil.
BAP	Béton Auto Plaçant.
BFM	Béton de Fibres Métalliques.
BHP	Béton Hhaute Performance.
BO	Béton Ordinaire.
BTHP	Béton à Très Haute Performance.
SCC	Self Compacting Concrete.
LCPC	Laboratoire à Central des Ponts Chaussées.

Table des figures

I.1	Béton Auto plaçant	4
I.2	Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO [1].	9
I.3	Aspect de la galette d'étalement [2].	13
I.4	Aspect de l'essai de la boîte en L [2].	14
I.5	Aspect de l'essai de la stabilité au tamis [2].	15
I.6	Schéma de cône d'ABRAMS pour la détermination de l'étalement [3].	19
I.7	Essai de la boîte en L.	20
I.8	Essai de stabilité au tamis.	21
II.1	sac ciment MATINE.	23
II.2	Conduit d'essai.	26
II.3	La courbe granulométrique du sable (0/5).	30
II.4	La courbe granulométrique du gravier (5/16).	32
II.5	Essais Los Angele.	33
II.6	L'essai de bleu de méthylène.	36
III.1	Préparation matériels du boratoire.	48
III.2	Essai d'étalement.	48
III.3	Essai d'étalement.	51
III.4	propriétés physico-mécaniques des BAP testés.	53
III.5	Essai d'auscultation sonore des bétons autoplaçants à 28jours.	56
III.6	Préparation des éprouvettes cylindriques (16x32).	57
III.7	Éprouvettes prismatiques (7x7x28).	58
III.8	Conservation des éprouvettes dans un bac d'eau à une température ambiante.	58
III.9	Presse hydraulique de compression.	59
III.10	Principe du surfaçage au soufre.	60

III.11 Exemple de dispositif de centrage de l'éprouvette sur la presse.	61
III.12 Après le surfaçage au soufre.	61
III.13 Ecrasement des éprouvettes prismatiques $7 \times 7 \times 28$ cm.	62
III.14 La résistance à la flexion des matériaux.	62
III.15 évolution de la résistance à la compression du BAP avec le pourcentage de filler de calcaire.	64

Liste des tableaux

I.1	Propriétés d'ouvrabilité des BAP.	12
I.2	Représente les cibles des résultats d'essais.	21
II.1	ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (ES).	27
II.2	Comparaison des résultats.	28
II.3	CRésultat d'ANALYSE GRANULOMETRIQUE(AG)NF18-560 :Sable 0/5.	30
II.4	ANALYSE GRANULOMETRIQUE(AG)NF18-560 : gravier5/16.	31
II.5	Coefficient d'aplatissement des agrégats (CAP) NF P18-561).	32
II.6	L' essai Los Angeles.	34
II.7	Résultats obtenus pour les masses volumiques.	34
II.8	Teneur en eau du sable concassé (0/5).	35
II.9	Résultat de l'essai de bleu de méthylène.	35
II.10	Caractéristiques Filler F50 (100 - 400 μm).	38
III.1	programme des essais réalisé à l'état frais.	52
III.2	Les compositions des BAP testés.	52
III.3	propriétés physico-mécaniques des BAP testés.	52
III.4	Les compositions des BAP avec % de filler de calcaire par apport de volume de ciment.	54
III.5	Spécifications de la qualité du béton.	55
III.6	Caractéristiques mécaniques du BAP avec % l'ajout de filler de calcaire Par apport le volume de ciment.	63

**INTRODUCTION
GENERALE**

Introduction générale : De nos jours, le béton doit répondre à des exigences toujours plus sévères en matière de performances mécaniques, de durabilité, d'ouvrabilité, d'environnement et d'aspect. Dans ce but, les recherches continues ont permis l'émergence de bétons spéciaux : les bétons à hautes performances (BHP), les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres métalliques (BFM) et les bétons autobloquants (BAP).

Le béton auto plaçant (BAP), «self compacting concrete (SCC) en anglais», constitue une véritable révolution culturelle des bétons. Il se distingue par sa fluidité, sa déformabilité et sa facilité de mise en place sans vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes et permet ainsi la réalisation de formes compliquées ou d'ouvrages à densité d'armatures élevée tout en présentant généralement des surfaces de meilleure qualité. Le béton est qualifié d'auto plaçant lorsque le matériau final répond à certaines exigences à l'état frais et à l'état durci. Ainsi, sa formulation doit au moins contenir un adjuvant chimique et un ajout minéral pour satisfaire les conditions de maniabilité et de stabilité.

Le sujet de ce travail s'articule autour de la formulation et des propriétés de bétons auto plaçant élaborés à partir de déchets de construction et de comparer les performances, en termes de résistance mécanique, par rapport à un béton ordinaire. L'étude consiste en l'investigation de l'influence de fibres de calcaire, sur le comportement à l'état frais, à l'état durci et à la rupture des différents BAP.

Ce mémoire s'organise en deux grandes parties :

- **Une partie théorique** : qui est une synthèse bibliographique qui comporte un rappel des définitions fondamentales sur le béton auto plaçant (BAP), Les méthodes de formulation d'un BAP, les essais de caractérisation à l'état frais et à l'état durci, ainsi que le processus d'élaboration et de transport y sont également développés.

- **Une partie expérimentale** : consacrée à la caractérisation des matériaux utilisés pour la confection des bétons mis en œuvre dans le cadre de cette étude. La méthode de formulation ainsi que les compositions retenues BAP y sont mentionnées.

Puis, sont détaillés les essais sur bétons à l'état frais et à l'état durci. une comparaison des résultats par rapport au béton ordinaire et entre les différents BAP est effectuée.

Bien entendu tous les résultats des essais effectués au laboratoire sont présentés et suivis d'une interprétation et d'une conclusion générale.

Chapitre I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 introduction

En raison de ses propriétés spécifiques, l'étude du béton Autoplaçant (BAP) représente un domaine de recherche qui possède un fort potentiel de développement. Le développement d'un BAP économique ayant des propriétés intéressantes à l'état frais et à l'état durci est important pour qu'un tel béton soit employé dans l'industrie de la construction.

Pour trouver de nouvelles solutions économiques s'ajoutant aux solutions techniques, des recherches sur les BAP économiques ont été conduites au cours de ces dernières années. Cependant, la quantité très importante de l'addition minérale dans la formulation des BAP, nous laisse penser que l'utilisation des ajouts minéraux naturels et économiques semble être l'une des solutions envisageables pour l'avenir des BAP.

La technologie des bétons autoplaçants est capable de consommer d'énormes quantités d'additions, parce que la formulation du BAP comporte une grande quantité de fines (environ $500\text{kg}/\text{m}^3$). Ces dernières pourraient améliorer les caractéristiques et performances de ce type de béton. Parmi ces additions on note l'utilisation des fines calcaires, des laitiers, de la pouzzolane naturelle et les pouzzolanes artificielles telles que le méta kaolin et la vase issue des dragages des barrages envasés.

Dans ce chapitre sont exposés les différents critères qui caractérisent les BAP, à l'état frais, ainsi que l'influence des différentes additions sur les propriétés des BAP à l'état frais et durci [4].



FIGURE I.1 — Béton Auto plaçant [1].

I.2 Historique

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2^{ème} Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai(Thaïlande). Trois années plus tard, en Mai 1992 au 4^{ème}, Congrès International CANMET ACI à Istanbul, l'intervention de Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton [5].

I.3 Notion du béton Autoplaçant

Les bétons Autoplaçants (BAP ou SCC en anglais, pour self-compacting concrète) ont été utilisés pour la première fois au Japon vers la fin des années 1980 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores. L'idée de la formulation du BAP est liée à l'observation du comportement de béton sous l'eau (ouvrages marins) en utilisant un viscosant afin d'améliorer la cohésion entre les particules du ciment et un superplastifiant pour assurer la fluidité de ce béton [6].

Le béton autoplaçant par définition, est un béton très fluide, homogène et stable, qui se caractérise par sa rapidité de mise en place sous l'effet de son poids propre sans apport de vibration externe ou interne. En effet, les bétons ordinaires subissent une réduction de leur ouvrabilité lors du transport et de la mise en œuvre et nécessitent, en général, un apport d'énergie (sous la forme d'une vibration interne ou externe) permettant d'évacuer l'air emprisonné dans le matériau.

Les bétons ordinaires de consistance fluide peuvent, dans certains cas, être mis en œuvre sans vibration seulement à l'état durci ils présentent un comportement mécanique et une durabilité plus faibles par rapport aux bétons vibrés [7].

Ce qui distingue véritablement les BAP des bétons fluides ordinaires, c'est leur capacité à s'acheminer dans les coffrages tout en conservant leur homogénéité et leur compacité. L'utilisation des BAP offre de nombreux avantages à la pratique de la construction. Globalement, leur utilisation permet d'améliorer les conditions de travail et la qualité des produits finis, ainsi que la possibilité de coulage dans des zones fortement ferrillées, d'architecture complexe et difficilement accessibles. En effet, le risque de blocage peut être réduit en optimisant les mélanges avec une viscosité adéquate. Ceci permet d'assurer

une bonne suspension aux particules solides durant l'écoulement. Cela peut se faire en réduisant le rapport eau/liant et/ou en incorporant un dosage adéquat en superplastifiant.

Selon Khayat, le BAP doit assurer le compromis entre deux propriétés tout à fait contradictoires : une grande fluidité et une grande stabilité [8].

Un BAP assure en effet, un remplissage complet des coffrages même quand l'accès est gêné par des vides étroits entre les barres d'armatures ou dans des coffrages ayant des formes complexes. Pour se faire, le béton frais doit présenter simultanément, une grande fluidité et une bonne stabilité. En plus, ces bétons présentent d'autres avantages qui justifient l'intérêt nouveau que leur portent les industriels [9] :

- Élimination du besoin de vibration et les nuisances sonores ;
- Réduction du temps de travail ;
- Amélioration du fait de la stabilité de la matrice, de la qualité de l'interface entre la pâte de ciment et les granulats ou les armatures ;
- Amélioration de la qualité d'adhérence à l'interface entre un ancien béton et le BAP de réparation ;
- Après l'élimination des couches du béton endommagé de l'élément structural en le remplaçant par une couche de BAP de réparation, une diminution de la perméabilité et par conséquent, une amélioration de la durabilité peuvent être observées sur cet élément structural. Amélioration de la qualité des parements.

I.4 Domaine d'utilisation des BAP

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.) [10].

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mises-en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :

- Densités de ferrailage importantes ;
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes ... ;

- Voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts. . . ;
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures ;
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

En Algérie, il existe très peu de rivières, ce qui diminue considérablement la disponibilité des agrégats alluvionnaires et donc roulés, qui sont à la base de la confection d'un bon béton auto plaçant.

Malgré ça on pourra encourager les entreprises de construction algériennes à utiliser ce type de formulation, d'où l'intérêt pour le développement de l'industrie de la construction en Algérie [10].

I.5 Les avantages et inconvénients des BAP

Les BAP présentent de nombreux avantages :

I.5.1 Avantages techniques

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton ;
- Réalisation d'éléments de forme complexe ;
- Bétonnage en milieux fortement ferrailés.

I.5.2 Avantages économiques

- Réduction du cout de main d'œuvre et du temps de bétonnage ;
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les couts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

I.5.3 Avantages écologiques

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage) ;
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP).

Comme inconvenients, on distingue

La composition des BAP implique un dosage délicat des matières premières. Il est donc préférable de faire appel à une entreprise spécialisée pour réaliser ces bétons. La liquidité des BAP est très précise et réclame donc un étroit partenariat entre la société de fabrication et l'entrepreneur du chantier. En effet, suivant le type de coffrage, sa disposition ou sa taille, on préférera plutôt un type de liquidité ou un autre. Cela rajoute donc des contraintes dans les préparatifs du chantier puisque beaucoup de discussions s'imposent.

De plus, la rigueur dans les délais est de mise, sans quoi la liquidité du béton peut varier. Cet aspect prend beaucoup plus d'importance que pour les bétons vibrés. Rajoutons à cela que les matières premières en elles-mêmes sont spécifiques et ne sont pas toujours disponibles de stock chez les fabricants [11].

I.6 La structure des BAP

Pour parvenir au cahier de charges précédentes, les BAP sont formulés différemment des BO (voir la Figure I.2). Dans leur cas, la pâte, définie comme le mélange du ciment, de l'eau, de l'air et d'une addition minérale, est privilégiée au détriment des gravillons. En général, les BAP possèdent un même dosage en ciment et en eau que les BO, ainsi qu'un volume de sable assez proche. C'est donc principalement l'ajout d'une addition minérale qui sert de substitut aux gravillons.

Cependant, cette formulation n'est pas suffisante pour atteindre la fluidité, il est donc nécessaire d'ajouter aux BAP un défloculant (superplastifiant), sans lequel la demande en eau du mélange serait trop élevée, d'autres adjuvants chimiques tels que les agents colloïdaux (dits aussi agents de viscosité) peuvent être introduits afin d'empêcher la ségrégation et d'assurer une meilleure stabilité de béton, en revanche, leur utilisation est au contraire peu répandue, car ils engendrent un surcoût, qui s'ajoute à ceux dus au superplastifiant et aux additions minérales, les proportions exactes de chaque constituant dépendent bien sûr de la méthode de formulation choisie [12].

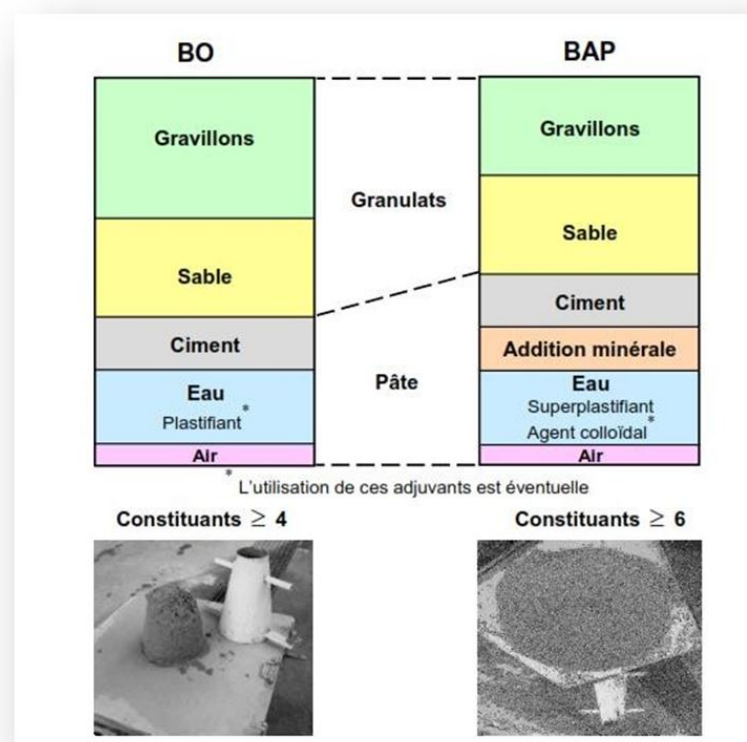


FIGURE I.2 — Comparaison de la structure d'un BAP et d'un BO [1].

De manière plus approfondie, les recherches consacrées aux BAP nous permettent de souligner cinq particularités de leur structure dont le détail est décrit ci-dessous.

- Un volume de pâte élevé ;
- Une quantité importante de fines ;
- Un faible volume de gravillons ;
- Un fort dosage de superplastifiant ;
- L'utilisation éventuelle d'agent colloïdal [13].

I.7 Les principaux constituants des BAP

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix, étant donné le mode de mise en placides BAP, il convient de porter une attention particulière au type de liant ainsi qu'à la granulométrie des gravillons si l'on désire obtenir de meilleures qualités de béton.

Généralement, on peut diviser les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques [14].

I.7.1 Constituants spécifique des BAP

La formulation des BAP est basée sur les critères suivants :

a- Une quantité de fines importante

La composition des bétons autoplaçants comporte une quantité de fines importante ($500\text{kg}/\text{m}^3$) de diamètre inférieur à $80\mu\text{m}$) assurant la maniabilité et limitant les risques de ségrégation et ressuage. Le liant utilisé est généralement un mélange de deux ou trois constituants pour éviter l'élévation de température du béton lors de la prise de ce dernier.

b- Un volume de pâte élevé

Le rôle de la pâte (ciment + addition + eau efficace + air occlus) est d'écarter les granulats pour réduire les frottements provoquant la limitation vis-à-vis de l'étalement du béton et la capacité de remplissage des coffrages.

c- Utilisation d'adjuvant (superplastifiant)

L'ajout des super plastifiants conférant aux BAP leur maniabilité, cet ajout doit être proche du dosage de saturation et jamais très élevé sous peine d'augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneurs en eau vis-à-vis du problème de ségrégation et du ressuage.

d- Eventuelle utilisation d'un agent de viscosité

Ces agents sont des dérivés celluloseux, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales augmentant la viscosité de l'eau. Ils empêchent le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse. Ces adjuvants sont utiles pour des bétons ayant des rapports eau/liant élevés, mais leur emploi pour des BAP ayant un faible rapport E/L n'est jamais justifié.

Les agents de viscosité sont connus pour rendre les bétons autoplaçants moins sensibles à des variations de la teneur en eau, ils peuvent conduire à des entraînements d'air excessifs et à une diminution de maniabilité.

e- Un faible volume de gravillon

Pour un confinement donné, les risques de blocage croissent avec l'augmentation des teneurs en gros granulats. Les BAP sont réalisés avec des granulats roulés ou concassés, le diamètre maximal des gravillons dans un BAP étant compris entre 10mm et 20mm.

Le rapport G/S pour les BAP est proche de unité [15].

I.8 CARACTÉRISTIQUES A L'ÉTAT FRAIS

I.8.1 La résistance à la ségrégation

La ségrégation d'un mélange correspond à l'absence d'homogénéité dans la distribution des constituants ce qui provoque généralement une séparation de phases solide et liquide ou bien une séparation des phases solides en fonction de leurs dimensions [35].

La ségrégation peut donc se manifester dans un béton de façons différentes, comme la séparation entre la pâte et les granulats, la séparation entre le gravier et le mortier qui peut conduire à un blocage en zones confinées, et une répartition non homogène de l'air occlus.

Pour éviter la ségrégation, il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité.

I.8.2 La capacité de remplissage

Le béton autoplaçant doit réunir à la fois la fluidité (la capacité de remplissage) et la résistance à la ségrégation pour produire un bon écoulement. Cependant, dans les milieux confinés, il faut que le béton puisse s'écouler dans les espaces étroits et entre les armatures.

En effet, le blocage des granulats est provoqué par la quantité importante de granulats dans le béton, et par la taille des plus gros granulats par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement [16].

Donc, un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, en trouvant le bon compromis entre des caractéristiques presque contradictoires : fluidité et résistance à la ségrégation.

Pour résumer, on présente les propriétés des BAP, les moyens de les obtenir et les actions entreprises pour leur mise en œuvre dans le tableau (I.1).

L'ouvrabilité des bétons autoplaçant se décompose en trois caractéristiques ;

- La mobilité en milieu non confine (décrit par l'essai d'étalement) ;
- La mobilité en milieu confiné (décrit par la boîte en L) ;
- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage) [36].

Propriétés D'un BAP	Moyens D'obtention	Actions A Mener Dans La Formulation
REMPLISSAGE (FLUIDITE)	Réduction des frictions entre les particules	Augmentation des volumes de pate
	Optimisation de la pate	Utilisation des superplastifiants
		Optimisation du rapport e/c
RESISTANCE A LA SEGREGATION	Réduction de l'eau libre dans le béton	Réduction du rapport e/c
		Utilisation des matériaux de grande surface
		Utilisation d'agent de viscosité
RESISTANCE A LA SEGREGATION	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport e/c
		Utilisation d'agent de viscosité
		Reduction de la taille maximale des granulats
CAPACITE DE PASSAGE	Réduction de blocage des granulats	Réduction de volume de gravier
		Reduction de la taille maximale des granulats

Tableau I.1 — Propriétés d'ouvrabilité des BAP.

I.9 L'ESSAIS A L'ÉTAT FRAIS

I.9.1 L'étalement au cône

Les valeurs d'étalement spécifiés (figure I.3) de BAP dépassent les 60 cm qui représentent la limite inférieure acceptable pour ce type d'essai ce qui implique que cette exigence a été convenablement remplie par les deux BAP. En ce qui concerne les temps d'étalement (t_{50}), bien qu'aucune limite ne soit donnée pour ces derniers, les temps mesurés pour atteindre une galette de 50 cm de diamètre (t_{50}) sont proches à la valeur cou-

ramment rencontrée (3 secondes). Leurs étalements laissent présumer que le béton a des propriétés autoplaçantes.

L'auréole de laitance de BAP, à la périphérie des galettes de béton est absente ou très faible (de 1 à 2 mm). De plus, les gros granulats ont toujours été entraînés correctement par la matrice cimentaire et ne sont pas restés amoncelés au milieu des galettes de béton.

Malgré l'augmentation du dosage en superplastifiant pour le BAP, l'étalement a légèrement diminué mais tout en restant acceptable vis-à-vis les recommandations de l'AFGC.



FIGURE I.3 — Aspect de la galette d'étalement [2].

I.9.2 La ségrégation dynamique

La ségrégation dynamique de BAP est caractérisée par l'essai de la boîte en L qui est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton en fond et en début de boîte), il doit être supérieur à 0,8 . Le BAP vérifient cette condition.

La figure (I.4) présente l'aspect des BAP lors de l'essai de la boîte en L.



FIGURE I.4 — Aspect de l'essai de la boîte en L [2].

I.9.3 La ségrégation statique

La ségrégation statique des BAP a été caractérisée par l'essai de la stabilité au tamis (figure I.5) qui permet de calculer un taux de ségrégation et de déduire si le béton testé possède une stabilité satisfaisante ou non. Le BAP ont un taux de ségrégation inférieur à 15%, synonyme d'une stabilité correcte.



FIGURE I.5 — Aspect de l'essai de la stabilité au tamis [2].

I.10 Méthode de formulations des BAP

Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde (approche japonaise, approche suédoise, approche du LCPC, etc.) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton.

Deux grandes familles prévalent actuellement :

- La première [Hayakawa 95, Nagataki 95] concerne des formulations fortement dosées en ciment et contenant une proportion d'eau réduite. La quantité de ciment très importante (450 à 600 kg/m³) est nécessaire pour augmenter le volume de pâte afin d'améliorer la déformabilité du mortier. Ce volume important de pâte limite

par conséquent les interactions inter-granulats (dont la quantité est parallèlement diminuée) et l'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité. Cette approche de formulation conduit toutefois à des bétons de hautes performances mécaniques, onéreux et mal adaptés à des ouvrages courants.

- Une deuxième famille de formulations repose sur le remplacement d'une partie du ciment par des fines minérales [Peterson 96]. Ces additions, comme les fillers calcaires par exemple, permettent d'obtenir un squelette granulaire plus compact et plus homogène. La quantité d'adjuvant nécessaire à l'obtention d'une fluidité et d'une viscosité données est alors diminuée. Leur utilisation conduit également à conserver des résistances mécaniques et des chaleurs d'hydratation raisonnables.

I.11 Différentes types des méthodes

I.11.1 Méthode Japonaise

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'oeuvre. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

I.11.1.1 Dosage des gravillons

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

A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à $285l/m^3$. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

I.11.1.2 Dosage du sable

Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

I.11.1.3 Dosage du liant

La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de $350\text{kg}/\text{m}^3$).

Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

I.11.1.4 Dosage de l'eau et du super plastifiant

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

I.11.2 Méthode Suédoise

proposée par [Petersson et al, 1996]

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

Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée.

Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat.

I.11.3 Méthode Française

Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994] :

Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

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

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

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

La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.10^4 La teneur en eau est réduite en conséquence et La proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle.

La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes.

I.11.4 Autres Méthodes

D'autres méthodes de formulation, que nous ne développerons pas dans cette étude bibliographique, ont été publiées tels que la méthode reposant sur la théorie de «l'excès de pâte » : proposée par [Oh et al, 1999]; la méthode d'évaluation simple utilisée par [Ouchi et al, 1999] (étudie l'interaction entre les granulats et les particules fines du mortier frais) etc.

I.12 Essais et caractérisation

I.12.1 Essai d'étalement

Pour la détermination de l'étalement (Slump Flow), on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante, puis il est rempli de béton BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue, qui devrait être comprise entre 600 et 800mm. La tendance à la ségrégation peut être évaluée qualitativement. Les granulats grossiers devraient être répartis uniformément et aucune concentration ou séparation de fines ne devrait apparaître sur les bords de la galette. Il est utile de documenter le résultat de cet essai au moyen de photographies.

La façon de disposer le cône n'est pas réglementée en Suisse par une norme. L'important est de procéder toujours de la même manière. Lorsque la petite ouverture se trouve en bas (fig. I.6), le remplissage du cône avec le BAP est facilité et son soulèvement est empêché. Dans ce cas il en résulte une valeur d'étalement plus élevée de 20 à 40 mm, par rapport à celle obtenue avec le cône disposé en sens contraire pour le même béton [17].

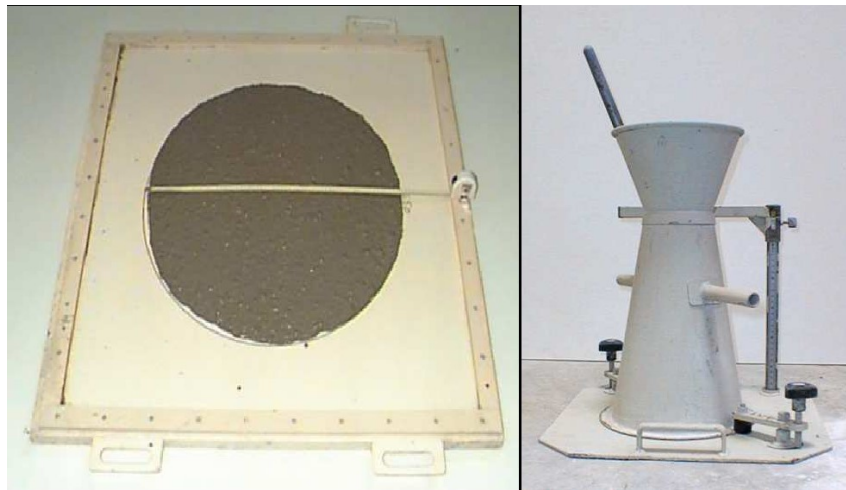


FIGURE I.6 — Schéma de cône d'ABRAMS pour la détermination de l'étalement [3].

En 2002, les recommandations en termes d'étalement admissible définissaient la fourchette : 600-750 mm. Depuis, différentes classes de BAP ont été désignées en fonction du

type d'application. Ainsi, différentes classes d'étalement ont été définies :

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

I.12.2 Essai de boîte en L

La procédure d'essai dans la boîte en L est la suivante : la partie verticale de la boîte est remplie de béton. Ensuite le volet est soulevé, ce qui provoque l'écoulement du béton qui doit passer au travers d'un grillage, formé de 3 barres d'armature \varnothing 14 mm distantes de 39 mm, avant de pouvoir atteindre la partie horizontale de la boîte. On mesure le temps nécessaire dès l'ouverture du volet jusqu'à la fin de l'écoulement du béton dans la partie horizontale. Ce temps d'écoulement devrait être compris entre 3 et 7 secondes. On peut aussi mesurer la hauteur atteinte aux deux extrémités de la partie horizontale par le béton (h_1 et h_2), afin de qualifier sa capacité d'autonivellement. Le rapport h_2/h_1 devrait être supérieur à 0,80. L'essai permet en outre de vérifier la capacité du béton à s'écouler au travers d'un réseau d'armatures d'écartement défini [18].



FIGURE I.7 — Essai de la boîte en L.

I.12.3 Essai de stabilité au tamis

A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes, une masse 4,8 kg de béton est versée du seau sur un tamis de maille

5 mm. Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Un pourcentage élevé de laitance par rapport à la masse initiale est un indicateur d'une faible résistance à la ségrégation. L'AFGC a proposé en plus un essai de mesure du ressuage, qui semble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif). Le tableau ci-après donne les valeurs préconisées pour l'obtention d'un BAP [19].

Etalement	60cm à 75cm
H_2/H_1	≥ 0.8
Laitance	$\leq 15\%$

TABLE I.2 — Représente les cibles des résultats d'essais.

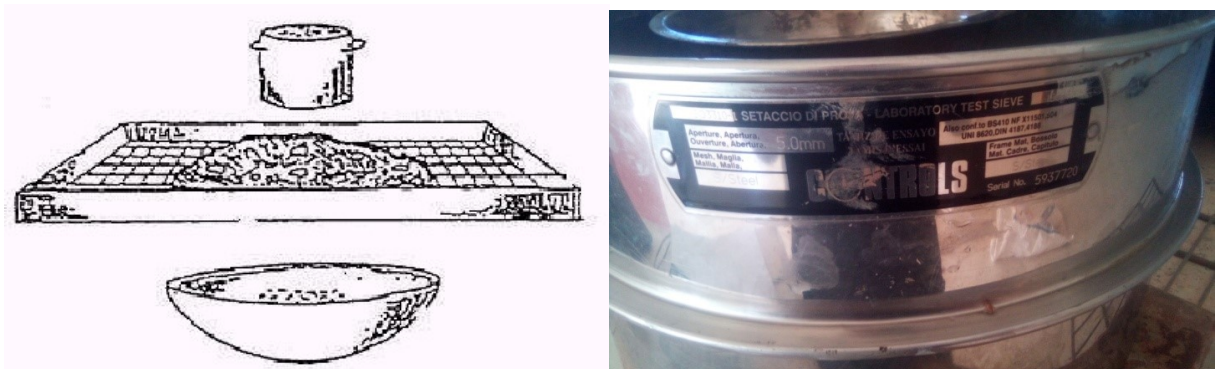


FIGURE I.8 — Essai de stabilité au tamis [2].

I.13 Conclusion

Dans ce chapitre, on a vu les principales notions sur BAP, et nous avons présenté les différentes caractéristiques a état frais

Chapitre II

CARACTERISATION DES MATERIAUX

II.1 Introduction

L'objectif de ce programme expérimental est de développer des formulations de béton autoplaçant tout en s'appuyant sur les résultats préliminaires obtenus par les essais d'optimisations de la pâte liante (ciment, eau, superplastifiant et ajout) d'une part et l'adoption d'un squelette granulaire spécifié d'autre part.

Cette optimisation conjointe nous amène à la confection d'un béton autoplaçant doté de meilleures caractéristiques.

Dans toute cette campagne de recherche, nous avons utilisé des matériaux locaux, qui sont disponibles au niveau du laboratoire de l'institut de génie civil, à savoir les fractions de granulats et le sable et dans le marché Algérien tels que : le ciment, et l'djuvant (super plastifiant).

II.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX

II.2.1 Ciment

Nous avons utilisé un ciment CEM II/B-L 42.5 fabriqué et livré par la société des ciments de BISKRA (MATINE), Ces caractéristiques sont groupées dans le tableau (certificat de qualité) tableauII.1.



FIGURE II.1 — sac ciment MATINE.

Département Qualité & Carrier

CERTIFICAT DE QUALITE

Date de Prélèvement : 10-Mars -18

Type du Ciment : Ciment Portland au Calcaire NA 442 - CEM II / B-L 42,5
Matine

CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES DU CIMENT

Caractéristiques	Normes	Résultats	Unité
SiO ₂	NA 5042	15.61	%
Al ₂ O ₃		4.16	%
Fe ₂ O ₃		2.62	%
CaO		56.76	%
K ₂ O		0.53	%
Na ₂ O		0.19	%
Na ₂ O-Equ			%
Perte au feu 'PAF	NA 5042	10.32	%
Teneur en oxyde de Magnésium (MgO)		1.52	%
Teneur en anhydrite sulfurique (SO ₃)	NA 5042	2.69	%
Chlorure	NA 5042	0.04	%
Finesse Blaine (cm ² /g)	NA231	4618	%
Début du Temps de Prise (min)	NA230	151	%
Fin du Temps de Prise (min)		200	%
Expansion "Le Chatelier" (mm)	NA230	1	%

RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR MORTIER

Échéances	Normes	Résultats	Unité
2 Jours en MPa	NA234	24.40	MPa
7 Jours en MPa		38.30	
28 Jours en MPa		45.70	

Tableau : II.1 En ce qui concerne la caractérisation mécanique du ciment utilisé CEMII 42.5, on a procédé à la détermination des résistances à la compression et à la flexion d'un mortier de ciment constitué conformément à la norme NF EN 196- 1/ 196-3 et Les résultats d'essai VICAT effectué sont représentés dans certificat de qualité (CARACTERISTIQUES PHYSICO- CHIMIQUES DU CIMENT).

II.2.2 Agrégats

Dans les travaux de bâtiments et de génie civil, on utilise impérativement des granulats de qualité. Il est toujours utile d'établir les caractéristiques par différents essais de laboratoire.

Certaines propriétés de ces granulats sont liées aux caractéristiques intrinsèques des roches d'origine telles que : la résistance à la fragmentation, ces propriétés sont complétées par des caractéristiques liées à la propreté des matériaux en passant par l'évaluation du pourcentage en fines argileuses.

En sachant que ces classes granulaires sont des matériaux mis en stock, les gros éléments ont tendance à rouler en bas du tas, alors que le haut est enrichi en éléments de faibles dimensions.

Les prélèvements de granulats qui ont du servir comme matériau destiné à tout genre d'essais de caractérisation dans ce cas, ont été effectués de telle sorte de prendre des parties du bas, du haut, du milieu et de veiller à leur bon mélange.

II.2.3 Sable

Le sable (0/5) utilisé est naturel, provenant de la carrière BOUZINA BATNA .

Les caractéristiques principales requises pour un sable à béton sont la propreté, définie par l'essai d'équivalent de sable et la granularité déterminée par le module de finesse qui est déterminé par l'analyse granulométrique.

Pour les deux paramètres, les valeurs optimales sont respectivement :

Equivalent de sable > 70 (NF P 18-598)

module de finesse : $1.8 < MF < 3.2$ (NF P 18-541)

II.3 Différents essais sur les matériaux

II.3.1 Essai Equivalent de sable (NF P18-598)

Cet essai est un essai de propreté, la valeur de l'E.S. exprime le pourcentage de fines contenues dans le sable.

L'absence de fines ne permet pas d'obtenir un béton compact. L'excès de fines est défavorable dans la mesure où il augmente la demande en eau, donc le rapport E/C donc une faible valeur de la résistance.

L'essai d'équivalent de sable a donné les résultats présentés dans le tableau d'essai II.2.

ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (ES) :



FIGURE II.2 — Conduite d'essai.

ES N°		30/06/2020				
		Date de prélè				
date d'essai		30/06/2020				
Heure		09h30				
Lieu d'essai		Laboratoire de chantier				
Nature des matériaux		Conglomérat				
Lieu de prélèvement		Stock				
Matériaux		Sable 0 /5				
ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (ES)						
Essai N°	Indice de plasticité	lecture total	lecture visuel	lecture piston	$ES = \frac{\text{lecture visuel}}{\text{lecture total}} \times 100$	$ES = \frac{\text{lecture piston}}{\text{lecture total}} \times 100$
		cm	cm	cm	%	%
1	NP	10.0	8.8	8.8	88.0	88.0
2	NP	10.4	9.4	9.3	90.4	89.4
3	NP	10.0	9.1	9.0	91.0	90.0
Moyenne					90	89

Tableau II.1 — ESSAI D'EQUIVALENT DE SABLE (ES).

II.3.1.1 Comparaison des résultats

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
ES<65	ES<60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
65<ES<75	65<ES<70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
75 ≤ ES ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	Sable propre et faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
E.S ≥ 85	E.S > 80	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau II.2 — Comparaison des résultats.

II.3.2 Essais Analyse granulométrique d'un granulat

Elle consiste à séparer les grains composant un granulat en classes selon leurs dimensions à l'aide d'une série de tamis, puis déterminer les pourcentages en poids des différentes classes dans le granulat. Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat.

- Série principale européenne (NF EN 933-1) : 0.063 - 0.125 - 0.25 - 0.5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31.5...
- Série française principale (P 18 -560) : 0.08 - 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2 - 5 - 10 - 20...

Illustration :

On considère un échantillon de Poids P d'un granulat. L'échantillon est mis dans le tamis supérieur d'une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles (du plus grand en haut au plus petit en bas). Après vibration de la série de tamis, les grains de L'échantillon se trouvent séparés selon leurs dimensions et chaque tamis retient une partie dite Refus partiel du tamis. Le refus cumulé (total) d'un tamis est la somme de tous les refus partiels des tamis qui se trouvent au dessus.

La proportion en % du refus cumulé d'un tamis rapportée au poids total s'exprime :

$$\%Refus = \left(Poids \ refus \ cumul \div Poids \ d'echantillon \right) \times 100 \quad (II.1)$$

Le complément à 100% du refus cumulé est le Tamisat du tamis en considération.

$$\%tamisat = \%100 - \%Refus \quad (II.2)$$

La courbe granulométrique est la représentation graphique du % Tamisat en fonction de la dimension de la maille du tamis. Afin de prendre en compte la grande variation des dimensions des grains dans granulat, la dimension de la maille du tamis est représentée sur une échelle logarithmique.

Ainsi la courbe granulométrique est :

$$\%Tamisat = f[\log (d)] \quad (II.3)$$

ou d c'est la dimension de la maille du tamis.

II.3.2.1 Courbe granulométrie

C'est l'outil de base qui permet le choix de la composition d'un BAP ayant les caractéristiques citées dans le tableau II.3 et II.4.

TAMIS AFNOR (mm)	Sable 0/5		
	REFUS		PASSANT
	gr	%	%
5	0	0	100
2,5	264,5	19,7	80,3
1,25	566	42,1	57,9
0,63	917,5	68,3	31,7
0,315	1024	76,2	23,8
0,16	1200	89,3	10,7
0,08	1274	94,8	5,2
Fond tamis	1274	94,8	5,2
Poids de l'échantillon (kg)	1344		
Module de fineess :	2,96		

Tableau II.3 — CRésultat d'ANALYSE GRANULOMETRIQUE(AG)NF18-560 :Sable 0/5.

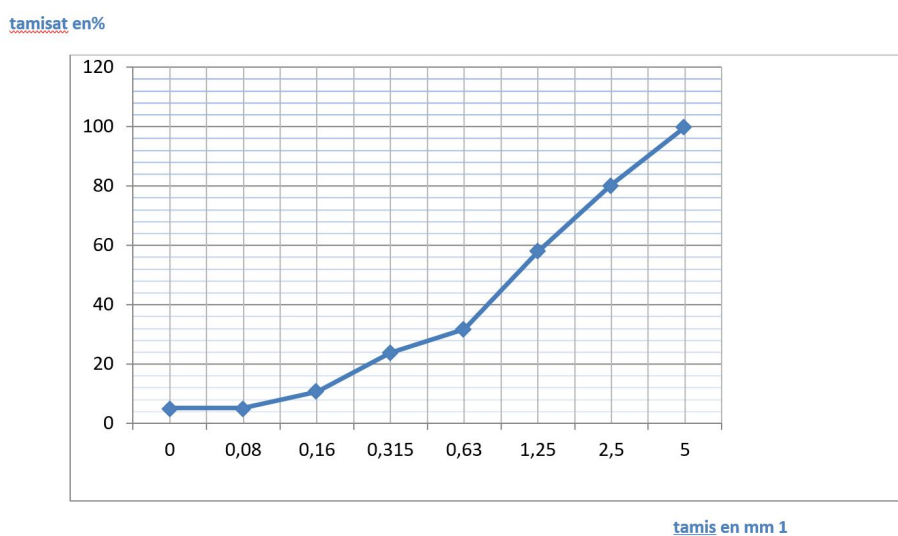


FIGURE II.3 — La courbe granulométrique du sable (0/5).

II.3.3 Module de finesse MF

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis, il est donné par relation suivante :

$$M_F = \Sigma Rc/100 \Rightarrow M_F = 2,96 \tag{II.4}$$

- sable gros : $M_F > 2.5$.
- sable moyen : $M_F = 2$ à 2.5 .
- sable fin : $M_F = 1.5$ à 2 .

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

Pour le sable concassé : $M_f > 2,5$: C'est un sable gros.

TAMIS AFNOR (mm)	gravier (5/16)		
	REFUS		PASSANT
	gr	%	%
16,0	0,0	0,0	100,0
12,5	637,5	21,0	79,0
10	1408,5	46,3	53,7
8	2053,0	67,5	32,5
6,3	2636,5	86,7	13,3
5	2826,5	93,0	7,0
2,5	2959,0	97,3	2,7
Fnod tamis	2968	97,6	2,4
Poids de l'échantillon (kg)	3040		

Tableau II.4 — ANALYSE GRANULOMETRIQUE(AG)NF18-560 : gravier5/16.

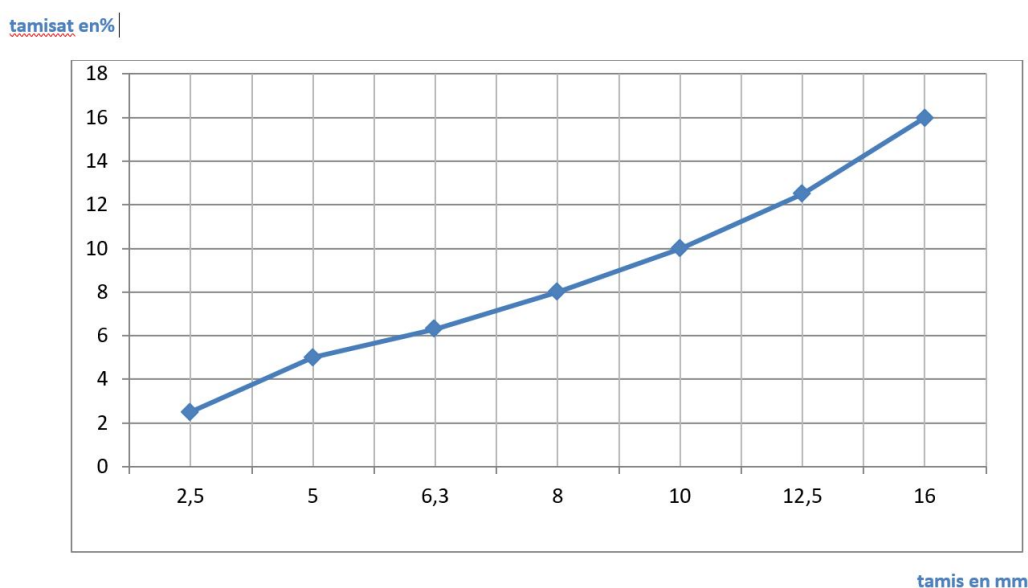


FIGURE II.4 — La courbe granulométrique du gravier (5/16).

II.3.4 Mesure de coefficient d'aplatissement des granulats « NF P 18-561 »

détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats. La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques principales : la longueur L, l'épaisseur E, la grosseur G. Le coefficient d'aplatissement A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondérale des éléments qui vérifient la relation : $G / E > 1,58$ Les analyses granulométriques pour les granulats utilisés ont été portées sur le tableau III. 1

Classe granulaire	Refus sur Grilles	Passant Grilles
	W1(g)	W2(g)
12,5-16	2018,5	315,5
12,5-10	1065,5	125,5
10,0-8,0	1275,5	357,5
6,3-8	1186,5	165,5
Total	5546,0	964,0
Fraction granulaire		5/16
Coefficient d'aplatissement (A) %		17,38

Tableau II.5 — Coefficient d'aplatissement des agrégats (CAP) NF P18-561).

avec le coefficient d'Aplatissement global $\% = \frac{W_2}{W_1} \times 100$.

II.4 Résistance au choc : essai los Angeles

II.4.1 Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulet normalisés dans la machine Los Angeles.

II.4.2 But de l'essai

L'essai Los Angeles a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.



Appareil los Angeles

matière avant l'essai

matière après l'essai

FIGURE II.5 — Essais Los Angeles.

Expression des résultats :

- M : la masse de l'échantillon ;
- M' : masse après essais de l'échantillon LA (coefficient Los Angeles) ;

L'essai Los Angeles a été effectué donné des résultats (Tableau.II.6) :

- M : Masse sèche de l'échantillon (5000 g) ;
- m' : Masse de refus sur le tamis 1,6 mm ;
- m=M-m' :Masse des passants au tamis 1,6 mm ;
- LA= 100xm/M.

Classe Granulaire	Nbr Boules	Masse total de la charge (g)	M(g)	m'(g)	LA (%)	Rotation (Tr)
6.3-16,0	12	5000	5000	3514,5	29,71	500

TABLE II.6 — L'essai Los Angeles.

II.5 La masse volumique

II.5.1 Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

II.5.2 Masse volumique apparente

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains ,voir les résultats dans le tableau II.7.

Caractéristiques	S. de carrière (0/5)	Graviers (5/16)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2,772	2.58
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.51	1.45

Tableau II.7 — Résultats obtenus pour les masses volumiques.

II.6 Teneur en eau

La teneur en eau d'un granulat est le rapport du poids d'eau contenu au poids des grains composant le granulat tableau II.8.

- E : poids d'eau dans le matériau ;
- Ps : poids de matériau sec ;
- Ph : poids matériau humide.

Si W est exprimé en % :

II.6.1 Teneur en eau : NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25 % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3%, on l'appelle sec.

<i>N° d'essai</i>	M_h (g)	M_s (g)	W (%)	W_{moy} (%)
1	500	494.5	1.11	1.1
2	500	494.2	1.17	
3	500	494.9	1.03	

Tableau II.8 — Teneur en eau du sable concassé (0/5).

II.7 Essai au bleu de méthylène (NF P 94-068)

Le but de l'essai est de déterminer le pourcentage d'argile et les éléments fins dans le sable -Matériels utilise : Agitateur à ailettes, vitesse entre 400 et 800 tours / min, Burette de 50 ml gradue 0.1 ml, Papier filtre sans cendre, Baguette de verre, Bêcher de 1.2 ou 3 litres, Appareillage : balance, chronomètre, tamis de 2mm... Pour notre cas les résultats sont récapitulés dans le tableau II.9 :

Masse de l'échantillon (0/5) mm (M1)	200	gr
Total de volume de solution ajouté (V1)	20	MI
ESSAI AU BLEU SUR LA FARCTION (0/5) mm $BM = \left(\frac{V_1}{M_1}\right) \times 10$	1.00	Ml/gr

Tableau II.9 — Résultat de l'essai de bleu de méthylène.

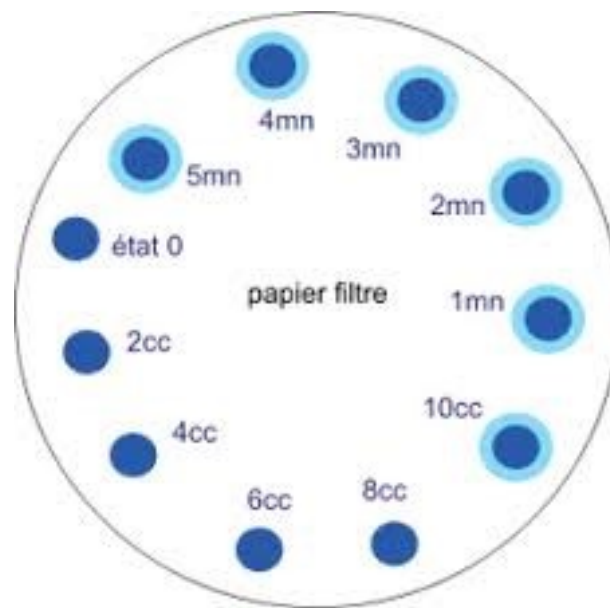


FIGURE II.6 — L'essai de bleu de méthylène.

II.8 Fillers de calcaires

Elles sont soumises à la Norme NFP 18 508 qui les définit comme des « produits secs fine-ment divisés », obtenus par broyage, et/ou sélection, provenant de gisements de roches calcaires. Les fillers calcaires cumulent trois propriétés intéressantes : une certaine activité hydraulique, des éléments de faible dimension qui permettent un remplissage granulaire efficace et un faible coût [20, 21].

L'industrie des matériaux de constructions issus des carrières est toujours accompagnée par des produits secondaires ou des déchets qui ont une incidence directe sur l'environnement.

Le but est donc de valoriser ces déchets afin de les utiliser dans le domaine du génie civil [21]. En Algérie plus de mille unités produisent annuellement 68 millions de tonnes de granulats, de nature calcaire. Malheureusement, plus de 20% des sables produits sont impropres à l'utilisation comme sable de construction du fait d'une teneur en fines ($d \leq 80\mu\text{m}$) supérieure à 12 % (limite normative actuelle). De même, les fillers calcaires, qui résultent aussi du processus de concassage et de broyage des roches calcaires, sont considérés comme des résidus inutilisables et donc inexploitable [21]. Les fillers calcaires peuvent avoir plusieurs rôles :

1. Un rôle de remplissage en corrigeant la granulométrie des éléments fins du ciment .
rôle rhéologique par leur pouvoir fluidifiant sur la pâte interstitielle .
2. Un rôle chimique et physique par augmentation des résistances et amélioration de la durabilité [21].
3. Un rôle de densification sur le bétonD'après l'étude faite par les chercheurs, il s'est avéréque pour des teneurs en fillers de 10%, les performances mécaniques en compression des pâtes de ciment se trouvent augmentées, jusqu'à 10% pour les fillers les plus fins[21].

L'incorporation des fillers ayant des surfaces spécifiques élevées améliore sensiblement la résistance à la compression .

La finesse des fines calcaires joue un rôle prédominant dans l'amélioration des performances mécaniques des pâtes de ciment. La réactivité chimique de ces fines et la formation de nouveaux composés tels que les carboaluminates semblent être les principales causes [21]. Zhu et Gibbs ont étudié l'influence de filler calcaire sur les BAP.

Nous avons utilisé dans notre projet type de filler de calcaire (**Filler F50**) Provenance par : **ENOF el khroub**.

Les caractéristiques chimiques et physiques du filler calcaire sont regroupées dans le tableau II.10.

Nature du matériau	Filler F50	Date de prélèvement :		
Lab No :		Date de l'essai		07.07.2020
Opérateur :				
Pronevance	ErOF el khNoub			
Casacdérirtiques tu matériau	Filler F50 (100 - 400 μm)			
		Test- 001	Test- 002	<i>moy.</i>
Pycnomètre + matériau sec	<i>a</i>	58,22	59,49	58,86
Pycnomètre + matériau sec + eau	<i>b</i>	154,6	155,98	155,3
oids dP l'eau (gr)	$b = c - a$	96,35	96,49	96,42
Température de l'eau (°C)	<i>d</i>	19,2	19,2	19,2
Densité de l'eau (gr/cm ³)	<i>e</i>	0,99839	0,99839	0,99839
Volume de l'eau (cm ³)	$f = c / e$	96,51	96,65	96,58
Pycnomètre + eau (saturé)(gr)	<i>g</i>	148,24	149,75	148,995
Pycnomètre	<i>h</i>	48,14	49,57	48,855
Poids de l'eau (gr)	$i = g - h$	100,1	100,18	100,14
Volume pycnomètre (cm ³)	$j = i / e$	100,26	100,34	100,30
Volume du matériau (cm ³)	$k = j - f$	3,76	3,70	3,73
matériau sec (gr)	$L = h - a$	10,08	9,92	10
Poids spécifique (sec)	$P.S. = L / k$	2,684	2,684	2,684
Tamis 80μ				
Poids total du matériau	W	100		
Refrs (gu)	W1	24,6		
Passant (gr)	W2	75,4		
Refus (%)	w1/w*100	% 24,6		

 Tableau II.10 — Caractéristiques Filler F50 (100 - 400 μm).

II.9 L'adjuvant

Les adjuvants sont ajoutés au béton en général sous forme liquide. Ils influent par leurs effets chimiques et/ou physiques sur les propriétés du béton. Selon le type d'adjuvant utilisé, il est possible de modifier de manière ciblée tant les propriétés du béton frais, p. ex. le temps de prise et l'ouvrabilité, que les caractéristiques du béton durci, telles que la résistance à la compression et la durabilité. L'emploi d'adjuvants est motivé par des considérations technologiques et économiques. L'addition de petites quantités de fluidifiants permet de réduire une partie de l'eau de gâchage. Il est ainsi possible de fabriquer un béton de bonne Ouvrabilité, très dense, à faible porosité capillaire et à durabilité améliorée, en réduisant de cette manière le rapport E/C. Une multitude de substances organiques et inorganiques sont utilisées comme agents actifs des adjuvants. Pour produire un maximum d'efficacité, ils doivent être ajustés au ciment. L'efficacité des adjuvants pour béton est aussi influencée par la teneur en eau, le sable, l'intensité et la durée de malaxage ainsi que la température. L'adjuvant utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau, fabriqué par la société Sika et commercialisé sous le nom de «SIKA" VISCOCRETE* 625 », il est conçu à base de polycarboxylates, sa plage de dosage recommandée est fixée par la fiche technique.

Notice produit
Edition Juillet 2017
Numéro 1.25
Version n° 107.2017
SIKA® VISCOCRETE® 625

SIKA® VISCOCRETE® 625

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

Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab 11.1 et 11.2

Construction

Présentation	SIKA® VISCOCRETE® 625 est un Super plastifiant/Haut réducteur d'eau formulé à partir d'un mélange de polycarboxylates qui confère au béton des longs maintiens de rhéologie.
Domaines d'application	<ul style="list-style-type: none">■ SIKA® VISCOCRETE® 625 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de très longues distances.■ Bétons à longs maintiens de rhéologie, avec reprise de fluidité dans le temps■ Bétonnage par temps chaud 30 à 35°C et plus.■ Bétons d'ouvrages fortement ferrailés
Caractères généraux	SIKA® VISCOCRETE® 625 est un super plastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : Béton frais : Béton homogène. Long maintien de rhéologie Béton durci : Qualité de parement Bonne résistance à long terme.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide Marron
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none">■ Vrac■ Conteneur perdu de 1000 kg■ Fût de 200 kg
Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact
Données techniques	
densité	1,08 ± 0,015
pH	5,0 ± 1,0



Extrait sec	31,0 ± 1% (méthode halogène selon NF 085)
Teneur en ions Cl⁻	≤ 0,1%
Conditions d'application	
Dosage	Plage de dosage : 0,5 à 2,5 % du poids du ciment ou du liant selon la fluidité et les performances recherchées.
Mise en œuvre	SIKA® VISCOCRETE® 625 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08



II.10 Eau de gâchage

L'eau de gâchage est essentielle pour la fabrication du béton. Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Élément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, notre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.

II.11 Conclusion

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans le laboratoire donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des bétons qui seront étudiés au chapitre suivant de point de vue rhéologique et mécanique.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentaux.

Chapitre III

ETUDE EXPÉRIMENTALE

III.1 Introduction

Formulation d'un béton auto plaçant (BAP) est une opération complexe qui nécessite de trouver Une bonne combinaison de matériaux compatibles, et le dosage convenable de chacun de ces Constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP.

De ce fait la formulation des BAP fait appel à des adjuvants, une quantité de fines élevée, un faible volume de gravillons , la formulation des BAP plusieurs approches, pour la plupart empiriques .

nos jours, il n'existe pas encore de méthode de formulation généralisée permettant de choisir précisément Les proportions des constituants en fonction des propriétés souhaitées du BAP.

III.2 Formulation empirique du béton auto plaçant

Pour la formulation du béton auto plaçant nous n'avons suivi une formulation classique. Nous avons respecté les conditions nécessaires permettant de garantir l'autoplaçabilité tout en se Basant sur des compositions proposées dans la littérature spécialisée.

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans un volume de 1000L de béton en ayant comme données Les paramètres suivants :

III.2.1 premiere variante

BAP₁ : on a les hypothèses suivantes : Le volume de gravier est fixé à ($V_g = 310L$) et un volume des vides V_V dans le béton estimé à 3,5 %. Ainsi que un volume d'adjuvant super plastifiant qui est égale (01% volume de Ciment), $E/C = 0,40$ et le volume de sable : $V_s = 0,6$ (volume de la pâte).

La confection des BAP₁ se fait à partir de résoudre l'équation suivante :

$$V_T = V_C + V_{E+} + V_{V+} + V_G + V_S + V_{ADJ} = 1000L \quad (III.1)$$

Avec :

- V_T : Volume unité du béton (1000 L) ;
- V_s : Volume de sable ;
- V_g : Volume de gravier fixe qui égale (310L) ;

- V_V : Volume des vides dans le béton, équivaut au volume de l'air occlus (35 L) ;
- V_c : volume de ciment ;
- V_{ADJ} : volume d'adjuvant ($V_{ADJ} = 01\% V_c$).

Les caractéristiques des matériaux à disposition sont :

- ciment CEM II 42,5 (classe de résistance commerciale) de densité 3,1 ;
- masse volumique absolue de sable : 0/5 ($\rho = 2,772$ g /ml) ;
- masse volumique absolue de gravier : 5/16 ($\rho = 2,58$ g /ml) ;
- la densité d'adjuvant 1,07 selon la fiche technique.

Il est possible de calculer la quantité de chacun des constituants par rapport le volume de ciment.

A partir de Cette première partie on peut déterminer les volumes des constituants.

Validation :

$$\begin{aligned} V_C + V_E + V_V + V_G + V_S + V_{ADJ} &= 1000L \Leftrightarrow \\ V_C + V_E + V_S + V_{ADJ} &= 1000L - V_G - V_V \end{aligned} \quad (\text{III.2})$$

avec :

- $V_S = 0,6V_{P\grave{a}te} / V_{P\grave{a}te} = (V_C + V_E + V_{ADJ})$
- $V_E = (0,4 \times V_C \times 3,1)$
- $V_{ADJ} = \frac{(0,01 \times V_C \times 3,1)}{1,07}$

L'équation devient :

$$\begin{aligned} V_C + V_E + 0,6V_{P\grave{a}te} + V_{ADJ} &= 1000L - 310L - 35L \Leftrightarrow \\ V_C + (0,4 \times V_C \times 3,1) + 0,6(V_C + V_E + V_{ADJ}) + \frac{(0,01 \times V_C \times 3,1)}{1,07} &= 655L \Leftrightarrow \\ V_C + (0,4 \times V_C \times 3,1) + 0,6 \left[V_C + 0,4 \times V_C \times 3,1 + \frac{(0,01 \times V_C \times 3,1)}{1,07} \right] + \frac{(0,01 \times V_C \times 3,1)}{1,07} &= 655L \Leftrightarrow \end{aligned}$$

- $V_C = 180,50L / M_C = V_C \times \rho_c = 559,55\text{kg}$
- $V_E = 223,82L$
- $V_G = 310L / M_G = V_G \times \rho_G = 799,8\text{kg}$

- $V_S = 245,624L/M_S = V_S \times \rho_S = 680,86kg$
- $V_{ADJ} = 5,054L$

La somme des volumes =999,98L \simeq 1000L C.V

III.2.2 Deuxième variante

BAP₂ pour un volume de sable = 0,7V_{Pate} on obtient des résultats Suivants :

- $V_C = 169,88L/M_C = V_C \times \rho_c = 526,628kg$
- $V_E = 210,65L$
- $V_G = 310L/M_C = V_G \times \rho_G = 799,8kg$
- $V_S = 269,70L/M_S = V_S \times \rho_S = 747,60kg$
- $V_{ADJ} = 4,75L$

La somme des volumes =999,98L \simeq 1000L C.V

III.2.3 Troisième variante

BAP₃ pour un volume de sable = 0,8V_{Pate} on obtient des résultats Suivants :

- $V_C = 160,44L/M_C = V_C \times \rho_c = 497,364kg$
- $V_E = 198,95L$
- $V_G = 310L/M_C = V_G \times \rho_G = 799,8kg$
- $V_S = 291,10L/M_S = V_S \times \rho_S = 806,929kg$
- $V_{ADJ} = 4,49L$

La somme des volumes =999,98L \simeq 1000L C.V

III.2.4 Préparation de mélange

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

Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé. Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage ;
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve ;
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage ;
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, calcaire) et les introduire dans le malaxeur ;
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec ;
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant) ;
- Ajouter la trois quart d'eau graduellement ;
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues ;
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration.

III.3 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état frais

Dans la suite du document seront présentés les essais proposés par L'AFGC qui servent Actuellement de référence à défaut d'être normalisés. Les résultats de ces essais permettent de donner une vision qualitative pour les BAP.

Trois principaux essais permettent de caractériser et de contrôler la rhéologie des BAP :

- Mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement au cône d'Abrams);
- Mobilité en milieu confiné (décrit par l'essai d'écoulement à la boîte en L);
- Stabilité (résistance à la ségrégation décrite par l'essai de stabilité au tamis).



FIGURE III.1 — Préparation matériels du boratoire.

III.3.1 Essai d'étalement au cône d'Abrams NF EN 12 350-8



FIGURE III.2 — Essai d'étalement.

a-Mode opératoire :

- S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône
- en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré (au centimètre le plus proche) le diamètre final (D final) sur deux cotés perpendiculaires.
- Noter le résultat des deux valeurs. Exemple : ((68/70cm)). Si les deux valeurs différentes de plus de 5 cm, l'essai doivent être invalidé et reconduit.
- Exprimer le résultat final en termes de moyenne des deux valeurs obtenue, en arrondissant au centimètre supérieur [22].

III.3.2 Essai de stabilité au tamis NF EN 12 350-11**Mode opératoire :** Echantillonnage :

- En laboratoire : Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau ;
- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement <30s ;
- Sur chantier, BPE amené par camion malaxeur : Malaxer à grande vitesse pendant 1 minute ;
- Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis la goulotte du camion ;
- Sur chantier avec centrale, mise en œuvre à la benne : Prélever 10 L de béton en tête de benne à la main écope pour remplir le seau ;

- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation ;
- Attendre 15 mn ;
- Peser le fond et le tamis à vide ;
- Peser le fond seul ;
- Poser tamis+fond sur la bascule ;
- Faire la tare ;
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15mn ;
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg.

verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm \pm 5 cm.

- Noter le poids réel lu de l'échantillon ;
- Attendre 2 mn ;
- Faire la tare.

Peser le fond avec la laitance :

- On a : $P_{\text{laitances}} = P_{\text{fond}} + \text{laitance} - P_{\text{fond}}$;
- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon ;
- $\delta = (P_{\text{laitance}}/P_{\text{echantillon}}) \times 100$.

III.3.3 Essai de la boîte en « L » NF EN 12 350-10



FIGURE III.3 — Essai d'étalement.

La parie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm. Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulat en avale de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton [23].

La masse volumique du béton autoplaçant NF EN 12 350-6 :

Voir été essuyées ou nettoyées, les éprouvettes sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000.

La masse volumique est alors calculée en divisant sa le volume de l'éprouvette. C'est-à-dire :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{III.3})$$

La masse volumique exprimée en kg/dm^3 car la densité.

TYPE D'essais	Paramètre étudié	Valeur Mesure	Cibles	Unité
Etalement	Fluidité	Etalement : D	≥ 60	cm
Boite en L	Déformabilité	Taux de remplissage : H_2/H_1	≥ 80	
Stabilité au tamis	Stabilité	Indice de ségrégation :	$\leq 15\%$	

Tableau *III.1* — programme des essais réalisé à l'état frais.

Pour volume (20L)	Unités	Types de béton		
		BAP 1	BAP 2	BAP 3
Ciment	Kg/m ³	11,191	10,532	9,94
Sable carrière : 0/5		13,61	14,95	16,138
Graviers : 5/16		15,996	15,996	15,996
Eau	L	4,476	4,21	3,979
Supreplastifiant Viscocerte (625)		0,101	0,095	0,0898

Tableau *III.2* — Les compositions des BAP testés.

Les résultats des essais de caractérisation du BAP son présentés dans le tableau III.3 : les résultats des propriétés physico-mécaniques des BAP testés.

Type de béton	Etalement(cm)	Stabilité au tamis %	Diformabilité(L-BOX)
BAP 1	71	10,10	0.89
BAP 2	69	9,98	0,83
BAP 3	64	8.39	0,76

Tableau *III.3* — propriétés physico-mécaniques des BAP testés.

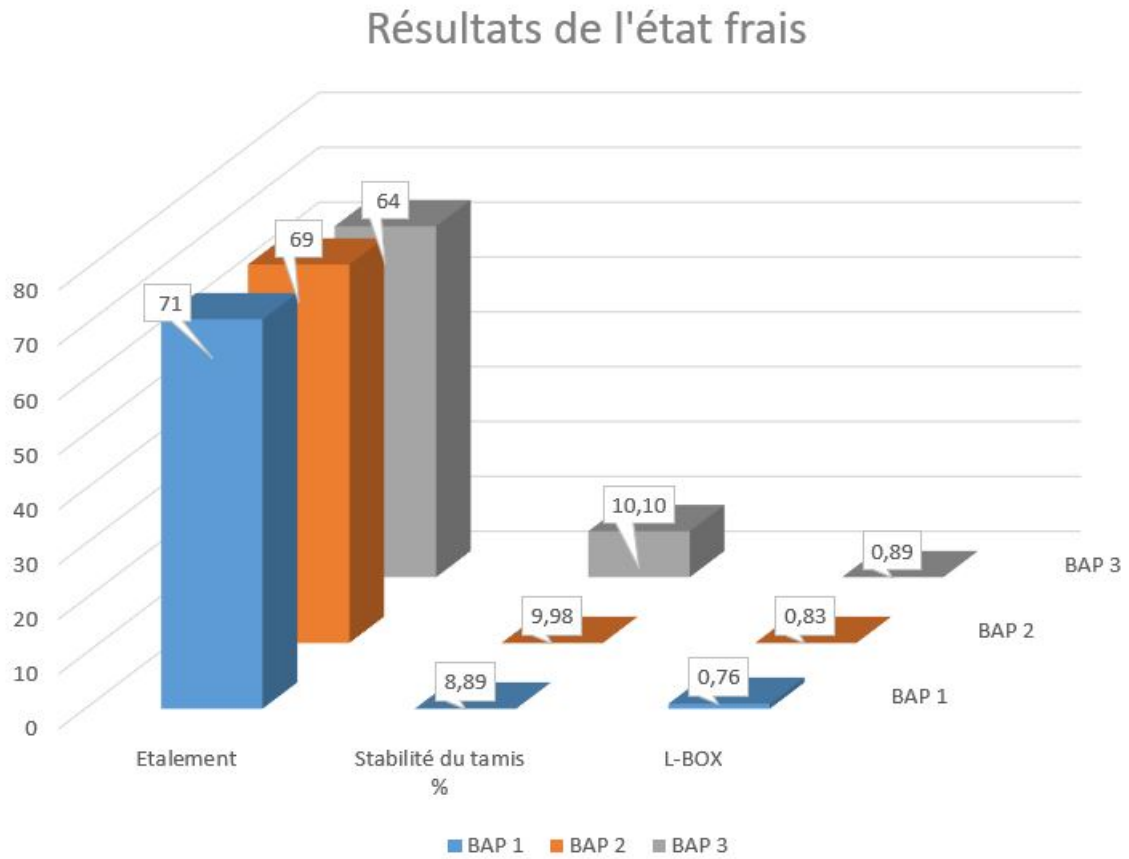


FIGURE III.4 — propriétés physico-mécaniques des BAP testés.

III.3.4 DISCUSSION DES RESULTATS

Pour les compositions référencées, BAP₁, BAP₂, BAP₃.

D'après les résultats obtenus, le béton auto plaçant (BAP₂) confectionné présente d'excellentes propriétés rhéologiques qui sont conformes aux exigences prescrites par l'AFGC.

III.4 Effet de l'ajout de filler de calcaire sur la résistance de BAP

Types des bétons	BAP de référence		BAP2 FC10%		BAP2 FC20%		BAP2 FC30%	
	volume : (L)	poids : (kg)	volume : (L)	poids : (kg)	volume : (L)	poids : (kg)	volume : (L)	poids : (kg)
Unités (1m ³)	169.88	526.628	152.9	473.96	135.91	421.30	118.92	368.64
Ciment : Matine	0,00	0.00	16.98	52.66	33.97	105.32	50.96	157.98
Filler de calcaire	269.70	747.60	269.70	747.60	269.70	747.60	269.70	747.60
Sable carrière : 0/5	310	799.8	310	799.8	310	799.8	310	799.8
Graviers : 5/16	210.65	210.65	210.65	210.65	210.65	210.65	210.65	210.65
Eau	4.75	5.08	4.75	5.08	4.75	5.08	4.75	5.08
superplastifiant viscocréte tompo(625)								

Tableau III.4 — Les compositions des BAP avec % de filler de calcaire par apport de volume de ciment.

III.5 Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état durci

III.5.1 Essai non destructifs

III.5.1.1 L'essai d'auscultation sonore

La méthode consiste à mesurer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton à l'aide d'un générateur et d'un récepteur.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

$$V = L/T \quad (\text{III.4})$$

La vitesse conventionnelle de propagation est calculée par la formule où :

L : La distance entre les transducteurs en mètre.

T : Le temps de propagation en secondes.

La spécification de la qualité du béton est montrée sur tableau III.5

Vitesse conventionnelle en (m/s)	Appréciation de la qualité
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bonne
3000 à 3500	assez Bonne
2000 à 3000	Mediocre

Tableau III.5 — Spécifications de la qualité du béton.



FIGURE III.5 — Essai d'auscultation sonore des bétons autoplaçants à 28jours.

III.5.2 Essais destructifs

III.5.2.1 Confection et conservation des éprouvettes pour les essais de résistance NF EN 12390

Le programme expérimental comprend deux types d'essais devant être effectués à des échéances bien précises, chaque type d'essai comprend plusieurs :

- Eprouvettes cylindriques ;
- Eprouvettes prismatiques.

a.1.Eprouvettes Cylindriques :

Conformément à la norme NF P18-406(NA427), les éprouvettes cylindriques s'élanement 2, dont les extrémités ont été préalablement rectifiées sont utilisées pour l'essai d'écrasement compression simple. Ce type d'éprouvette a été conçu pour la détermination de la résistance de la compression, la charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai à 28 jours.



FIGURE III.6 — Préparation des éprouvettes cylindriques (16x32).

a.2.Éprouvettes prismatiques :

Ces éprouvettes sont réalisées pour les essais de traction par flexion selon les normes NFP18- 407(NA428), qui précise les détails d'exécution, les éprouvettes sont des prismes de sections carrées et l'élancement (figure III.7).

III.5.2.2 Remplissage

Le remplissage se fait en deux ou trois couches successives suivant les dimensions des moules, jusqu'au meilleurs remplissage. Les BAP se distinguent des BV, par leur propriété à l'état frais. Ils 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. Après mise en place du béton dans les moules (fabrication des éprouvettes), ils sont laissés pendant 24 heures dans la salle à température ambiante, après 24 heures, les éprouvettes sont démoulées.

On a remarqué que la qualité des produits finis (aspect apparent) était très bonne.



FIGURE III.7 — Epreuves prismatiques (7x7x28).



FIGURE III.8 — Conservation des épreuves dans un bac d'eau à une température ambiante.

III.6 Essai compression NF EN206-1

III.6.1 But de l'essai

Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton. L'essai se fait sur une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et d'élançement de 2. ($H = 2 \varnothing$) ou

éprouvette cubique ($10 \times 10 \times 10$).

Les dimensions les plus utilisées sont : $H= 32 \text{ cm}$ $\emptyset = 16 \text{ cm}$.

III.6.2 Principe de l'essai

- Après malaxage, on remplit en béton un moule cylindrique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches bien vibrées chacune ;
- L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de $20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- Le démoulage se fera après un 24 heures. Généralement, la résistance est déterminée à 28 jours.



FIGURE III.9 — Presse hydraulique de compression.

III.6.3 Rectification des extrémités des éprouvettes

Conformément à la norme NF P 18-406, l'essai de compression est effectué sur des éprouvettes cylindriques dont les extrémités ont été préalablement rectifiées. En effet, si les éprouvettes étaient placées telles quelles sur les plateaux de la presse, on ne serait pas assuré de la planéité des surfaces au contact et de leur perpendicularité aux génératrices de l'éprouvette. La rectification consiste donc à rendre ces surfaces planes et perpendiculaires

aux génératrices de l'éprouvette. Pour parvenir à ce résultat deux méthodes peuvent être employées : le surfaçage au soufre et la rectification par usinage des extrémités.

Le surfaçage au soufre est décrit dans la norme NF P 18-416. Il consiste à munir chaque extrémité de l'éprouvette d'une galette à base de soufre respectant les deux exigences : planéité et perpendicularité aux génératrices. La planéité est assurée de la façon suivante : le mélange soufre, porté à une température de $125^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, est liquéfié et versé sur une platine dont le fond a été rectifié (figure). La perpendicularité est obtenue grâce à un dispositif de guidage qui maintient les génératrices de l'éprouvette perpendiculaires au fond rectifié du moule, (figure III.10).

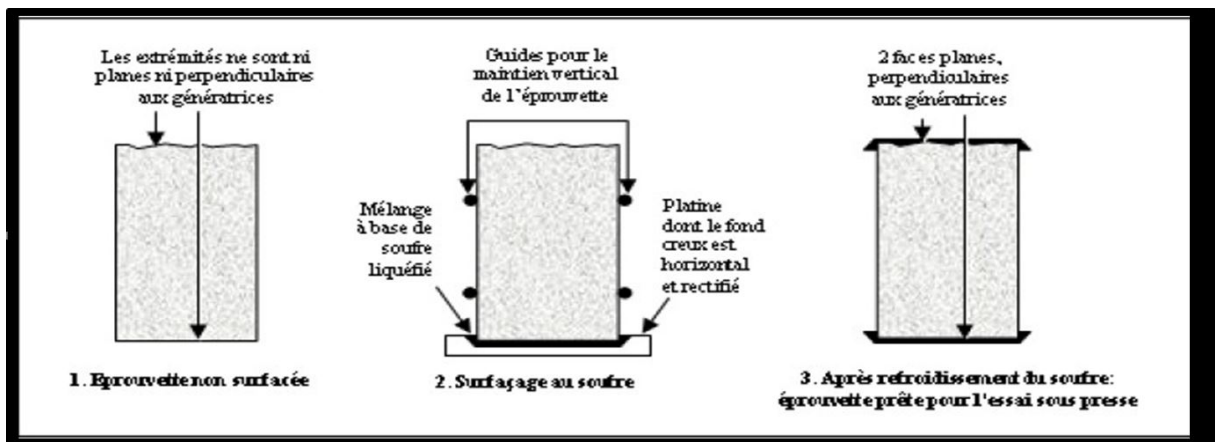


FIGURE III.10 — Principe du surfaçage au soufre.

III.6.4 Conduite de l'essai de rupture

L'éprouvette, une fois rectifiée, doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. Pour des éprouvettes 11×22 ou 16×32, cela signifie une précision millimétrique qui ne pourra pas être obtenue sans l'emploi d'un gabarit de centrage prenant appui sur l'éprouvette (et non sur le produit de surfaçage), comme indiqué sur la figure III.11.

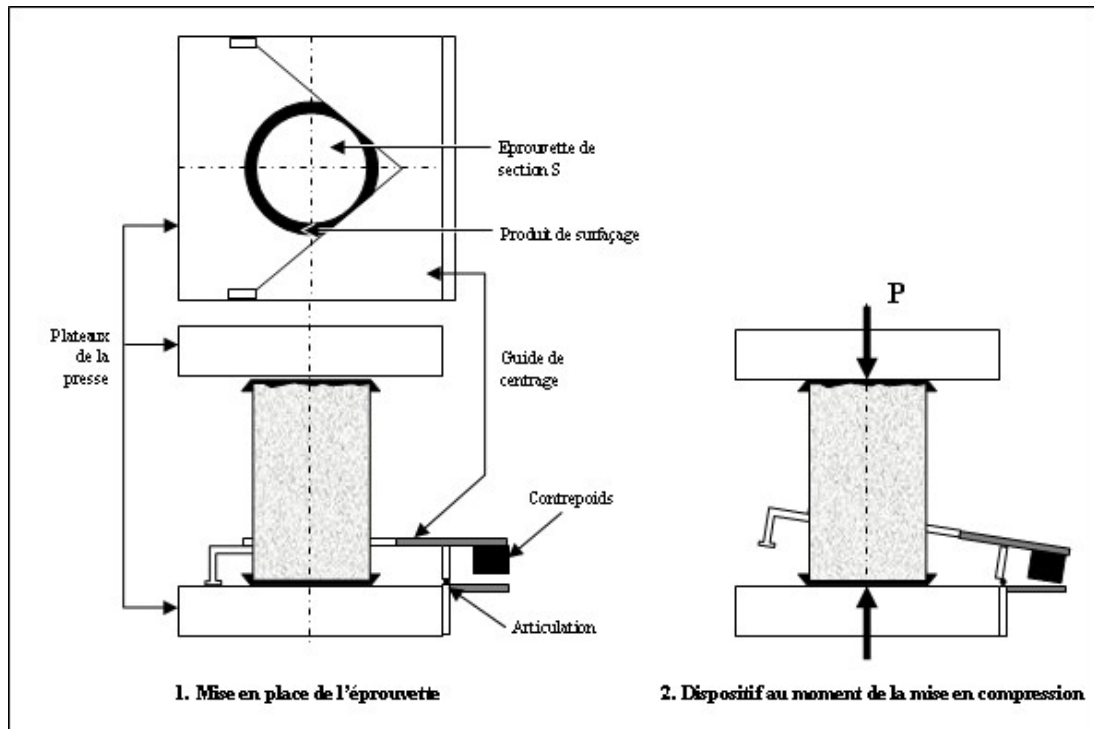


FIGURE III.11 — Exemple de dispositif de centrage de l'éprouvette sur la presse.



FIGURE III.12 — Après le surfaçage au soufre.

III.7 Essai de traction par flexion

L'essai de flexion est effectué sur prisme ($7 \times 7 \times 28$) cm. Le prisme est placé dans une machine automatique de flexion et soumis à une charge croissante jusqu'à sa rupture. On note alors la charge de rupture (figure III.13).

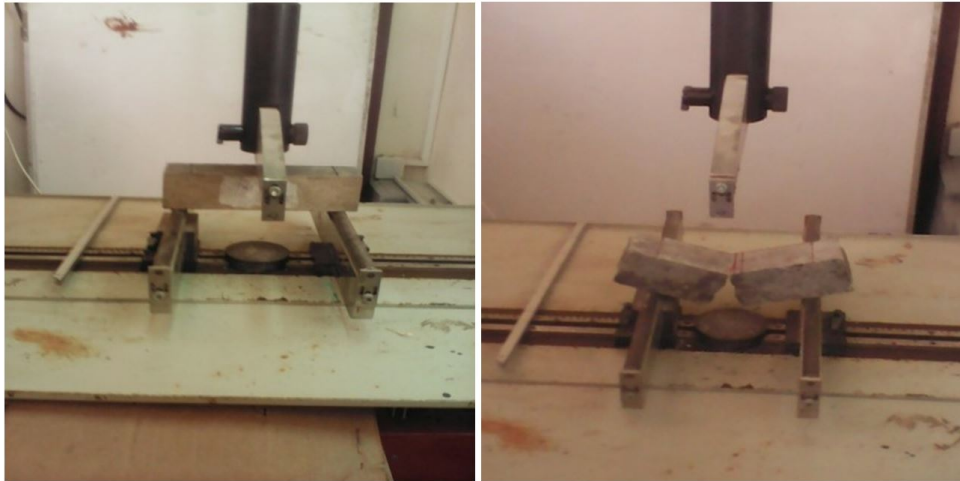


FIGURE III.13 — Ecrasement des éprouvettes prismatiques $7 \times 7 \times 28$ cm.

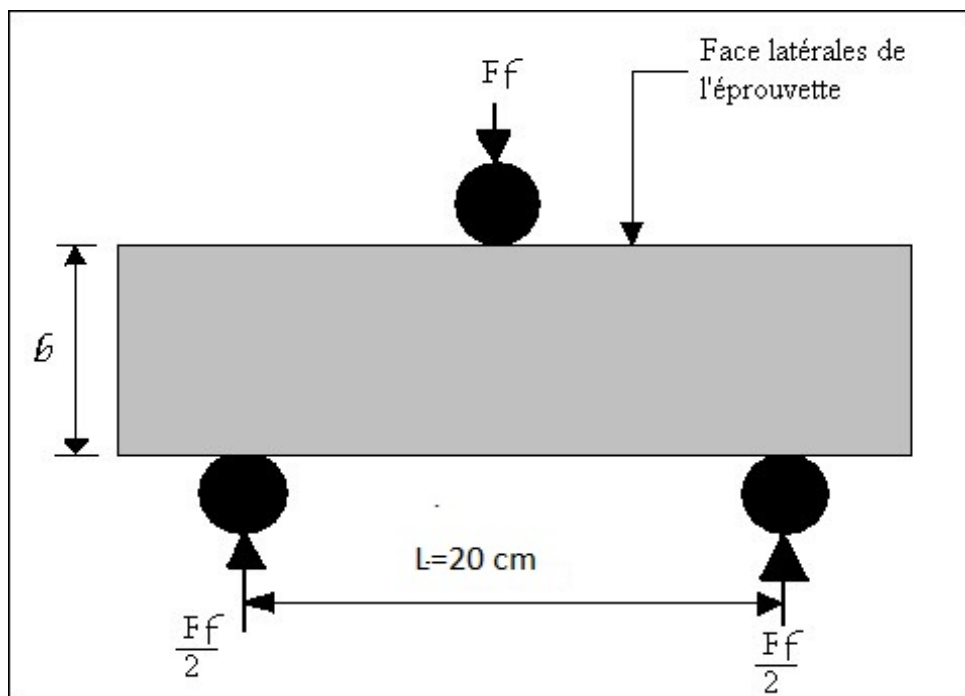


FIGURE III.14 — La résistance à la flexion des matériaux.

La résistance à la flexion est calculée par la formule :

$$Rf = \frac{3.P.L}{2.b.h^2} \text{kgf/cm}^2 \quad (\text{III.5})$$

où :

- **P** : La force appliquée ;
- **L** : Largeur des appuis ;
- **B, h** : Largeur et hauteur des éprouvettes.

III.8 Présentation de résultats à l'état durci pour BAPFC

Résistance a la compression(MPa)		
Age (jours)	7j	14j
PAP _{2FC10%}	7,87	15.90
PAP _{2FC20%}	7.34	15.63
PAP _{2FC30%}	5.60	12.33

Tableau **III.6** — Caractéristiques mécaniques du BAP avec % l'ajout de filler de calcaire Par apport le volume de ciment.

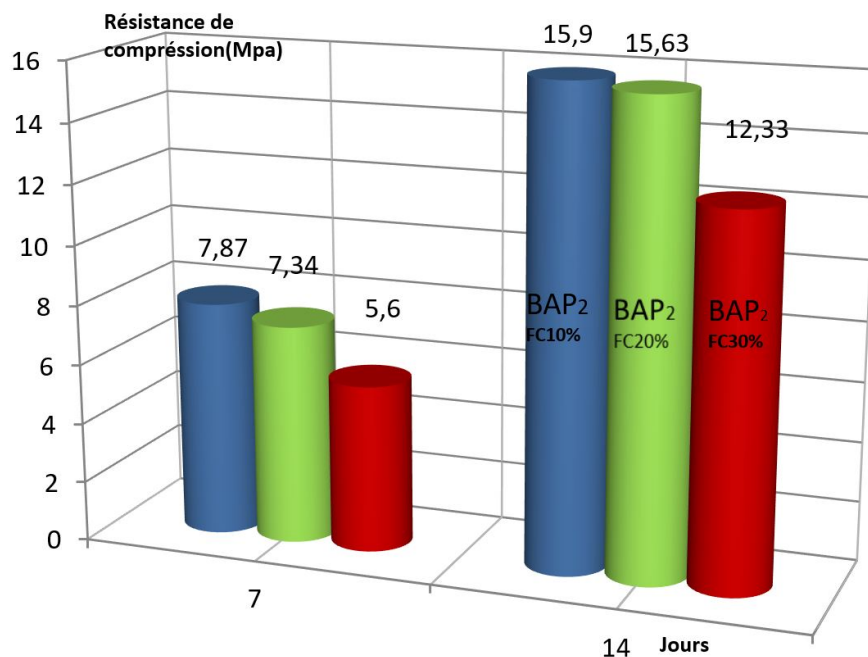


FIGURE III.15 — évolution de la résistance à la compression du BAP avec le pourcentage de filler de calcaire.

III.8.1 DISCUSSION DES RESULTATS

La résistance mécanique en compression est une caractéristique essentielle du BAP et l'un des paramètres fondamentaux de notre étude. Par conséquent, sa détermination et son évolution ont été suivies pour toutes les pourcentages de filler utilisées ou on remarque que Une augmentation de résistance «Rc» pour (P₂FC10%) après on observe qu'il y'a une légère diminution pour Le (P₂FC20%), et une chute de resistance pour(P₂FC30%)

III.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais rhéologiques, physiques et Mécaniques réalisés sur le BAP et nous avons détaillé tous les essais soit à l'état durci ou frais, une description sur le protocole de conception de ce type de béton ainsi que les formules de calcul et les critères fondamentaux de chaque essai.

**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le but de ce travail a été de mettre au point des bétons de nouvelles générations qui sont des « bétons autoplaçants avec ajout une addition de calcaire avec différentes dosage, leur composition a été optimisée pour un bon comportement rhéologique du béton frais, mis en évidence par les normes AFGC (association française de génie-civil).

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

Les propriétés caractéristiques de ce béton à l'état frais sont :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation ;
- Capacité de passage dans les milieux confinés ;
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de ferrailage dense. Le fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé.

Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

A l'état durci le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée et une perméabilité minimale sont exigées pour celui-ci.

L'étape de formulation consiste une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton.

Toutes les méthodes trouvées dans la littérature demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables à une formulation scientifique des BAP.

Bibliographie

- [1] P. Turcry, “Retrait et fissuration des betons autoplaçants,” *Influence de la Formulation. Thèse de l’Ecole Centrale de Nantes et l’Université de Nantes*, 2004.
- [2] K. Belguesmia, “Comportement vis-à-vis des attaques sulfatiques et de la carbonatation d’un béton autoplaçant à base de sédiment de dragage,” *Magister Thesis, University of Mostaganem, Algeria*, 2011.
- [3] M. BOUTHEYNA and B. H. EDDINE, “Etude comparative de durabilite entre les betons autoplaçants et les betons ordinaires,” 2018.
- [4] O. Belaribi, “Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzoloane,” Ph.D. dissertation, Cergy-Pontoise, 2015.
- [5] B. B. M’HAMEDI, “Durabilité du béton autoplaçant à base de sable de dune finement broyé vis-à-vis des attaques chimiques,” *Université De Ziane Achour de Djelfa*, 2016.
- [6] M. Ouchi, M. Hibino, and H. Okamura, “Effect of superplasticizer on self-compactability of fresh concrete,” *Transportation research record*, vol. 1574, no. 1, pp. 37–40, 1997.
- [7] “Association française de génie civil «afgc», bétons autoplaçants– recommandations pour l’emploi,” janvier 2008.
- [8] K. H. Khayat, “Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete,” *Materials Journal*, vol. 96, no. 3, pp. 346–353, 1999.
- [9] H. Okamura and M. Ouchi, “Self-compacting concrete. development, present use and future,” in *Self-Compacting Concrete : Proceedings of the First International RILEM Symposium*. Rilem Publications Cachan Cedex, France, 1999, pp. 3–14.

- [10] B. Toufik Amine, "Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (ndt) et essai direct (ed) d'un béton recyclé adjuvanté a base des matériaux locaux," Ph.D. dissertation, UNIVERSITE DE M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE, 2015.
- [11] B. Benaddad, "Etude à la compression d'un béton autoplaçant avec additions minérales (argile cuite et broyée et fillers calcaires)," *Université d'Abderrahmane Mira-Bejaia*, 2012.
- [12] B. Nécira, "Étude des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons auto-plaçants," Ph.D. dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra, 2006.
- [13] A. Tagnit-Hamou, "Microstructure et physico-chimie des ciments et des bétons," *Université de Sherbrooke, Québec*, 1995.
- [14] G. H. Bétons, "Le béton autocompactant," *Recommandations éditées par Holcim (Suisse) SA*, 2004.
- [15] "Gilles escadrilles, responsable pédagogique, carmeuse france, « formation continue actualisante »,» 17 et 18 Octobre 2001.
- [16] S. Nasri, "Caractérisation aux moyens des essais nondestructifs (ndt) et essai direct d'un béton auto plaçant (bap) a base de matériaux locaux (effet de la nature du sable)." Ph.D. dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.
- [17] T. Sedran, F. De Larrard, F. Hourst, and C. Contamines, "Mix design of self-compacting concrete (scc)," in *Production methods and workability of concrete*. CRC Press, 1996, pp. 451–462.
- [18] O. Petersson, P. Billberg, and B. Van, "A model for self-compacting concrete international rilem conference on" production methods and workability of concrete," in *RILEM Proceedings*, vol. 32, 1996, p. 1996.
- [19] N. Su, K.-C. Hsu, and H.-W. Chai, "A simple mix design method for self-compacting concrete," *Cement and concrete research*, vol. 31, no. 12, pp. 1799–1807, 2001.
- [20] J. Baron, J. OLIVIER, and J. Weiss, "Les ciments courants," *Les bétons, bases et données pour leur formulation, Edition Eyrolles*, vol. 806, 1997.
- [21] Z. Guemmadi, G. ESCADECUAS, B. Toumi, H. Houari, and P. CIASTRES, "Influence des fillers calcaires sur les performances mécaniques des pâtes de ciment,"

1er Congrès international sur la technologie et la durabilité du béton, USTHB Alger-Algérie, pp. 1–8, 2004.

- [22] C. Castillo and A. Durrani, “Effect of transient high-temperature on high-strength concrete-closure,” *ACI Materials Journal*, vol. 87, no. 6, pp. 653–653, 1990.
- [23] F. CUSSIGH, “Bétons auto-plaçants. recommandations provisoires,” *Annales du bâtiment et des travaux publics (Paris)*, no. 3, pp. 15–38, 2000.