



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic republic of Algeria
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
جامعة عبد الحميد بن باديس - مستغانم
University Abdelhamid Ibn Badis - Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculty of Sciences and Technology
قسم الهندسة المدنية والمعمارية
Civil engineering & architecture department



N° d'ordre : M/GCA/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Thème

**ÉTUDE À L'ÉTAT FRAIS D'UN BETON AUTOPLAÇANT À
BASE DE PÉRLITE NATURELLE**

Présentées par :

- Guechichi Lylia
- Hamiti Asma

Soutenu le 24 / 06 / 2020 devant le jury composé de

Président : Bouhamou Nassreddine

Examineur : Belaribi Omar

Encadrante : Belas Nadia

Année Universitaire : 2019 / 2020

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous tenons particulièrement à remercier, notre créateur Dieu le tout puissant qui nous a donné le courage, et la volonté pour élaborer et finaliser ce modeste travail.

Nos remerciements à notre encadrante Mme BELAS NADIA qui a bien voulu proposer et diriger ce travail et surtout, pour son aide et sa contribution réelle qui ont permis de mener à terme ce mémoire.

Nos remerciements s'adressent aussi aux membres du jury de nous avoir honoré en acceptant d'évaluer ce projet de fin d'études.

Nous remercions particulièrement nos familles pour leur soutien, leur amour et leur confiance en nous qui ont été une source de motivation. Enfin, nous remercions nos amis pour leur soutien et leurs encouragements.

DEDICACE

Nous dédions ce travail à :

Nos chers parents pour lesquels les mots ne suffiront pas pour témoigner toute notre gratitude pour leur entière disponibilité, leur assistance et leur dévouement tout au long de notre cursus et la réalisation de ce travail. « Que Dieu nous les garde »

A toute la famille Guechichi et Hamiti

A l'ensemble du personnel enseignant et administratif du département de génie civil et d'architecture de la faculté des sciences et technologies de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem

Sommaire

Remerciement.....	
Dédicace.....	
Résumé	
Abstract.....	
ملخص.....	
Introduction Générale.....	

I. Chapitre I : Le Béton autoplaçant

I.1.INTRODUCTION.....	1
I.2.CONSTITUANTS DES BETONS AUTOPLAÇANTS	1
I.3 DESCRIPTION DU BAP.....	3
I.4.UTILISATION DU BAP.....	4
I.5.LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON AUTOPLAÇANT.....	4
I.6. LES DIFFERENTS ESSAIS SUR LE BETON AUTO PLAÇANT.....	5
I.7. SPECIFICATIONS DES BAP A L'ETAT FRAIS.....	5
I.8.CARACTERISTIQUES DU BAP.....	5
I.8.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams.....	5
I.8.2. Essai de la boîte en L.....	7
I.8.3. Essai de stabilité au tamis.....	7
I.8.4. Essai J-Ring.....	8
I.8.5. Essai d'entonnoir.....	9
I.9.PRINCIPES DE FORMULATION.....	10
I.10. CONCLUSION.....	11

II. CHAPITRE II : LA PERLITE NATURELLE

II.1. INTRODUCTION	13
II.2. LA NATURE DE LA PERLITE.....	13
II.3. LES CARACTERISTIQUES DE LA PERLITE.....	14
II.4 Conclusion.....	16

III. CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

III.1. INTRODUCTION.....	18
---------------------------------	-----------

III.2. MATERIAUX UTILISE.....	18
III.2.1 Le ciment.....	18
III.2.2 Granulats.....	19
III.2.3 Sable.....	20
III.2.4 Gravier.....	23
III.2.5 Adjuvant.....	26
III.3 RESULTATS DES ESSAIS SUR BAP	26
III.4 CARACTERISATION DU BAP A L'ETAT FRAIS.....	28
III.4.1. Malaxage	28
III.4.2. Essai d'étalement	29
III.5 CONCLUSION.....	30
IV. CHAPITRE IV : RESUME DES ETUDES SUR LES MATERIAUX CIMENTAIRES AVEC AJOUTS POUZZOLANIQUES A L'ETAT FRAIS	
IV.1 Introduction.....	32
IV.2 Les formulations des bétons autoplaçant et résultats.....	32
IV.2.1 La vase calcinée.....	32
IV.2.2. Laitier ou pouzzolane.....	33
IV.2.3. Vase et pouzzolane.....	34
IV.3 Les mortiers a base de perlite.....	37
IV.4 CONCLUSION.....	41
CONCLUSION GENERALE.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	44

Liste des figures

Figure. I.1 : Constituants des bétons ordinaires et des BAP	2
Figure. I.2 : Principe de l'essai de l'étalement	6
Figure. I.3 : Photo de la galette de BAP réalisée au laboratoire	6
Figure. I.4. Dessin de la boîte en L.....	7
Figure I.5 : Schéma du principe de l'essai de stabilité au tamis.....	8
Figure I.6 : essai J. Ring.....	9
Figure I.7 L'essai V-funnel.....	9
Figure II.1: Photographie de la roche volcanique.....	13
Figure II.2: Photographie de la perlite.....	14
Figure II.3: Transformation de la roche en perlite expansée.....	14
Figure II.4 : Analyse aux rayons X de la perlite	16
Figure III.1: Mesure de la masse volumique apparente du sable	20
Figure III.2 : Mesure de la masse volumique absolue du sable.....	21
Figure III.3 : Schéma de mesure de la propreté du sable.....	22
Figure III.4 : Mesure de la propreté du sable.....	22
Figure III.5 : Mesure de la masse volumique apparente du gravier.....	23
Figure III.6 : Mesure de la masse volumique absolue du gravier.....	24
Figure III.7 : Mesure de la propreté des graviers.....	24
Figure III.8 : Granulométrie de sable non corrigé, gravier 3/8 et gravier 8/15.....	26
Figure III.9 : Constituants d'un 1 m ³ de béton autoplaçant en masse.....	28
Figure III.10 : Le malaxeur utilisé.....	28
Figure III.11 : Essai d'étalement	29
Figure IV.1: Valeurs d'étalements des quatre BAP.....	37

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Composition chimique de la perlite.....	15
Tableau III.1 : Résultat des analyses chimique du ciment CRS.....	18
Tableau III.2 : Résultats des analyses physiques du ciment CRS.....	19
Tableau III.3 : Composition chimique du ciment CRS.....	19
Tableau III.4 : Compositions minéralogique du ciment CRS.....	19
Tableau III.5. Classes granulaires utilisées.....	20
Tableau III.6 : Résultats de mesure de la masse volumique absolue du sable.....	21
Tableau III.7 : Les caractéristiques physiques des granulats obtenues par l'étude expérimentale.....	25
Tableau III.8 : Caractéristiques de l'adjuvant.....	26
Tableau III.9 : Les constituants d'un mètre cube de béton autoplaçant.....	27
Tableau IV.1: Compositions des quatre BAP.....	32
Tableau IV.2 : Récapitulatif des résultats de à l'état frais.....	33
Tableau IV.3 : Composition des BAP à base de granulats naturels sans et avec ajouts.....	33
Tableau IV.4 : Résultats des BAP à base de granulats naturels sans et avec ajouts.....	34
Tableau IV.5. Compositions des BAP.....	35
Tableau IV.6 : Les résultats des essais de caractérisation à l'état frais.....	36
Tableau IV.7: Formulations des mortiers.....	37
Tableau IV.8: Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.....	38
Tableau IV.9: la maniabilité des mortiers (temps de vibration en secondes).....	38
Tableau IV.10 : composition de mortier.....	39
Tableau IV.11 : résultat des mortiers.....	39
Tableau IV.12 : Proportions des mélanges des différents mortiers.....	40
Tableau IV.13 : Proportions des mélanges des différents mortiers.....	40

RESUME

Le béton autoplaçant (BAP) est défini comme un béton très fluide qui se met en place sous l'effet de son poids propre, sans vibration interne ou externe. Le BAP doit être homogène et très stable vis-à-vis de la ségrégation et le ressuage. La formulation du BAP est caractérisée par le volume élevé de la pâte, ainsi que l'utilisation d'un adjuvant superplastifiant.

Les bétons autoplaçants présentent des particularités de compositions comparativement aux bétons ordinaires. Parmi ces particularités, un volume important de fines et un volume de pâte élevé qui est d'ailleurs responsable de leur comportement rhéologique.

Peu de travaux ont été réalisés sur les BAP à base de perlite naturelle, C'est pourquoi l'objectif principal de ce travail a été de synthétiser les recherches sur les matériaux cimentaires à base d'ajouts pouzzolaniques en l'occurrence la perlite et d'étudier l'influence de cet ajout sur les propriétés du BAP à l'état frais. Un travail expérimental a été planifié visant à évaluer le BAP avec 20% de perlite et le BAP témoin en termes de comportement à l'état frais. Néanmoins suite au confinement imposé par la pandémie du Covid-19 seul l'essai d'étalement a pu être réalisé.

Mots-clés : Béton autoplaçant, matériau pouzzolanique, perlite naturelle, état frais.

ABSTRACT

Self-compacting concrete (SCC) is defined as a very fluid concrete which settles under the effect of its own weight, without internal or external vibration. The SCC must be homogeneous and very stable with regard to segregation and bleeding. The formulation of SCC is characterized by the high volume of the dough, as well as the use of a superplasticizer adjuvant.

Self-tapping concretes have particular composition characteristics compared to ordinary concretes, among which are a large volume of fines and a high volume of paste, which is moreover responsible for their rheological behavior.

Little work has been done on SCC based on natural perlite, This is why the main objective of this work was to synthesize research on cementitious materials based on pozzolanic additions in this case perlite and to study the influence of this addition on the properties of SCC at fresh condition. An experimental work was planned aiming to evaluate the SCC with 20% of perlite and the control SCC in terms of behavior in the fresh state. However, following the confinement imposed by the Covid-19 pandemic, only the spreading test could be carried out.

Keywords: Self-compacting concrete, pozzolanic material, natural perlite, Fresh state.

ملخص

الخرسانة المرصوفة ذاتيا تعرف بأنها خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية و تأخذ مكانها بفعل وزنها فقط، بدون اهتزاز داخلي أو خارجي. الخرسانة المرصوفة ذاتيا يجب أن تكون متجانسة و مستقرة ضد العزل و النزيف. تختص تركيبة الخرسانة المرصوفة ذاتيا باحتوائها على حجم كبير من العجينة الإسمنتية، فضلا عن استعمال اللدنات الممتازة.

الخرسانة المرصوفة تقدم خصوصيات لتركيبات مقارنة لخرسانة عادية. من بين هذه خصوصيات حجم هام لغرامة و حجم لعجينة كبيرة الذي هو المسؤول على السلوكيات الانسيابية.

القليل من الأعمال التي تنضمت على الخرسانة المرصوفة بدلالة البرليت الطبيعية. و هذا لماذا الهدف الرئيسي لهذا العمل كانت الفرضية الأبحاث على المواد الإسمنتية بدلالة المواد المساعدة البوزولانية لبرليت و لدراسة التأثير هذا المادة المضافة على خصائص الخرسانة المرصوفة في المرحلة الطازجة لخرسانة المرصوفة 20 ٪ من البيرليت والتحكم في الخرسانة المرصوفة في حالة جديدة. تم التخطيط لعمل تجريبي لتقييم خصائص الخرسانة المرصوفة، يمكن إجراء اختبار الانتشار فقط كوفيد 19 حيث السلوك في الحالة الجديدة. ومع ذلك ، بعد الحصر الذي فرضه وباء.

الكلمات الرئيسية البرليت الطبيعية، المواد المساعدة البوزولانية، المرحلة الطازجة، الخرسانة المرصوفة.

INTRODUCTION GENERALE

Les bétons autoplaçants (BAP) ont été développés au Japon à la fin des années quatre-vingt. Le BAP est un béton très fluide et ne nécessite pas de vibration car il se met en place et se compacte sous l'effet de son poids propre. Les BAP sont avantageux dans le bétonnage des éléments dont la forme géométrique est complexe ou difficilement accessible, ainsi que pour les zones confinées. Outre leur facilité de mise en œuvre, de tels bétons présentent aussi l'intérêt de réduire le temps de travail sur chantier.

Cependant, un BAP doit présenter une résistance suffisante à la ségrégation durant la mise en place et jusqu'à sa prise, et il ne doit pas aussi avoir un ressuage important, afin de garder son homogénéité pour atteindre les caractéristiques mécaniques souhaitables et également conformes aux règlements techniques en vigueur. Par conséquent, la formulation d'un BAP est assez difficile car elle fait appel à plusieurs facteurs et constituants, comme les superplastifiants afin de donner au BAP sa propriété principale « la fluidité » sans ségrégation et sans ressuage, avec une diminution du rapport E/C.

La particularité des BAP est aussi définie par le volume de pâte élevée (ciment et fines) pour améliorer son ouvrabilité et son écoulement avec une limitation de gravillon en volume et en dimension (diamètre maximale). La combinaison entre ces paramètres de formulation, les exigences et les propriétés à l'état frais et l'état durci du BAP est assez complexe et elle rend la formulation plus délicate.

Ces dernières années, un grand effort de recherche s'est orienté vers l'utilisation d'ajouts cimentaires en tant que substitution partielle au ciment Portland qui s'avère une solution judicieuse pour la production de liants plus performants, plus économiques et moins polluants. Ces ajouts ne sont que des substances minérales de sources naturelles qui sont généralement disponibles à des coûts nettement inférieurs à ceux du ciment Portland. Généralement, ils présentent des finesses supérieures au ciment après broyage et possèdent des propriétés pouzzolaniques et parfois cimentaires.

Le sous-sol algérien enfouit de considérables ressources minières qui peuvent se substituer au ciment. Comme substance d'origine volcanique, on trouve la perlite naturelle de Maghnia (substance d'origine volcanique) comme ajout cimentaire pouzzolanique.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier en particulier la perlite naturelle prévenant de Maghnia (granulométrie, masse volumique absolue et apparente, absorption...) et son influence sur la formulation du BAP et ses propriétés à l'état frais, basant sur une comparaison avec un BAP de référence. Les essais caractérisant un béton autoplaçant à l'état frais étant l'étalement, boîte en L, J-Ring, essai de tamis, V-funnel et ressuage. Seul l'essai d'étalement sur le BAP de référence a été effectué.

Ce travail est composé de quatre chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur les caractéristiques des bétons autoplaçants, ses propriétés à l'état frais et à l'état durci ainsi que les essais de l'ouvrabilité qui peuvent être réalisés sur le BAP.

Le deuxième chapitre présente les propriétés la perlite naturelle et les caractéristiques du béton autoplaçant à base de ce matériau pouzzolanique à l'état frais.

Le troisième chapitre expose les caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation du BAP ainsi que les différents essais réalisés et la méthode utilisée.

Le quatrième chapitre est un résumé des résultats des essais réalisés sur les matériaux cimentaires avec différents ajouts.

Une conclusion clôturera ce travail en donnant un bilan général et des recommandations à suivre pour des travaux expérimentaux futurs.

CHAPITRE I

LE BETON AUTOPLAÇANT

CHAPITRE I : LE BETON AUTOPLAÇANT

I.1.INTRODUCTION

Depuis leur apparition au Japon à la fin des années '80, les bétons auto-plaçants ont été progressivement utilisés partout en Europe. Leurs qualités les destinent à un bel avenir dans de nombreuses applications qu'il s'agisse de bétons prêts à l'emploi ou de produits préfabriqués en usine. Le béton auto-plaçant (BAP) est un béton qui, à l'état frais, est caractérisé par une fluidité telle que, par le seul effet de son poids propre et sans énergie de compactage supplémentaire, il est capable de remplir complètement le coffrage, même à travers une nappe d'armatures dense ou en présence d'autres obstacles, tout en ayant une résistance à la ségrégation suffisante pour rester homogène lors du transport, du pompage et de la mise en œuvre.

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

Ce premier chapitre fait l'objet d'une initiation au BAP, il comporte des notions fondamentales relatives aux caractéristiques des BAP

I.2.CONSTITUANTS DES BETONS AUTOPLAÇANTS

Un béton est constitué de deux parties principales : les granulats et la pâte. Par rapport aux bétons ordinaires (BO), les bétons auto-plaçants (BAP) ont deux constituants supplémentaires qui doivent être présents dans la composition du béton (voir fig. I.1)

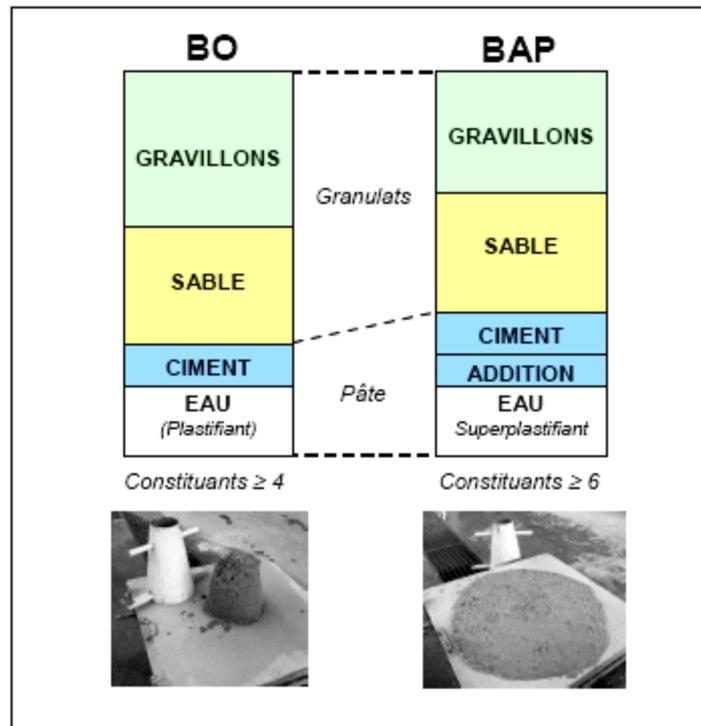


Figure I.1 : Constituants des bétons ordinaires et des BAP

Les constituants du béton autoplaçant ont un rôle très important dans la détermination des propriétés de ce matériau aux états frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître le rôle que peut jouer chaque constituant ainsi que leur influence sur les propriétés des bétons autoplaçants, sont les mêmes que celui d'un béton ordinaire et qui sont :

- Ciment
- Granulats
- Eau
- Ajouts minéraux
- Super plastifiants

Le rôle de la pâte est de séparer les gravillons pour limiter les contacts, en particulier dans les milieux ferrailés, et ainsi prévenir la formation de voûtes susceptibles de bloquer l'écoulement. Le volume important d'éléments fins permet aussi de garantir le compromis entre stabilité et maniabilité. Mais il n'est pas suffisant pour atteindre la fluidité. Il est nécessaire d'ajouter aux bétons un dé flocculant, sans lequel la demande en eau du mélange serait trop élevée. Le début du développement des BAP en France coïncide d'ailleurs à l'arrivée des super plastifiants de type poly carboxylates, à fort pouvoir dé flocculant. Ces adjuvants ont un double effet, électrique et stérique, qui leur permet de disperser au mieux les particules. La quantité de fines n'est pas non plus toujours suffisante pour empêcher la ségrégation 3 Figure 01 : Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP. On a recours

alors aux agents de viscosité. Ces adjuvants sont de souvent des polymères, composés de longues molécules organiques, qui augmentent la viscosité de l'eau de gâchage. Ils assurent une meilleure stabilité du béton et le rendent moins sensible aux variations de teneur en eau des granulats, courantes en centrale à béton. Cela étant, en pratique leur utilisation est au contraire peu répandue, car ils entraînent un surcoût, qui s'ajoute aux surcoûts dus au super plastifiant et aux additions. Evidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais. Il existe de part le monde divers essais pour caractériser l'ouvrabilité des BAP. [3]

I.3DESCRIPTION DU BAP

Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendante de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un super plastifiant.

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très cohésif et très stable lors de la mise en place sans vibration et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécaniques, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage.

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'ajout d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton.

Cette complexité amène à combiner différents paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieure à celle des bétons ordinaires. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité du mélange et éviter, par conséquent, la ségrégation. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En clair, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abîme pas la déformabilité du béton.

I.4.UTILISATION DU BAP

Le BAP est utilisé par exemple pour la fabrication commode des dalles, des planchers, des radiers et des poteaux avec une très forte proportion d'armatures.

Il n'a pas besoin de vibration lors de sa mise en place ;

Il permet le remplissage de géométries complexes, de zones fortement ferrillées et difficilement accessibles. [4]

Le béton auto plaçant est généralement utilisé dans la réalisation de plusieurs constructions au sol. Il intervient donc dans la fabrication :

- Des éléments de fondation superficielle;
- Des différentes dalles;
- Des radiers, ainsi que certains types de voiles;
- Des planchers chauffants;
- Des éléments de l'ossature des bâtiments tels que les poteaux, les poutres, les voiles, les chaînages, les raidisseurs, etc.

Au-delà de ces types de construction, le béton auto nivelant intervient dans la réalisation des ouvrages en béton armé qui exigent une excellente finition au moment du décoffrage.

Il est employé dans ces travaux à cause de sa facilité à être mis en place sans nécessiter de vibration, quelle que soit la forme des armatures.

I.5.LES AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU BETON AUTO PLAÇANT

Les BAP présentent de nombreux avantages

a) Avantages techniques :

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

b) 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.

c) 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 inconvénient on distingue que :

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.

I.6. LES DIFFERENTS ESSAIS SUR LE BETON AUTO PLAÇANT FRAIS

Les principaux essais réalisés sur le BAP frais sont les suivants:

- Essai d'étalement au cône d'Abrams (NF EN 12350-8);
- Essai d'écoulement à l'entonnoir en V (*V-funnel*) (NF EN 12350-9);
- Essai à la boîte en L (*L-box*) (NF EN 12350-10);
- Essai de stabilité au tamis (NF EN 12350-11);
- Essai d'écoulement à l'anneau (*J-ring*) (NF EN 12350-12). [4]

I.7. SPECIFICATIONS DES BAP A L'ETAT FRAIS

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

Les exigences spécifiques relatives au BAP à l'état frais dépendent en particulier du type d'application, des conditions de confinement liées à la géométrie du coffrage, du matériel et de la technique de mise en œuvre. [5]

Les propriétés requises à l'état frais des BAP sont fonction de leur catégorie et déterminées à partir des valeurs :

- maximale au tamis
- minimale à la boîte en L

I.8.CARACTERISTIQUES DU BAP

I.8.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams (Fluidité et mobilité en milieu non confiné)

La fluidité et la mobilité du BAP en milieu non confiné sont caractérisées par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow). Le matériel utilisé pour réaliser cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque métallique. L'essai consiste à remplir le cône d'Abrams en une fois, puis de le soulever et de mesurer le diamètre

moyen de la galette d'étalement obtenue 2 mesures correspondant à 2 diamètres perpendiculaires). Plus le diamètre est grand, plus le matériau est fluide.

Des valeurs de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. L'étalement doit être défini en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai est utilisé pour la mise au point de la formulation du BAP.[6]

Mesure d'étalement au cône d'Abrams

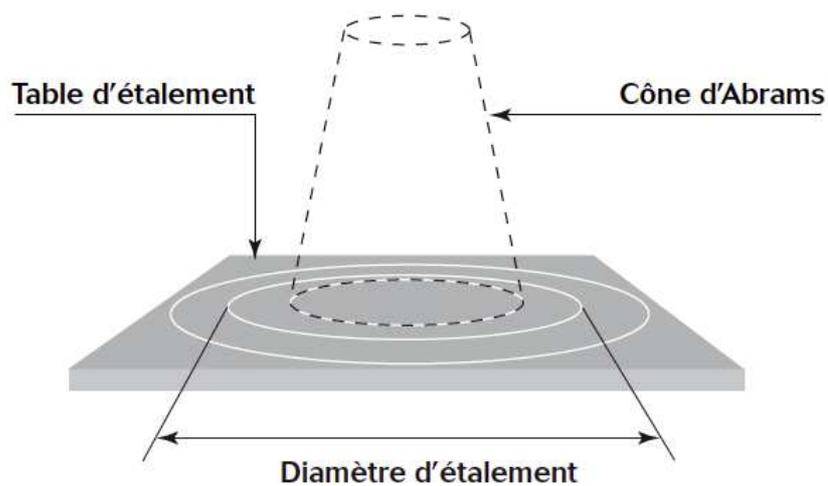


Figure I.2 : Principe de l'essai de l'étalement.



Figure I.3 : Photo de la galette de BAP réalisée au laboratoire.

I.8.2. Essai de la boîte en L (Mobilité en milieu confiné)

La mobilité du BAP en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée, sont mesurées avec l'essai de la boîte en forme de L.

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures.

La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte en forme de L, puis en levant une trappe (séparant les parties verticale et horizontale de la boîte) de laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers des armatures de diamètre 12 mm (ferraillage complexe : 3 barres distantes de 41 mm, ou simple : 2 barres distantes de 59 mm). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticale (H_1 côté trappe) et horizontale (H_2).

Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage H_2/H_1 qui traduit la capacité à circuler en milieu confiné. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.[6]

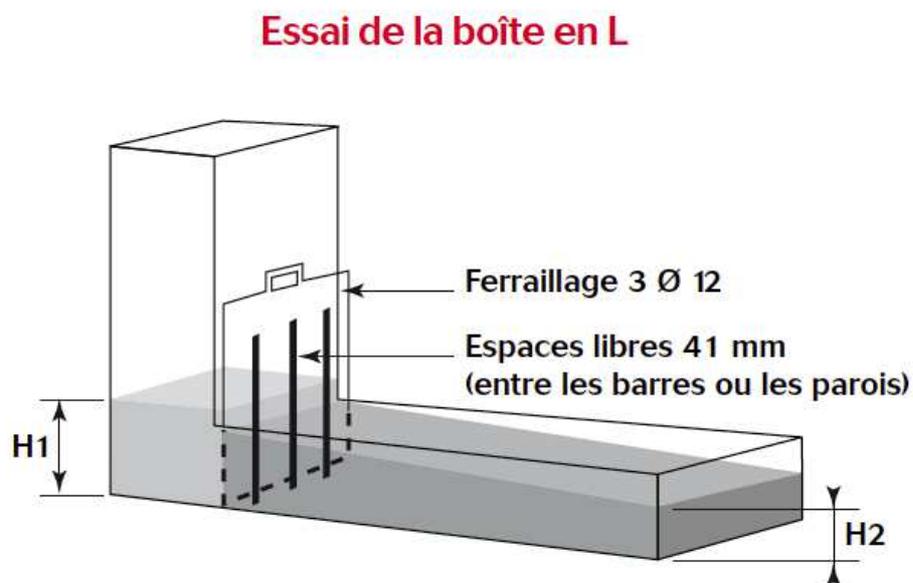


Figure. I.4: Dessin de la boîte en L.

I.8.3. Essai de stabilité au tamis (Résistance à la ségrégation et stabilité du mélange)

Cet essai permet d'évaluer le risque de ségrégation « statique » et d'étudier le ressuage du BAP, qui doit être stable et conserver une composition homogène sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Au bout de 15 min, on pèse le volume de laitance qui a traversé le tamis.

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

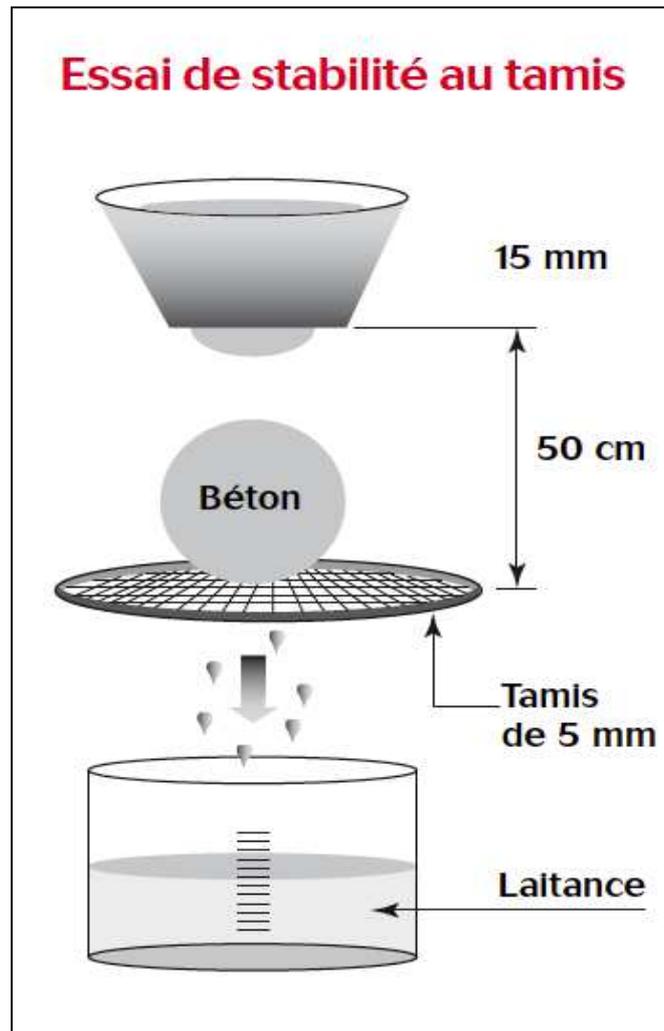


Figure I.5: Schéma du principe de l'essai de stabilité au tamis

I.8.4. Essai J-Ring

Cet essai consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armatures afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage, le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique (Figure I.6), on caractérise donc la tendance à la ségrégation et l'enrobage d'armatures, de plus, la répartition des granulats doit être homogène.[7]

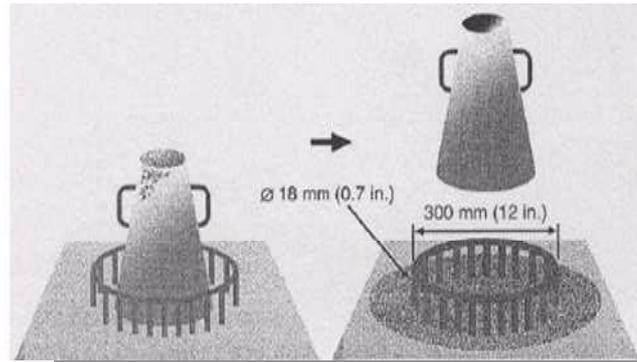


Fig1.6. Essai J. Ring.

I.8.5. Essai d'entonnoir (V-Funnel NF EN 12350-9)

La procédure d'essai avec l'entonnoir est la suivante, l'entonnoir dont les dimensions sont définies sur la figure suivante est remplie de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert, ce qui provoque l'écoulement du béton, dont on mesure le temps nécessaire jusqu'à ce que l'entonnoir se soit entièrement vidé. Ce temps d'écoulement est souvent le critère utilisé pour définir la viscosité du béton autoplaçant. Plus le béton s'écoule rapidement hors de l'entonnoir, plus sa viscosité est faible. Un temps d'écoulement compris entre 8 et 14 secondes est recommandé pour le BAP.

Le temps d'écoulement au V-Funnel dépend également du type d'application, mais n'est groupé que selon 2 classes :

- Classe VF1 : temps d'écoulement inférieur à 10s.
- Classe VF2 : temps d'écoulement compris entre 7 et 27s.[8]

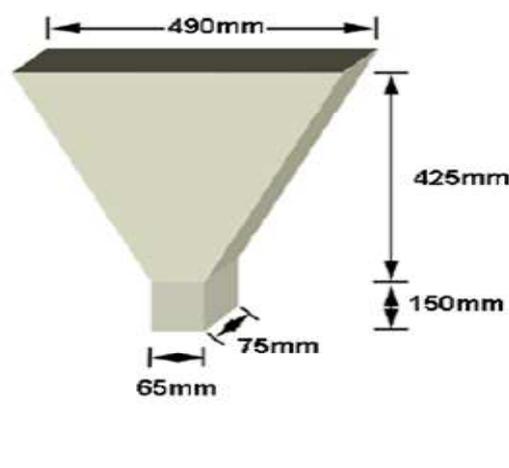


Fig1.7. L'essai V-funnel.

I.9. PRINCIPE DE FORMULATION

Les BAP doivent présenter une grande fluidité et pouvoir s'écouler sous leur propre poids avec un débit suffisant sans apport d'énergie externe (sans vibration) à travers des zones confinées (armatures, coffrages de formes complexes) en présence d'obstacles et se mettre en place dans des coffrages de grande hauteur.

Ils doivent être stables sous l'effet de la gravité au cours de l'écoulement et dans les phases précédant la prise et le durcissement et aussi pouvoir être mis en œuvre par pompage.

Le principe de formulation vise à réduire le seuil de cisaillement du béton en lui conservant une viscosité suffisante pour éviter tout risque de ségrégation et de ressuage.

Formuler un BAP consiste donc à concilier des propriétés a priori contradictoires : fluidité, stabilité, résistance à la ségrégation « dynamique » (cheminement dans des zones ferraiées) et à la ségrégation « statique » (pas de ressuage, pas de tassement) une fois le béton en place (la suspension des divers grains qui le constituent doit rester homogène jusqu'à la prise du matériau).[9]

La formulation des BAP fait appel à :

- des superplastifiants pour obtenir la fluidité nécessaire et des agents de viscosité (ou de cohésion). Les superplastifiants permettent d'obtenir une meilleure répartition des grains de ciment et assurent le maintien de la fluidité. Les agents de viscosité ont pour but de diminuer la sensibilité du béton frais vis-à-vis du ressuage et de la ségrégation ;
- une quantité de fines (ciments, fillers calcaires...) élevée (400 à 600 kg/m³) pour assurer une bonne maniabilité ;
- un volume de pâte élevé pour favoriser en écartant les granulats l'écoulement et la mobilité du béton ;
- un faible volume de gravillons qui peuvent être roulés ou concassés (rapport gravillon/sable de l'ordre de 1) afin d'améliorer l'écoulement et éviter le « blocage des granulats » au droit des armatures et dans les zones confinées lors de l'écoulement du béton dans le coffrage ;
- du ciment (dosage à optimiser pour obtenir les performances souhaitées et satisfaire les exigences liées aux classes d'exposition) ;
- un rapport E/C faible et un dosage en eau limité ;
- éventuellement un agent entraîneur d'air pour assurer la protection du béton contre les effets du gel-dégel ;
- éventuellement des fibres pour la confection de béton fibrés

Les propriétés à l'état frais des BAP sont plus sensibles que celles des bétons traditionnels aux écarts de composition (en particulier aux variations de la teneur en eau).

Il est donc indispensable d'appréhender au stade de l'étude de formulation la sensibilité du BAP aux écarts de composition et principalement aux variations de teneur en eau, et lors des études de convenance de réaliser diverses gâchées en faisant varier la teneur en eau.

La formulation du béton est validée par un ensemble d'essais qui permettent de justifier sa conformité aux propriétés requises dans toute la Fourchette d'Étalement à la Réception (FER) et pendant toute la durée pratique d'utilisation.

Les caractéristiques rhéologiques de la formule retenue et le maintien de la rhéologie dans le temps doivent être adaptés aux conditions (transport, température, formes des coffrages...) et aux méthodes de mise en œuvre sur le chantier (pompage, hauteur des coffrages...).

Leformulation doit déterminer une Durée Pratique d'Utilisation (DPU) du béton (T_m) pendant laquelle le béton doit respecter les caractéristiques propres à sa catégorie. Cette durée peut varier en fonction de différents paramètres dont en particulier l'évolution de la température du béton frais.

Objectifs de l'étude de formulation

L'étude de formulation du BAP vise à :

- Déterminer les caractéristiques et propriétés du BAP à l'état frais : fluidité, mobilité, stabilité statique et dynamique
- Valider la robustesse de la formule, en particulier vis-à-vis des variations de teneur en eau
- Vérifier la conformité des performances du béton durci : résistances mécaniques
- Confirmer le maintien de la rhéologie du béton pendant la durée pratique d'utilisation. [9]

I.10. CONCLUSION

Ce chapitre a été mené pour faire le point sur les connaissances relatives aux caractéristiques, composition et comportement des BAP notamment à l'état frais.

Les BAP constituent une véritable alternative au béton traditionnel, comme l'ont montré un certain nombre d'exemples. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière. De plus, les possibilités de variation des paramètres d'étude pour de tels bétons sont nombreuses (utilisation de superplastifiant, variation du volume de pâte, du rapport G/S, du rapport E/C), donne une gamme très variée pour la recherche.

CHAPITRE II

LA PERLITE NATURELLE

CHAPITRE II : LA PERLITE NATURELLE

II.1. INTRODUCTION

Pour des raisons économiques, écologiques et de durabilité, l'utilisation des ajouts minéraux dans le ciment devient indispensable et de plus en plus fréquente, car leur exploitation dans la production de ciment présente un double effet écologique, non seulement dans le recyclage des déchets mais aussi dans la réduction de l'énergie de fabrication du ciment et donc une diminution des gaz à effet de serre (CO₂). Il est à noter que l'industrie cimentière est responsable d'environ 7% des émissions de CO₂ dans la planète. Selon leurs compositions chimiques, les ajouts minéraux tels que la perlite peuvent avoir un rôle physique de remplissage (filler) ou physico-chimique (filler et pouzzolanique). [10]

II.2. LA NATURE DE LA PERLITE

La perlite est une roche volcanique vitreuse de nature acide, hydratée de couleur gris perle, verdâtre ou noirâtre, appartenant au groupe des rhyolithes, de composition analogue à celle du verre. La perlite en Algérie existe dans les roches volcaniques et sédimentaires près de Maghnia et peut être exportée à partir des ports locaux, comme elle peut être exploitée à ciel ouvert. [10]



Figure II.1: Photographie de la roche volcanique.

Elle se différencie des autres cristaux éruptifs car lorsqu'elle est chauffée à une température n'atteignant pas la limite de son ramollissement, elle augmente le volume de 10 à 20 fois par rapport à son volume de base. Cette augmentation est due à la présence de 2 à 3 % d'eau dans les cristaux de perlite brute. En cas de réchauffement rapide, la roche brute augmente son volume tel du popcorn, l'eau se transforme alors en vapeur et forme d'innombrables bulles. Le procédé de réchauffement va donner à la perlite sa blancheur puisque au départ cette roche se trouve être de couleur foncée.

La perlite qui est donc une roche volcanique de la famille des silicates, trouve une multitude d'applications une fois qu'elle est moulue, classifiée et expansée sous haute température : Construction / Rénovation / Isolation - Horticulture / Production Agricole traditionnelle ou hors-sol / Jardinage - Protection de l'environnement / Absorbants - Filtration dans l'industrie chimique, pharmaceutique et alimentaire - Isolation des installations cryogéniques. [12]

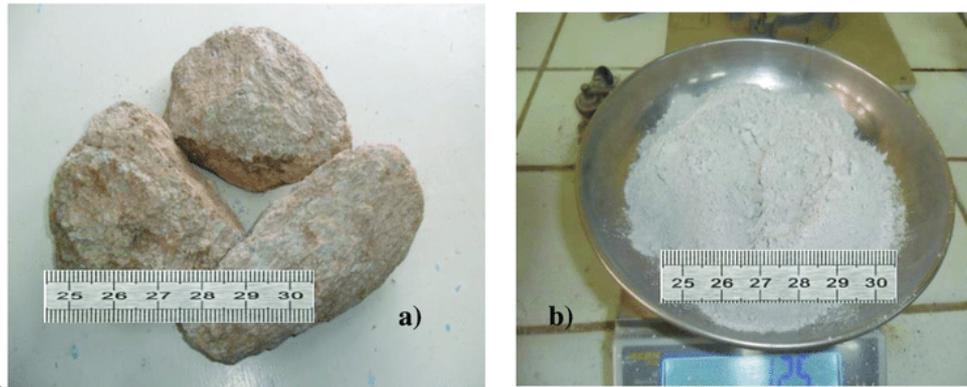


Figure II.2: Photographie de la perlite : a) la roche de perlite naturelle, b) la poudre de perlite.



Figure II.3: Transformation de la roche en perlite expansée.

II.3. LES CARACTERISTIQUES DE LA PERLITE

Les granules de la perlite peuvent être de grosseurs et de densités différentes :

- La perlite fine : de 0 à 2mm
- La perlite moyenne : de 1 a 3mm
- La perlite horticole : de 1 à 6mm

La perlite peut être sous différentes formes et peut avoir plusieurs usages :

- En poudre : pour tout ce qui est usage industriel
- Fine : à utiliser comme matériau dans le bâtiment ou l'isolation haute performance

- Gros graines : les gros grains peuvent être utilisés dans le domaine de l'agronomie pour les cultures hors-sol et le mélange avec la tourbe ou dans le domaine industriel pour le délavage ou comme agent abrasif ou contre la filtration.

En plus de ses caractéristiques bonnes physiques (grande porosité, faible densité), la perlite a la particularité d'être inerte, inflammable, imputrescible (ne peut pas pourrir), aussi insensible aux insectes tels que les vermines et aux rongeurs et totalement exemptée de toxicité. Donc, cet isolant naturel possède des caractéristiques qui lui confèrent des propriétés inaltérables.

Donc les points forts de la perlite sont :

- L'isolation thermique grâce à l'air emprisonné dans les granulats de perlite expansée.
- Légèreté extrême : la densité de la perlite est particulièrement faible (inférieure à 100kg/m^3) par rapport aux matériaux traditionnels.
- 100% incombustible : la perlite est une roche minérale, expansée à chaud, elle est insensible au feu.
- 100% écologique : la perlite est d'origine minérale, c'est un produit entièrement naturel, aucun risque d'irritation.
- Absence de toxicité : la perlite est 100% neutre, absence de dégagement de gaz toxique ni fumée sous l'effet de la chaleur.
- 100% inaltérable : la perlite est d'origine minérale, elle est extrêmement stable dans le temps.
- 100% imputrescible : la perlite est stable et inerte, la perlite n'attire aucun rongeur et aucun insecte.
- 100% simple : comme pour un béton traditionnel, il suffit de mélanger le ciment, le sable et la perlite, pour obtenir un mortier ou un béton léger de bonne qualité.

Composition chimique de la perlite de Maghnia :

La perlite extraite manuellement de gisement de l'entreprise Bental situé près de Hamam Boughrara au Nord-Ouest de la wilaya de Tlemcen (Algérie), sa composition chimique est obtenue par la méthode de fluorescence X en utilisant le spectromètre de fluorescence X.

Tableau II.1: Composition chimique de la perlite

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO
4.47	71.71	13.88	1.95	0.02	3.04	3.05	1.38

La fluorescence X est une émission secondaire de rayons X caractéristique des éléments atomiques qui composent l'échantillon. La composition minéralogique de la perlite, est obtenue par la méthode DRX effectuée au niveau de laboratoire de CTIM

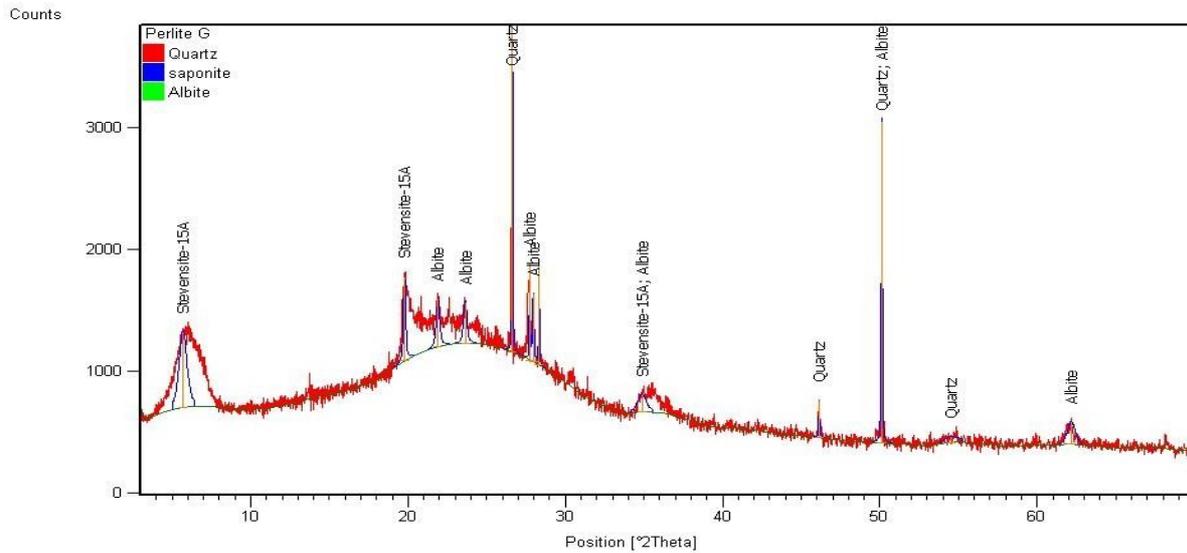


Figure II.4 : Analyse aux rayons X de la perlite.

II.4 Conclusion :

Ce chapitre a permis de connaître les caractéristiques et la composition de la perlite naturelle qui est extraite du gisement de Hammam Bouhrara situé à Tlemcen (Algérie). On trouve cette forme de roche volcanique siliceuse sous différentes formes et peut servir à plusieurs usages.

CHAPITRE III

MATERIAUX ET METHODES

CHAPITRE III : MATERIAUX ET METHODES

III.1. INTRODUCTION

Ce chapitre décrit les différentes caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration du béton autoplaçant, il donne le détail de la formulation adoptée ainsi que les essais qui caractérisent les matériaux et le BAP à l'état frais. Cependant, en cause de la crise sanitaire et des restrictions relatives à l'accès au laboratoire certaines manipulations expérimentales n'ont malheureusement pas été exécutées.

III.2. MATERIAUX UTILISÉS

III.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé dans notre recherche est un ciment résistant aux sulfates CRS. Le Ciment CRS (ciment résistant aux sulfates) est constitué de :

- 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment ;

- Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise.

-La masse volumique absolue du ciment anhydre mesurée au pycnomètre est : $\rho = 3,1 \text{ g/cm}^3$.

L'étude de la finesse de mouture, pour les liants est indispensable puisqu'il influe considérablement sur la résistance mécanique, la maniabilité...etc. La finesse d'un ciment peut être caractérisée par sa surface massique : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en m^2 / kg de poudre ou (cm^2 / g) . [14]

Les résultats de l'analyse chimique du ciment utilisé sont représentés dans le tableau (III.1).

Tableau III.1: Résultat des analyses chimique du ciment CRS (fiche technique).

Perte au feu en (%)	>1.5
Rrésidus insolubles en (%)	>0.7
Teneur en anhydride sulfurique SO₃ en (%)	2.00-1.80
Teneur en magnésie MgO en (%)	1.80-1.60
Teneur en chlorures (%)	0.01-0.03

Les résultats des propriétés physiques, chimiques et minéralogiques sont représentés respectivement dans le tableau (III.2), (III.3) et (III.4).

Tableau III.2 : Résultats des analyses physiques du ciment CRS, (Fiche technique)

Poidsspécifique g/cm³	3.12
Consistance normale de la pâte de ciment en (%)	26.50-25.50
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g)	3200-3000
Chaleur d'hydratationj/g	>310
Retrait à 28 jours µm/m	>1000
Expansion mm	>5

Tableau III.3 : Composition chimique du ciment CRS

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Mgo	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F
Pourcentage(%)	21.33	3.63	4.31		2.29	1.82	0.56	0.09	64.97

Tableau III.4 : Compositions minéralogique du ciment CRS

Minéraux ciment	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)
CRS	60.90	15.23	2.33	13.10

III.2.2. Granulats

Les granulats utilisés sont issus de la carrière de MASCARA, le sable de mer provient de la carrière de SIDI LAKHDAR.

On a utilisé quatre classes granulaires dans notre mélange de béton autoplaçant (Tableau III.5) qui sont comme suit : gravier 3/8 (G3/8), gravier 8/15 (G8/15), sable carrière 0/3 (SC) et sable de mer 0/3 (SM).

Tableau III.5 : Classes granulaires utilisées

Désignation	Sable de mer	Sable de carrière	Gravier 3/8	Gravier 8/15
Apparence				
Nature	Siliceux d/D=0/3	Calcaire d/D=0/3	Calcaire d/D=3/8	Calcaire d/D=8/15

III.2.3. Sable

Le sable utilisé est un sable naturel issu de la région de la Wilaya de Mostaganem. Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de Mostaganem.

Masse volumique apparente

La procédure utilisée pour la détermination de cette grandeur est présentée à travers la figure III.1.

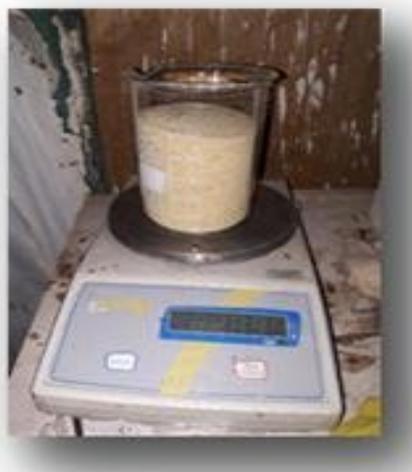


Figure III.1 : Mesure de la masse volumique apparente du sable.

Masse volumique absolue (NF P18-555)

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. La figure III.2 illustre l'essai et le tableau III.6 donne les résultats de mesure.



Figure III.2 : Mesure de la masse volumique absolue du sable.

Tableau III.6 : Résultats de mesure de la masse volumique absolue du sable

Lire dans l'éprouvette graduée le volume (ml)	V1	80 ml
Masse de l'échantillon (gr)	Masse (M)	80 gr
Lire le nouveau volume (ml)	V2	110 ml
Masse volumique absolue $M / (V2 - V1)$	ρ_{Abs}	2.666
$\rho_{Abs} = 2666 \text{g/m}^3$		

Equivalent de sable:

Cet essai (Figure III.3 et III.4) a pour but de mesurer la propreté d'un sable. L'essai est effectué sur la fraction 0/5mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé. Pour cela on utilise une solution lavante, elle permet de séparer les éléments fins argileux et provoque la floculation. Après décantation, on mesure la hauteur des fines floculées, (sable propre + éléments fins = h_1) et la hauteur de sable propre (h_2 si c'est au piston ou h'_2 si c'est au réglet).

Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500 g).
- Prendre une pesée de 120 g.
- Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes.
- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de cours horizontale en 30 secondes à la main.

- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2ème repère. Laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.
- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h1 du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = (h_2/h_1) \times 100 \text{ [\%]}$$

$$Eq.(3.1)[17]$$

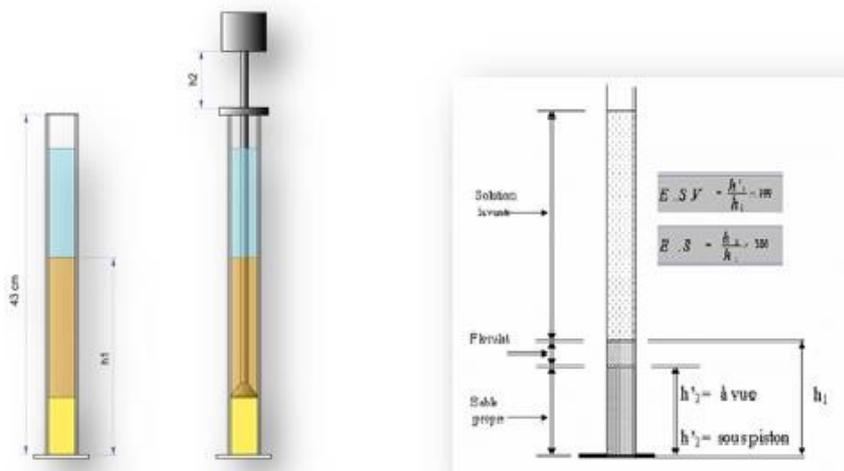


Figure III.3 : Schéma de mesure de la propreté du sable.



Figure III.4 : Mesure de la propreté du sable.

III.2.4. Graviers

Pour l'élaboration des bétons, on a utilisé des graviers de dimensions 3/8 et 8/15.

Masse volumique apparente des graviers (Figure III.5)

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume en vrac, y compris les «vides».

La mesure consiste à verser le granulat sec dans un récipient de volume connu en le disposant, sans tasser, par couches horizontales successives. Ensuite on arase la dernière couche par un mouvement de va et vient à l'aide d'une règle. La masse volumique apparente, notée M_v est donnée par l'expression:

$$M_v = M/V \quad \text{Eq. (3.2)}$$

Où :

M : masse des granulats contenus dans le récipient ;

V : volume du récipient.



Figure III.5 : Mesure de la masse volumique apparente du gravier.

Masse volumique absolue (Figure III.6)

La masse volumique absolue (ρ) est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Pour la mesure on utilise la méthode de l'éprouvette graduée.

Remplir une éprouvette graduée avec un volume V_1 d'eau. Peser un échantillon sec M de granulats et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air. Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume V_2 .

La masse volumique absolue est alors :

$$\rho = M/(V_1 - V_2) \quad \text{Eq. (3.3)[17]}$$



Figure III.6 : Mesure de la masse volumique absolue du gravier.

Mesure de la propreté (Figure III.7)

La propreté désigne, d'une part, la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains, et d'autre part, les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton, parmi lesquelles on peut citer les scories, le charbon, les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine.

Les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. La séparation des agrégats des éléments fins se fera par un simple lavage à l'eau.

- Peser une masse M (environ 1000g) de gravier et la placer dans un tamis (maille de 0,5mm),
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse le tamis de vienne claire,
- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M' . La propreté se déduit alors à partir de l'expression suivante:

$$P(\%) = ((M - M') / M) \times 100$$

Eq (3.4)

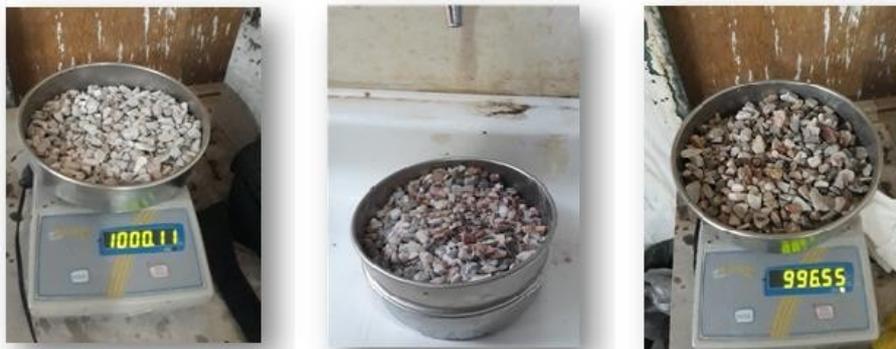


Figure III.7 : Mesure de la propreté des graviers.

Le Tableau III.7 récapitule les caractéristiques des granulats.

La valeur de la masse volumique de sable de mer est celle d'un sable siliceux.

La valeur d'équivalent de sable dépassent 90%, significatif d'un sable très propre, ceci a été constaté lors de lavage de ce sable pour la récupération des fines.

Tableau III.7 : Les caractéristiques physiques des granulats obtenues par l'étude expérimentale.

Caractéristiques		Sable de mer SM	Sable de carrière SC	Gravier 3/8 G3/8	Gravier 8/15 G8/15
Masse volumique absolue (g/cm ³)		2.63	2.74	2.60	2.57
Masse volumique apparente (g/cm ³)		1.5	1.43	1.38	1.38
Equivalent de sable	Visuel	99%	98%	/	/
	Piston	98%	97%		
Module de finesse		1.53	3.01	/	/
Pourcentage des fines (%)		0,009	0.005	0.002	0
Absorption (%)		0.64%	1.82%	1.8%	1.44%

Les courbes granulométriques des granulats sont représentées dans la figure III.8.[16]

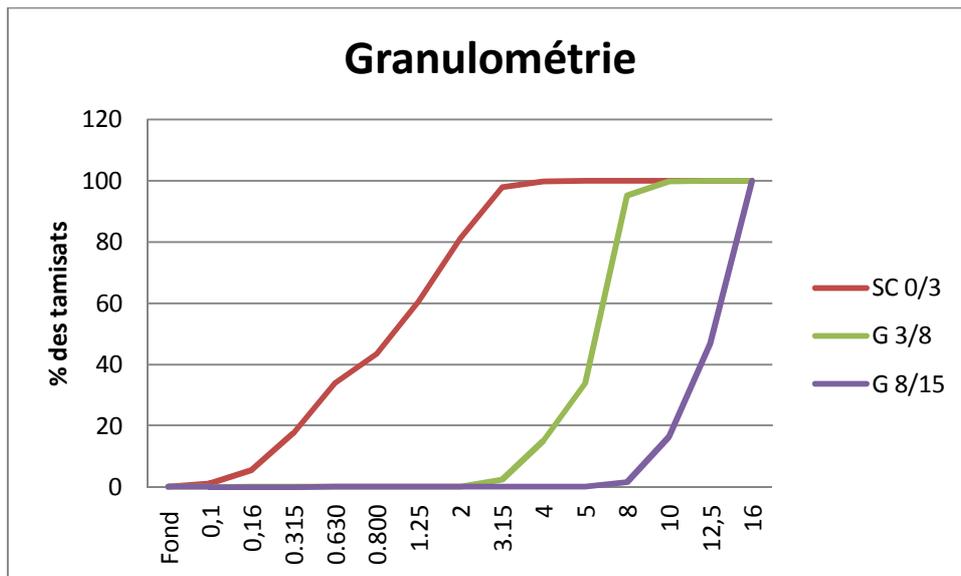


Figure III.8 : Granulométrie de sable non corrigé, gravier 3/8 et gravier 8/15.[16]

III.2.5. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un Super-plastifiant / Haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates appelé SikaViscoCrete TEMPO-12 (Tableau III.8).

Tableau III.8 : Caractéristiques de l'adjuvant

Densité	1,06 g/cm ³ ± 0,01
PH	4.5± 6,5
Extrait sec	28.0 ±31.0%
Teneur en ion Cl ⁻	< 0.1 %
Teneur en Na ₂ O éq.	< 1%
Plage d'utilisation recommandée	0,3 à 3 % du poids du ciment.

III.3 LA FORMULATION DU BAP

La méthode de formulation utilisée pour concevoir les compositions de BAP testés dans cette étude est celle élaborée par GUERZOU [GUERZOU, 2019]. Le principe de cette formule se base essentiellement sur la fixation d'un volume de pâte ≈ 37,5 % (375,00 l/m³).

- Le volume de pâte (eau efficace + air occlus + ciment + additions + adjuvant + fines des granulats de dimension inférieure à 80 μm) est fixé à 375 litres/ m^3 , rapport E/C $\approx 0,5$ et G/S proche de 1.

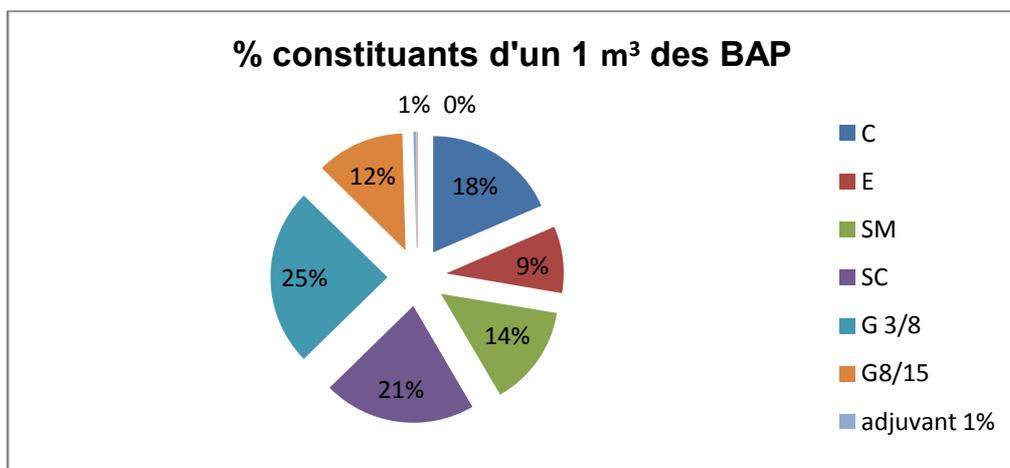
- Le dosage en adjuvant est calculé afin de limiter la ségrégation et le ressuage. Ce dosage est déterminé de manière expérimentale à partir d'essais sur bétons frais pour lequel l'étalement doit être compris entre 60 et 75 cm.

L'optimisation de la constitution doit réduire la ségrégation et favoriser l'écoulement. Pour cela et afin de sélectionner une combinaison adéquate de granulats qui améliore la maniabilité et la déformabilité du béton autoplaçant, plusieurs proportions ont été considérées tout en gardant un rapport G/S proche de 1.[16]

Les résultats sont introduits pour 1 m^3 de béton dans le tableau III.9 et la figure III.8.

Tableau III.9 : Les constituants d'un mètre cube de béton autoplaçant.

matériaux	Dosage en kg/m^3
Ciment	428
Eau	214
Gravier 3/8	325
Gravier 8/15	488
Sable de mer	575.3
Sable carrière	282.7
adjuvant	4.28



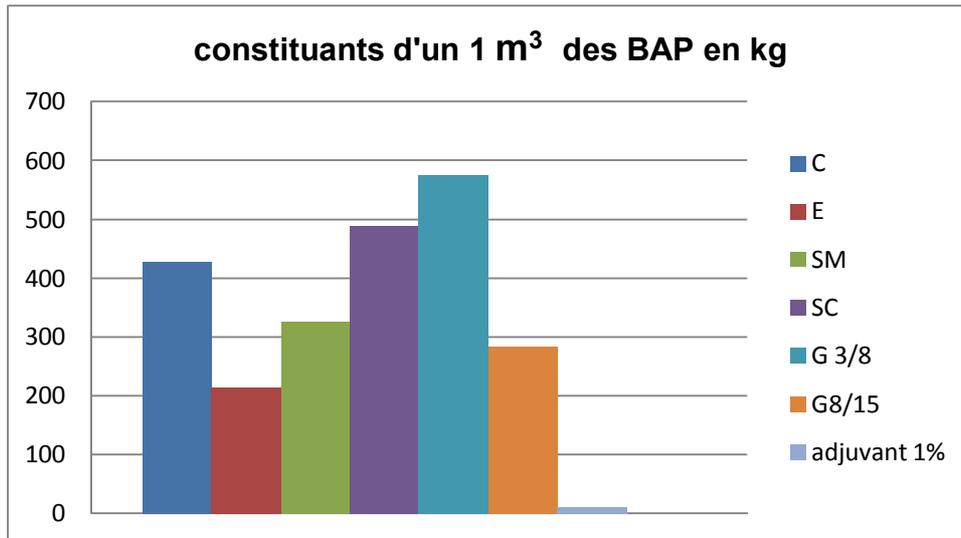


Figure III.9 : Constituants d'un 1 m³ de béton autoplaçant en masse.

III.4 CARACTERISATION DU BAPA L'ETAT FRAIS (ESSAI D'ETALEMENT)

III.4.1. Malaxage

Le malaxage est l'étape la plus importante dans la préparation du béton. Le malaxeur est un appareil qui assure une homogénéité du mélange supérieure à celle obtenue avec les bétonnières, grâce au déplacement relatif des composants à l'intérieur du mélange. Ce déplacement est provoqué par des trains de palettes ou de planétaires dont l'axe est excentré par rapport à celui de la cuve, qui est elle-même fixe ou tournante. La plus part des malaxeurs sont à axe vertical. Le béton subit un puissant effet de brassage à la fois de le sens vertical et dans le sens horizontal. Ce type de matériel est le mieux adapté à l'obtention de bétons de qualité très homogènes. La figure III.10 montre le type de malaxeur utilisé.



Figure III.10 : le malaxeur utilisé.

Une fois l'appareil adapté au béton à réaliser déterminé, le malaxage, pour être efficace, doit prendre en compte certains paramètres :

- l'ordre d'introduction des composants,
- la vitesse de rotation de la cuve,
- le temps de malaxage

III.4.2. Essai d'étalement

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 BAP. Le cône est ensuite soulevé et le béton s'étale sous sa propre énergie (sans faire bouger la plaque). La valeur de l'étalement correspond au diamètre moyen du disque que forme le béton étalé. Cette valeur doit être comprise entre 600 et 750mm. Les granulats doivent être répartis uniformément.

$$D = (D1 + D2) / 2$$

Eq. (3.3)[17]

Avec :

D1 et **D2** sont les diamètres horizontal et transversal de la galette de BAP.



Figure III.11 : Essai d'étalement.

La composition du béton autoplaçant donne une grande fluidité sans ségrégation et sans ressuage qui constitue d'ailleurs sa spécificité.

L'étude du béton autoplaçant à l'état frais basée sur l'essai d'étalement, donne un résultat qui correspond aux critères des recommandations provisoires vu que l'étalement du béton

testé est supérieur à 60 cm et inférieur à 75cm selon les spécifications de l'AFGC [20], donc on peut dire qu'on a obtenu un béton autoplaçant.

III.5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons identifié tous les matériaux entrant dans la composition du béton autoplaçant. Puis nous avons utilisé une formulation qui pourrait attribuer le caractère autoplaçant à notre béton. En effet, l'essai d'étalement qui nous a donné une galette dont le diamètre est conforme à la norme, en plus les autres essais de caractérisations tels que la boîte en L, l'essai au tamis, le J-Ring et le V-funnel devraient être réalisés.

CHAPITRE IV

RESUME DES ETUDES SUR LES MATERIAUX CIMENTAIRES AVEC AJOUTS POUZZOLANIQUES A L'ETAT FRAIS

CHAPITRE VI : RESUME DES ETUDES SUR LES MATERIAUX CIMENTAIRES AVEC AJOUTS POUZZOLANIQUES A L'ETAT FRAIS

IV.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons un aperçu sur les résultats issus de différentes recherches. Il s'agit des résultats des études sur le comportement à l'état frais des mortiers et bétons autoplaçants à base de différents ajouts pouzzolaniques à savoir la mobilité dans un milieu non confiné (étalement) et la mobilité dans un milieu confiné (boite en L, J-Ring, essai au tamis) ainsi que le ressuage.

IV.2. RESULTATS DES ESSAIS SUR BAP

IV.2.1 La vase calcinée

BELGUESMIA [Belguesmia, 2019] a mené une recherche sur l'optimisation d'un éco-BAP à base de sédiment de dragage vis-à-vis des états frais, durci et de la durabilité. Il a étudié quatre bétons dont un témoin et 3 béton sa base de 10%,20%,30% de vase calcinée substituée au ciment (Tableau IV.1). Il a effectué des essais de caractérisation à l'état frais dont les résultats sont regroupés dans le Tableau IV.2.

Tableau IV.1: Compositions des quatre BAP.

Constituants Kg/m ³	Les BAPS			
	BAP -T	BAP-V 10%	BAP-V 20%	BAP-V 30%
Ciment	450	402	380	315
Eau	225	218,5	220	210
E/C	0,5	0,54	0,57	0,66
Superplastifiant	3,0	3,65	5,2	7,5
Vase calcinée	/	38,5	67	115
Gravier 3/8	330	330	330	330
Gravier 8/15	495	495	495	495
Sable de mer	245	245	245	245
Sable de carrière	570	570	570	570

Tableau IV.2 : Récapitulatif des résultats de caractérisation à l'état frais.

Essai \ Béton	BAP-T	BAP-V 10%	BAP-V 20%	BAP-V 30%	
Étalement	Ø (cm)	69	68	66	64
	T ₅₀ (s)	2,8	2,8	2,64	3,08
La boîte en L	H ₂ /H ₁ %	93	92,6	89	89
	T ₂₀ (s)	1,25	1	1,5	1,3
	T ₄₀ (s)	2,5	2,1	2,8	2,48
Stabilité au tamis	%	6,15	5,8	5,2	5,1
Essai de J-Ring	Ø (cm)	62	59	58	57
	2h _r -h _m (mm)	8,9	8,1	7,5	7
Essai de ressuage	%	1,1	1,66	1,02	0,96

D'après les résultats il a confirmé que les 4 BAP vérifient l'ensemble des recommandations de l'AFGC et donc sont qualifiés de bétons autoplaçants. Les BAP à base de vase nécessitent un dosage plus important en superplastifiant qui est directement proportionnel au pourcentage de substitution, et ce à cause de la grande finesse de la vase comparée à celle du ciment et éventuellement à cause de la structure poreuse des grains et donc à l'absorption d'eau qui en résulte si l'on se réfère à la famille des ajouts minéraux tels que les laitiers et la fumée de silice et qui ont une demande en eau importante par rapport à celle du ciment, ce qui peut réduire les propriétés d'ouvrabilité des BAP. C'est pour ces mêmes raisons que le plus grand taux de substitution dans cette étude s'est limité à 30%.

IV.2.2. Laitier ou pouzzolane

Une recherche a été menée par DEBBIH [DEBBIH, 2012] sur la performance d'un béton autoplaçant à base de granulats recyclés, de laitier et de pouzzolane naturelle. Le Tableau IV.3 donne les composants des différentes formulations étudiées.

Tableau IV.3 : Compositions des BAP à base de granulats naturels sans et avec ajouts.

	BAP GN sans ajout	BAP GN 15% laitier	BAP GN 15% pouzzolane
Ciment (kg/m ³)	494	422	422
Gravier 8/15 (kg/m ³)	490	490	490
Gravier 3/8 (kg/m ³)	245	245	245
Sable (kg/m ³)	921	921	921
Laitier ou Pouzzolane (kg/m ³)		70	69
Eau (kg/m ³)	198	197	197
Superplastifiant (kg/m ³)	8,89	8,86	8,84

Les essais réalisés à l'état frais pour les compositions citées ci-dessus ont donné les résultats regroupés dans le tableau IV.4.

Tableau IV.4 : Résultats des BAP à base de granulats naturels sans et avec ajouts.

	BAP Référence sans ajouts	BAP Référence 15% Laitier	BAP Référence 15% Pouzzolane	Exigence
Étalement D (mm)	764	782	711	660-850 mm
T₅₀ (sec)	2,67	1,98	3,35	
T_v (V-Funnel) (sec)	9,7	6,85	12,8	5 sec < T ₅₀ < 12 sec
U-Box	0,85	0,94	0,82	H ₂ /H ₁ > 0,85
L-Box	T ₂₀ = 2,91	T ₂₀ = 1,71	T ₂₀ = 1,42	T ₂₀ < 1,5 sec
	T ₄₀ = 7,10	T ₄₀ = 2,78	T ₄₀ = 2,12	T ₄₀ < 3,5 sec
	H ₂ /H ₁ = 0,63	H ₂ /H ₁ = 0,83	H ₂ /H ₁ = 0,60	H ₂ /H ₁ > 0,80
J-Ring	T ₅₀ = 3,46 sec	T ₅₀ = 2,53 sec	T ₅₀ = 4,15 sec	
	D = 684 mm	D = 744 mm	D = 607 mm	660-850
	B _j = 1,8 cm	B _j = 0,98 cm	B _j = 2,1 cm	B _j < 1 cm

Le BAP GN à base de 15% du laitier a donné l'étalement le plus élevé (782 mm), suivi de BAP GN sans ajout et du BAP GN avec 15% de pouzzolane (764 et 711 mm) respectivement. BOUKENDAKDJI [20] a trouvé qu'un BAP avec 15% de laitier présente un étalement élevé par rapport à un BAP sans ajout. L'introduction des additions minérales dans un mélange cimentaire modifie le processus d'hydratation du ciment. L'amélioration de l'ouvrabilité du BAP à 15% du laitier est peut être due à la réaction d'hydratation retardé par la présence de ce dernier. Car le laitier ne contribue pas aux réactions d'hydratation au jeune âge.

IV.2.3. Vase et pouzzolane

Une étude de la durabilité [BELARIBI O 2018] a été effectuée sur des bétons autoplaçants (Tableau IV.5) à base de vase issue des sédiments de dragage des barrages de Chofra et Fergoug (Mascara) et de pouzzolane naturelle de Béni-Saf.

Tableau IV.5 : Compositions des BAP.

Constituants(Kg/m³)	BAP-T	BAP-VC	BAP-VF	BAP-PZ
Ciment	448.16	407.61	407.96	410.23
Vase (Chofra)	/	81.52	/	/
Vase(Fergoug)	/	/	81.59	/
Pouzzolane	/	/	/	82.05
Eau	224.8	203.81	203.98	205.12
Superplastifiant	08.20	11.01	10.61	9.64
Sable de mer	560	560	560	560
Sable de Concassage	251	251	251	251
Gravier 3/8	333	333	333	333
Gravier 8/15	499	499	499	499

Les essais réalisés sur ces BAP à l'état frais ont donné les résultats illustrés dans le Tableau IV.6 et la Figure IV.1.

Tableau IV.6 : Les résultats des essais de caractérisation à l'état frais.

Béton		BAP	BAP-VC	BAP-VF	BAP-PZ
Essai					
Étalement	Ø (cm)	70	70	68	68
	T ₅₀ (s)	3.56	3.75	3.83	3.69
La boîte en L	H ₂ /H ₁ %	89	95	83	86
	T ₂₀ (s)	2.39	2.56	2.58	2.41
	T ₄₀ (s)	3.76	3.38	3.98	3.80
Stabilité au tamis	%	6.91	4.52	5.11	5.87
Essai de J-Ring	Ø (cm)	62	59	58	59
	h _r (mm)	7.3	7.2	6.9	6.9
	h _m (mm)	5.4	5.3	5.1	5.0
	2h _r -h _m (mm)	9.2	9.1	8.7	8.8
Essai de ressuage	‰	1.21	1.10	1	1.09

Le tableau III.4 montre que les quatre BAP testés vérifient la condition d'étalement imposée par la recommandation de l'AFGC ($60 \text{ cm} \leq \text{Ø} \leq 75 \text{ cm}$) [26] (Figure IV.1).

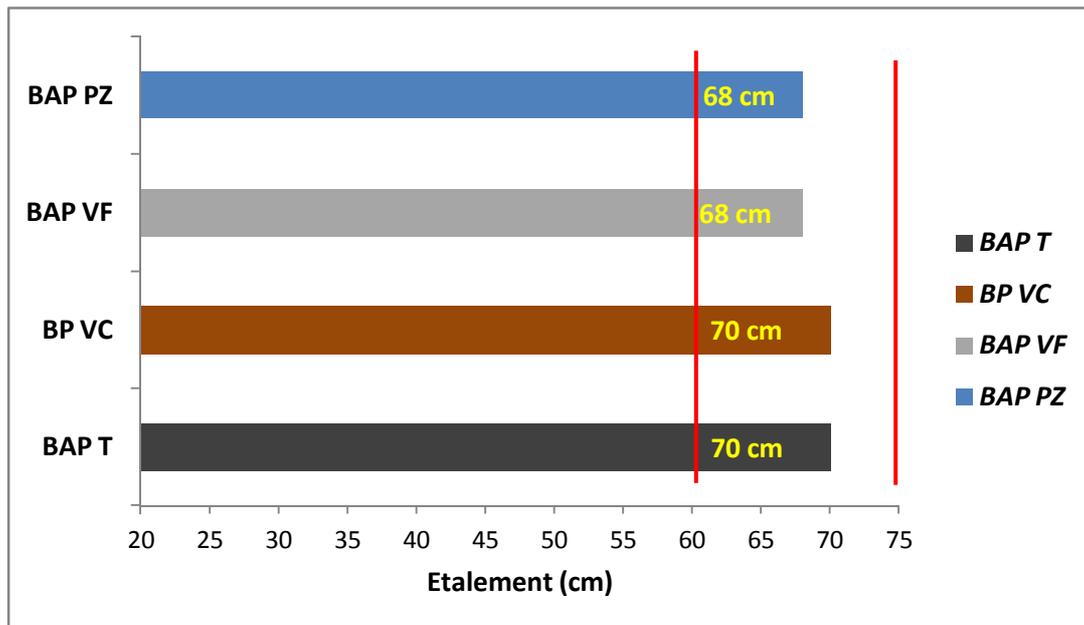


Figure IV.1: Valeurs d'étalements des quatre BAP.

Les valeurs d'étalements obtenus (70 cm pour le BAP T et BAP VC et de 68 cm pour le BAP VF et BAP PZ) classent ces bétons comme des bétons autoplaçants dans un milieu non confiné.

Les essais de caractérisation des BAP à l'état frais ont montré qu'ils répondent aux spécifications de l'AFGC.

IV.3. LES MORTIERS A BASE DE PERLITE

BOURROUBEY [22] a mené une étude sur l'influence de la perlite naturelle (10% et 20%) sur les résistances mécanique des mortiers dont les formulations sont présentées dans le Tableau IV.7.

Tableau IV.7: Formulations des mortiers.

Code	M0	M1	M2
E/C	0,5	0,5	0,5
Perlite /C	0	0.1	0.23
Sable (g)	1350	1350	1350
Ciment (g)	450	430	360
Perlite (g)	0	43	81.82
Eau (g)	225	215	204.5
Vol. de la pâte (cm³)	370,2	370,2	370,2

Les résultats issus des essais de consistance et de maniabilité sont donnés par les Tableaux IV.8 et IV.9.

Tableau IV.8: Résultats de consistance pour chaque composition de pâte.

Les pâtes	Pâte 0	Pâte 1	Pâte 2
Eau (g)	135	137.5	138.5
Ciment (g)	500	450	400
La perlite(g)	0	50	100
E/L	0.27	0.275	0.277

Tableau IV.9: La maniabilité des mortiers (temps de vibration en secondes).

Nomination	E/C	Temps de maniabilité (sec)
Mortier Témoin (0%)	0.5	8.95
Mortier avec (10%)	0.5	9.87
Mortier avec (20%)	0.5	9.93

Les essais menés par l'auteur [22] à l'état frais sur pâtes avaient pour objectif la détermination des valeurs des rapports E/L par l'essai de consistance qui a révélé que la présence de la perlite implique une augmentation du besoin en eau en quantité nécessaire pour l'obtention de la consistance désirée.

Les résultats des mesures de temps de prise des différentes pâtes ont montré que l'incorporation d'ajout en particulier la perlite contribue légèrement à l'accélération de la prise, et affecte la maniabilité des mortiers frais. Les quantités d'adjuvant ont été ajustées pour avoir environ la même maniabilité pour tous les mortiers.

Le Tableau IV.9 regroupe les compositions de mortiers à base de perlite et de pouzzolane conçues par HAMADACHE [23] sur lesquelles il a suivi le comportement mécanique et thermique. Les résultats de mesure de maniabilité sont montrés par le Tableau IV.10.

Tableau IV.10 : compositions de mortier.

Désignation du mortier		Pouzzolane naturelle (g)	Perlite (g)	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (L)	Rapport E /L
M ₀	Mortier normal	0	0	450	1350	225	0,50
M _{10pz}	Mortier avec ciment binaire	45	0	405	1350	225	0,50
M _{20pz}		90	0	360	1350	225	0,50
M _{30pz}		135	0	315	1350	225	0,50
M _{10p}	Mortier avec ciment binaire	0	45	405	1350	225	0,50
M _{20p}		0	90	360	1350	225	0,50
M _{30p}		0	135	315	1350	225	0,50
M _{5pz+5p}	Mortier avec ciment ternaire	22,5	22,5	405	1350	225	0,50
M _{10pz+10p}		45	45	360	1350	225	0,50
M _{15pz+15p}		67,5	67,5	315	1350	225	0,50

Tableau IV.11 : résultat des mortiers.

Etalement $E\% = (D_r - D_i) / D_i$, $D_i = 100\text{mm}$					
Désignation de mortier	Pouzzolane naturelle (%)	Perlite (%)	E/C	Etalement (mm)	Etalement (%)
M ₀	0	0	0,50	120	20
M _{10PZ}	10	0	0,50	114	14
M _{20PZ}	20	0	0,50	110	10
M _{30PZ}	30	0	0,50	106	06
M _{10P}	0	10	0,50	116	16
M _{20P}	0	20	0,50	112	12
M _{30p}	0	30	0,50	106	06
M _{5PZ+5P}	5	5	0,50	117	17
M _{10PZ+10P}	10	10	0,50	113	13
M _{15PZ+15P}	15	15	0,50	107	07

Les résultats ont confirmé que la substitution du ciment par des fines telles les pouzzolanes naturelles et les perlites, fait que ces liants sont caractérisés par une grande surface spécifique conduisant à la baisse de la maniabilité du mortier.

Ceci est en accord avec les résultats de recherches de Senhadji[24] et Chihaoui[25] qui ont établi la même remarque par l'utilisation de plusieurs ajouts pouzzolaniques (la pouzzolane naturelle de Béni-Saf, perlite, la fumée de silice et le métakaolin) pour la confection des

mortiers, qui indique que ces ajouts pouzzolaniques diminuent la maniabilité car leur demande en eau est supérieure à celle du mortier de ciment pur.

CHIHAOUI [25] a mené une recherche sur la durabilité des matériaux cimentaires (Tableau IV.11) contenant la perlite naturelle de Maghnia exposés aux attaques chimiques. Les résultats d'étalement sont présentés dans le Tableau IV.12.

Tableau IV.12 : Proportions des mélanges des différents mortiers.

Code	Ciment (g)	Perlite naturelle (g)	Sable (g)
M0	491	0	1350
M5	466,45	24,55	1350
M10	441,90	49,10	1350
M15	417,35	73,65	1350
M20	392,80	98,20	1350

Tableau IV. 13 : Proportions des mélanges de différents mortiers.

Code	Liant	Sable/Liant	Eau/Liant	Etalement (%)
M0	100% PC	2.75	0.485	110
M5	95% PC+5% NPP	2.75	0.485	106
M10	90% PC+10% NPP	2.75	0.490	108
M15	85% PC+15% NPP	2.75	0.495	105
M20	80% PC+20% NPP	2.75	0.495	105

Les résultats d'essais d'étalement ont montré que la quantité d'eau doit être augmentée pour que les mortiers incorporant la perlite naturelle puissent développer un étalement de $\pm 5\%$ de celui du mortier de ciment sans ajout. La demande en eau des mortiers augmente avec l'augmentation du taux de substitution du ciment par la perlite naturelle.

Les conclusions obtenues, concordent bien avec celles de l'essai de consistance établi pour les différentes pâtes, où la croissance de la demande d'eau est principalement attribuée à l'augmentation progressive de la surface spécifique des liants incorporant la perlite naturelle.

IV.4. CONCLUSION

En conclusion, les résultats de chaque formulation est différentes de l'autre cela prouve que d'une part la formulation a une influence directe sur la préparation du BAP et du mortier et d'autre part les ajouts pouzzolaniques ont aussi une influence sur les résultats dans le comportement des matériaux cimentaires à l'état frais.

CONCLUSION GENERALE

La formulation d'un BAP au même titre d'ailleurs que le béton ordinaire doit non seulement satisfaire un certain nombre de critères nécessaires mais insuffisants pour définir une composition correcte, car celle-ci dépend de plusieurs paramètres tels que (la nature, la forme, la granulométrie etc....) des granulats, paramètres difficiles à prendre en considération lors d'une approche théorique.

Un autre paramètre intervient avant la détermination du point de saturation de l'adjuvant utilisé est celui de l'optimisation du dosage en eau qui doit satisfaire deux conditions a priori contradictoires : l'ouvrabilité maximale qui se traduit par un fort dosage en eau, donc un rapport E / C élevé et la résistance mécanique qui doit être garantie.

Un troisième paramètre vient s'ajouter à ceux cités précédemment qui consiste à l'incorporation d'une addition minérale par son caractère hydraulique et son dosage.

La formulation du BAP a été réalisée en premier sans aucune addition, en tenant compte de certaines recommandations le rapport G /S proche de 1, un dosage en ciment correct 300 à 350 Kg / m³ de béton, un volume de pâte de 330 à 400 l / m³ de béton permettant d'assurer une bonne ouvrabilité principalement caractérisée par l'étalement et l'écoulement sans risque de ségrégation.

Les objectifs de ce travail est d'apporter une contribution à l'étude de bétons autoplacants à l'état frais. Ainsi, nous nous sommes fixés deux objectifs, le premier est de formuler un BAP à base d'ajout pouzzolanique tel que la perlite, le deuxième objectif est d'étudier l'influence de la perlite naturelle sur les propriétés des BAP à l'état frais et les comparer à celle d'un BAP de référence sans addition.

Pour ce faire et pour avoir des résultats expérimentaux, il a fallu faire des essais spécifiques afin d'attribuer le caractère autoplacant à nos bétons néanmoins à cause des restrictions sanitaires l'accès au laboratoire a été rendu interdit et par conséquent seuls les essais de caractérisation des matériaux et l'essai d'étalement ont été effectués.

Les principales conclusions à tirer de ce travail sont :

-Les BAP constituent une véritable alternative au béton traditionnel, comme l'ont montré un certain nombre d'exemples. Cependant, leur formulation et le contrôle de leurs propriétés lors de la mise en œuvre nécessitent une attention particulière.

-La perlite naturelle qui est extraite du gisement de Hammam Boughrara situé à Tlemcen (Algérie) représente une alternative à la pouzzolane naturelle au regard à ses caractéristiques pouzzolaniques et même thermiques.

-Les ajouts pouzzolaniques en l'occurrence la perlite naturelle ont aussi une influence directe sur le comportement des matériaux cimentaires à l'état frais.

Les études sur l'influence de la perlite sur le comportement des bétons autoplçants sont rares. C'est pourquoi il est primordial de mettre à exécution notre travail expérimental qui a été tracé au départ et qui n'a malheureusement a été interrompu à cause du confinement sanitaire. En effet, nous recommandons pour une recherche future d'élaborer des BAP incorporant 20% de perlite naturelle et d'étudier ses caractéristiques envers la mobilité dans un milieu confiné et non confiné.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] <http://bronzoperasso.fr/beton-par-categorie-de-produits/bs-betons-speciaux/beton-autoplacant-bap-et-autonivelant-ban/>
- [2] https://www.google.fr/search?q=constituants+beton+autopla%C3%A7ant&tbm=isch&ved=2ahUKEwi6wuq194bqAhVLdBoKHQg8ArgQ2-cCegQIABAA&oq=constituants+beton+autopla%C3%A7ant&gs_lcp=CgNpbWcQA1CkfVjAoAFg16QBABwAHgAgAGhAYgBiA6SAQQwLjEzmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWc&scient=img&ei=LAvpXrr8CcvoaYj4iMAL&bih=657&biw=1024#imgrc=ttciLBCJf3r6CM
- [3] <http://bib.univoeb.dz:8080/jspui/bitstream/123456789/1975/1/These%20Majistaire.pdf>
- [4] https://fr.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9ton_autopla%C3%A7ant
- [5] <https://eduscol.education.fr/sti/sites/eduscol.education.fr/sti/files/ressources/pedagogiques/7617/7617-annexe-composition-du-beton-ensps.pdf>
- [6] <https://www.infociments.fr/betons/essais-de-caracterisation-specifiques-au-bap#:~:text=Cet%20essai%20permet%20d'%C3%A9valuer,de%20chute%20de%2050%20cm.>
- [7] SEDRAN T. «Les Bétons Autonivelants», bulletin LCPC 196, réf. 3889, pp. 53-60, mars-Avril 1995.
- [8] BOUTHEYNA M., BOURTAL H.D., «Etude comparative de durabilité entre les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires», Mémoire de master, Université de Guelma 2018.
- [9] <https://www.infociments.fr/betons/principes-de-formulation-des-bap.>
- [10] [file:///D:/Users/Boumediene/Desktop/Downloads/RT1-86-ATAALLAH-Amina%20\(3\).pdf](file:///D:/Users/Boumediene/Desktop/Downloads/RT1-86-ATAALLAH-Amina%20(3).pdf)
- [11] <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-50469-FR.pdf>
- [12] <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-50469-FR.pdf>
- [13] https://www.google.fr/search?q=la+roche+perlite&hl=fr&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiW-eHPjIfqAhXaShUIHeboBx8Q_AUoAXoECAwQAw&biw=1440&bih=740#imgrc=nZghypmJKR4NxM
- [14] <http://thesis.univ-biskra.dz/1105/6/Chapitre%2004.pdf>
- [15] <http://dspace.univ-djelfa.dz:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/1117/chapiter%2002.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [16] **GUERZOU T., «Etude de la capacité de reprise des bétons ordinaires et des bétons autoplaçants», Mémoire de master, Université de Mostaganem, 2015.**
- [17] BOUTHEYNA M., BOURTAL H.D., «Etude comparative de durabilité entre les bétons autoplaçants et les bétons ordinaires», Mémoire de master, Université de Guelma 2018.
- [18] [file:///D:/Users/Boumediene/Desktop/Downloads/sika_viscocrete_tempo_12_nt211%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/Boumediene/Desktop/Downloads/sika_viscocrete_tempo_12_nt211%20(1).pdf)
- [19] https://ft.univtlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/betons_preparation_transport_mise_en_oeuvre.pdf

[20] DEBBIH A., «Performance d'un béton autoplaçant à base de granulats recycles, laitier et pouzzolane naturelle», Mémoire de magister, Université de Saad Dahlab de Blida, 2012.

[21] BOURROUBEY C., «Influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers».Mémoire de master, Université de Mostaganem, 2019.

[22] BOURROUBEY C., «Influence de la perlite naturelle sur les résistances mécaniques des mortiers».Mémoire de master, Université de Mostaganem, 2019.

[23] HAMADACHE M., «Résistance mécanique, conductivité et résistance la corrosion des mortiers pouzzolaniques. », Thèse de doctorat, ENP ORAN, 2019.

[24] Senhadji Y., « L'influence de la nature du ciment sur le comportement des mortiers vis-à-vis des attaques chimiques (acides et sulfates) ». Thèse de doctorat, Université de sciences et de la technologie d'Oran MB, Algérie, 2013.

[25] CHIHAOUI R., «Etude de la durabilité des matériaux cimentaire exposes aux attaques chimiques. », Thèse de doctorat, USTMB ORAN, 2018.

[26] BELARIBI O., «Durabilité des bétons autoplaçants à base de vase et de pouzzolane », Thèse de doctorat, Université de Mostaganem, 2018.