

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



مختار

باجي

جامعة

عنابة

Faculté : Sciences de l'ingénieur
Département : Génie civil
Domaine : Sciences et techniques
Filière : Génie civil
Spécialité : Matériaux du Génie Civil

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

Comportement des bétons autoplacants à base de
granulats de béton de démolition et de filler calcaire

Présenté par : *AZZOUZ Rayene*

Encadrant : *ALI-BOUCETTA Tahar*

MCB

Université d'Annaba

Jury de Soutenance :

| | | | |
|--------------------|-----|---------------------|-----------|
| BEHIM Mourad | Pr | Université d'Annaba | Président |
| ALI-BOUCETTA Tahar | MCB | Université d'Annaba | Encadrant |
| KHELIFI Walid | MCB | Université d'Annaba | Examineur |

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Nous remercions, en premier lieu, Dieu le tous puissant de nous avoir donné la force pour effectuer ce présent travail.

Nous adressons notre profonde gratitude à notre encadreur Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université Badji Mokhtar – Annaba, qui a dirigé ce travail de recherche et qui nous a permis de mener à bon terme ce mémoire et pour ses conseils très constructifs.

Nous remercions également les membres de jury Mr. BEHIM Mourad et Mr. KHELIFI Walid d'avoir accepté de présider le jury et d'examiner ce mémoire.

Enfin, notre reconnaissance va à tous nos professeurs et nos collègues du département de génie civil qui ont participé par leur encouragement à rendre ce travail du plus agréable ; aussi, nous remercions Mlle HAMZA Fadhila, doctorante au département de génie civil pour son aide précieuse, sa disponibilité jusqu'à la dernière minute et on lui souhaite une bonne continuation pour son doctorat.

À la fin, on remercie nos parents pour nous avoir facilité la vie et de nous donner tout ce qu'on avait besoin pour réussir dans nos études.

DÉDICACE

Pour que ma réussite soit complète je la partage avec toutes les personnes que j'aime, je dédie ce modeste travail à :

Ma Chère Maman "Souad" qui m'a comblé de son soutien et m'a voué d'un amour conditionnel, A celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoirs, car tu es pour moi un exemple de courage et de sacrifice continu. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour et sache que je te rendrai toujours fière de moi.

A mon support dans ma vie mon père "Mahiedine" pour son soutien, son affection, ses encouragements, pour son amour et la confiance qu'il m'a accordée.

A mon frère "Zaki" qui a été toujours là pour moi malgré la distance, t'as su toujours m'encourager et me remonter le moral.

A la mémoire de mon très cher grand-père "Dada" que ce travail soit une prière pour votre âme;

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire particulièrement mes deux grand-mères Mimi et "BaBa" et mes cousines "Rymou" "Celoula" et "Khouloud";

A ma copine "Aboura" au nom de l'amitié qui nous réunit, et au nom de nos souvenirs inoubliables;

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

AZZOUZ Rayene

RÉSUMÉ

| | |
|------------------|---|
| AUTEUR | AZZOUZ Rayene YAHIAOUI Adem |
| TITRE | COMPORTEMENT DES BETONS AUTOPLAÇANTS A BASE DE GRANULATS DE BETON DE DEMOLITION ET DE FILLER CALCAIRE |
| ENCADREUR | Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie |

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, et un filler calcaire comme addition.

L'objectif essentiel de ce travail est de contribuer à l'étude et la formulation d'un BAP à base de granulats recyclés. Pour cela, une substitution volumique a été réalisée pour plusieurs taux de remplacement du gravier naturels par du gravier de béton recyclé qui sont de 25, 50, 75 et 100 %.

Les résultats obtenus montrent la faisabilité autoplaçante des BAP avec des granulats recyclés. Des taux de substitution jusqu'à 75 % permettent d'obtenir des BAP qui vérifient tous les critères de convenance. Cependant, pour des taux jusqu'à 100 % les propriétés rhéologiques se dégradent. Néanmoins, avec une correction du dosage en eau il est possible d'effectuer un remplacement total des granulats naturels par des granulats recyclé en garantissant des propriétés satisfaisantes à l'état frais et durci.

Mots clés : Béton autoplaçant (BAP), granulats de béton recyclés, béton de démolition, filler calcaire.

ABSTRACT

AUTHOR AZZOUZ Rayene
 YAHIAOUI Adem

TITLE BEHAVIOR OF SELF-COMPACTING CONCRETE BASED ON
 DEMOLITION CONCRETE AGGREGATES AND LIMESTONE
 FILLER

FRAMER Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université
 Badji Mokhtar – Annaba, Algérie

Self-compacting concrete (SCC) is defined as a very fluid concrete that is placed under its own weight, without internal or external vibration. It must be homogeneous and very stable against segregation and bleeding. The formulation of the SCC is characterized by the high volume of the paste, as well as the use of a superplasticizing admixture, and a limestone filler as an addition.

The main objective of this work is to contribute to the study and formulation of a SCC based on recycled aggregates. For this purpose, a volume substitution was performed for several replacement rates of natural gravel by recycled concrete gravel which are 25, 50, 75 and 100%.

The results obtained show the self-compacting feasibility of SCC with recycled aggregates. Substitution rates up to 75% result in SCC that meets all suitability criteria. However, for rates up to 100% the rheological properties deteriorate. Nevertheless, with a correction of the water dosage it is possible to carry out a total replacement of the natural aggregates by recycled aggregates guaranteeing satisfactory properties in the fresh and hardened state.

Keywords : Self-compacting concrete (SCC), recycled concrete aggregates, demolition concrete, limestone filler

ملخص

| | |
|------------------|---|
| AUTEUR | AZZOUZ Rayene YAHIAOUI Adem |
| TITRE | COMPORTEMENT DES BETONS AUTOPLAÇANTS A BASE DE GRANULATS DE BETON DE DEMOLITION ET DE FILLER CALCAIRE |
| ENCADREUR | Mr. Tahar ALI-BOUCETTA, Maître de conférences à l'Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie |

تُعرّف الخرسانة ذاتية التسوية بأنها خرسانة شديدة السوائل توضع تحت تأثير وزنها الخاص ، دون اهتزاز داخلي أو خارجي. ويجب أن يكون هذا البرنامج متجانسا ومستقرا جدا إزاء الفصل والاختراق. تتميز تركيبة الخرسانة ذاتية التسوية بالحجم الكبير للعجينة ، فضلاً عن استخدام مادة لدنة فائقة ، وحشو الجير كإضافة.

ويتمثل الهدف الرئيسي من هذا العمل في المساهمة في دراسة وصياغة برنامج عمل BAP على أساس المجاميع المعاد تدويرها. ولهذا الغرض ، أجريت عملية استبدال الكثافة لعدة معدلات استبدال للحصى الطبيعية بلغت 25% و50% و75% و100% من الحصى الخراساني المعاد تدويره.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها جدوى الضغط الذاتي لـ BAP مع الركام المعاد تدويره. تتيج معدلات الاستبدال التي تصل إلى 75% الحصول على BAP التي تلبى جميع معايير الملائمة. ومع ذلك ، بالنسبة للمعدلات التي تصل إلى 100% ، تتدهور الخواص الريولوجية. ومع ذلك ، مع تصحيح جرعة الماء ، من الممكن إحداث استبدال كامل للركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره ، مما يضمن خصائص مرضية في الحالة الطازجة والمتصلبة .

الكلمات المفتاحية : الخرسانة ذاتية التسوية ، الحصى الخراساني المعاد تدويره ، حشو الحجر الجيري

Table des matières

Résumé

Abstract

ملخص

Table des matières

Table des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GÉNÉRALE 2

CHAPITRE I

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION | 6 |
| 2. DEFINITION DES BETONS AUTOPLAÇANTS | 6 |
| 2.1. Les avantages des BAP | 6 |
| 2.2. Constituants des bétons autoplaçants | 7 |
| 3. APPROCHES ET FORMULATION DES BAP | 10 |
| 3.1. Méthode japonaise..... | 10 |
| 3.2. Méthode suédoise | 11 |
| 3.3. Méthode française | 11 |
| 4. CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS | 12 |
| 5. GENERALITES SUR LE BETON RECYCLE | 15 |
| 5.1. Classification des déchets..... | 15 |
| 5.2. Définition des granulats de recyclage et artificiels | 16 |
| 5.3. Les avantages des granulats recyclés | 16 |
| 5.4. Caractérisation des granulats recycle | 16 |
| 6. INFLUENCE DES GRANULATS RECYCLÉS SUR LES PROPRIETES DES BAP | 19 |
| 6.1. A l'état frais | 19 |
| 6.2. A l'état durci | 21 |
| 7. CONCLUSION | 26 |

CHAPITRE II

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 29 |
| 2. MATÉRIAUX UTILISÉS | 29 |
| 2.1. Le ciment..... | 29 |
| 2.2. Filler Calcaire | 30 |
| 2.3. Superplastifiant..... | 31 |
| 2.4. Les granulats | 31 |
| 3. MÉTHODE DE FORMULATION, CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES | 33 |
| 3.1. Procédure de formulation | 33 |
| 3.2. Séquences de malaxage de BAP | 35 |
| 3.3. Conservation des éprouvettes..... | 35 |
| 4. ESSAIS REALISES SUR LES BAP | 36 |
| 4.1. A l'état frais | 36 |
| 4.2. A l'état durci..... | 39 |
| 5. CONCLUSION | 40 |

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION | 43 |
| 2. CINÉTIQUE D'ABSORPTION DES GRANULATS RECYCLÉS : MÉTHODE DE PYCNOMETRE (EN 1097-6) FRACTION (4/10) | 43 |
| 3. CARACTÉRISATION À L'ÉTAT FRAIS | 44 |
| 3.1. L'étalement au cône d'Abrams..... | 44 |
| 3.2. Temps d'étalement (T_{500}) | 45 |
| 3.3. Écoulement à la Boîte en L | 46 |
| 3.4. Stabilité au tamis..... | 47 |
| 3.5. Mesures de la masse volumique sur béton frais | 48 |
| 3.6. Mesures de la teneur en air occlus..... | 49 |
| 4. CARACTÉRISATION À L'ÉTAT DURCI | 49 |
| 5. CONCLUSION | 50 |
| CONCLUSION GÉNÉRALE | 53 |
| RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 55 |

| | |
|---|----|
| ANNEXES | 59 |
| Annexe A : Fiche technique du ciment | 60 |
| Annexe B : Fiche technique du superplastifiant..... | 66 |

Table des figures

| | | |
|-------|--|----|
| I.1 | Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP (Turcry, 04)..... | 7 |
| I.2 | Variation de la capacité de remplissage en fonction de la teneur en gros granulats, pour différents rapports sable sur pâte d'après Yurigi et al. (Yurigi et al.,93) | 8 |
| I.3 | Action des superplastifiants -Défloculation des grains de ciment..... | 10 |
| I.4 | Forme des granulats recyclés | 17 |
| I.5 | Évolution de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA à l'état sec (Mefteh et al., 13) | 20 |
| I.6 | Évolution de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA en pré-mouillage (Mefteh et al., 13) | 21 |
| I.7 | Changements de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA à l'état saturé en surface et sec (Mefteh et al., 13) | 21 |
| I.8 | Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la compression à l'âge de 7 jours (pour différentes conditions d'humidité de RCA) | 22 |
| I.9 | Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la compression à l'âge de 28 jours (pour différentes conditions d'humidité de RCA) (Mefteh et al., 13) . | 23 |
| I.10 | Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la traction par fendage à l'âge de 7 jours (pour différentes conditions d'humidité du RCA) | 24 |
| I.11 | Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la traction par fendage à l'âge de 28 jours (pour différentes conditions d'humidité du RCA) | 25 |
| I.12 | Relations entre la résistance à la compression et la résistance à la fissuration à l'âge de 28 jours (Mefteh et al., 13) | 25 |
| II.1 | Ciment CEM I 42,5 R..... | 29 |
| II.2 | Concasseur à mâchoire | 32 |
| II.3 | Courbe granulométrique des granulats | 33 |
| II.4 | Malaxeur de béton à axe vertical..... | 35 |
| II.5 | Mesure d'étalement au cône d'Abrams | 36 |
| II.6 | Mesure de diamètre à l'essai au cône d'Abrams | 36 |
| II.7 | L'essai à la boîte en L (L-Box test) | 37 |
| II.8 | Schéma de la boîte en L (L-Box test) | 37 |
| II.9 | Essai de stabilité au tamis | 38 |
| II.10 | Aéromètre à béton | 39 |
| II.11 | Essai de compression..... | 40 |
| III.1 | Cinétique d'absorption des granulats recyclés | 45 |
| III.2 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur l'étalement..... | 46 |
| III.3 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur le T ₅₀₀ | 47 |
| III.4 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur l'écoulement à la boîte en L..... | 48 |

| | | |
|-------|--|----|
| III.5 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur la stabilité au tamis..... | 49 |
| III.6 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur la masse volumique réelle du béton | 50 |
| III.7 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur la teneur en air occlus. | 51 |
| III.8 | Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur les résistances mécaniques en compression | 52 |

Liste des tableaux

| | | |
|------|--|----|
| I.1 | Sensibilité au D_{max} de l'essai à la passoire (Sedran,95) | 8 |
| I.2 | Les différents essais pour la caractérisation des BAP (Ali-Boucetta, 04) | 13 |
| I.3 | Capacité d'absorption d'eau des granulats recyclés. (Mefteh et al., 13) | 20 |
| II.1 | Propriétés physiques du ciment | 30 |
| II.2 | Composition chimique du ciment | 30 |
| II.3 | Composition minéralogique | 30 |
| II.4 | Composition chimique et propriétés physiques du filler calcaire | 31 |
| II.5 | Caractéristiques techniques | 31 |
| II.6 | Caractéristiques des granulats | 32 |
| II.7 | Composition des BAP à hautes performances | 34 |

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La réutilisation des déchets de construction sous forme de granulats représente une grande importance pour la protection de l'environnement, car d'une part, elle permet de recycler les matériaux générés par la démolition de vieux bâtiments ou des catastrophes naturelles. D'autre part, elle contribue à protéger la nature de la surexploitation des réserves naturelles. De plus, le problème du béton ordinaire nécessite des moyens de vibration, de sorte que le propriétaire a besoin de ressources et de coûts supplémentaires. Le béton autoplaçant est une solution qui favorise l'écoulement du béton dans la partie fortement renforcée de l'élément. Cette composition particulière du béton (BAP) se traduit par la présence d'un grand nombre d'additifs et d'adjuvants.

Le but de ce travail est d'utiliser les granulats recyclés issus de la démolition comme constituant d'un nouveau béton autoplaçant et d'étudier l'effet de la substitution des granulats naturels par ces granulats recyclés. La question majeure à laquelle ont essayé de répondre à travers cette étude et de vérifier la faisabilité autoplaçante des BAP avec des granulats de béton recyclé. Et à quelle taux de remplacement est-il possible d'atteindre un BAP qui vérifient tous les critères de convenance. Pour atteindre ces objectifs nous avons partagé le mémoire en trois chapitres.

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique dans lequel il est rappelé les principaux travaux en relation avec notre travail. Ce chapitre, servira par la suite de base pour les analyses et les discussions des résultats expérimentaux.

Le deuxième chapitre porte sur la caractérisation des matériaux qui ont été utilisés dans cette étude et en particulier les granulats de béton recyclé. Les différentes méthodes expérimentales qui ont servi pour mettre en évidence les différentes propriétés des BAP formulés à l'état frais et à l'état durci sont exposées.

Le dernier chapitre comprend les résultats obtenus au cours de cette étude, qui seront détaillés et discutés, suivi de leurs interprétations qui va nous éclaircir sur l'influence des granulats recyclés sur les propriétés des BAP à l'état frais et durci.

Ce mémoire s'achève par une conclusion générale, dont laquelle ont rappellent les principaux résultats obtenus durant cette étude.

CHAPITRE I

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique, dans lequel on aborde les différents aspects des BAP et des granulats issus du béton recyclé. Ce chapitre, servira par la suite de base pour les analyses et les discussions des résultats expérimentaux.

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 6 |
| 2. DEFINITION DES BETONS AUTOPLAÇANTS | 6 |
| 2.1. Les avantages des BAP..... | 6 |
| 2.2. Constituants des bétons autoplaçants | 7 |
| 2.2.1. Le ciment | 7 |
| 2.2.2. Les granulats | 7 |
| 2.2.3. Eaux de gâchage | 9 |
| 2.2.4. Additions minérales | 9 |
| 2.2.5. Les superplastifiants | 9 |
| 3. APPROCHES ET FORMULATION DES BAP | 10 |
| 3.1. Méthode japonaise..... | 10 |
| 3.2. Méthode suédoise | 11 |
| 3.3. Méthode française | 11 |
| 4. CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS | 12 |
| 5. GENERALITES SUR LE BETON RECYCLE | 15 |
| 5.1. Classification des déchets..... | 15 |
| 5.2. Définition des granulats de recyclage et artificiels..... | 16 |
| 5.3. Les avantages des granulats recyclés | 16 |
| 5.4. Caractérisation des granulats recycle | 16 |
| 5.4.1. Granulométrie..... | 17 |
| 5.4.2. Masse volumique | 17 |
| 5.4.3. Porosité (P) | 18 |
| 5.4.4. Absorption d'eau | 18 |
| 5.4.5. La dureté | 18 |

| | |
|---|----|
| 6. INFLUENCE DES GRANULATS RECYCLÉS SUR LES PROPRIETES DES BAP | 19 |
| 6.1. A l'état frais | 19 |
| 6.2. A l'état durci | 21 |
| 6.2.1. Résistance à la compression | 21 |
| 6.2.2. Résistance à la traction | 23 |
| 7. CONCLUSION | 26 |

Chapitre I Étude bibliographique

1. INTRODUCTION

Le but de ce chapitre est de passer en revue les BAP (leurs avantages, constituants, formulation...etc.) et les dernières connaissances sur les différentes propriétés des granulats recyclés utilisés dans cette étude et les effets de ces granulats recyclés sur le béton. Notre recherche bibliographique s'appuie sur les dernières recherches dans le domaine et la standardisation en France et en Europe, ce qui nous permet de déterminer les principaux points de la méthodologie que nous utilisons pour étudier le béton (BAP).

En présente aussi quelques résumés des études sur le recyclage des granulats utilisés dans les bétons, en indiquant leurs démarches, les réponses retenus et les principaux résultats afin d'avoir une synthèse qui justifie notre choix de matériaux. Ce chapitre porte donc sur les granulats recyclés utilisés dans cette étude à savoir les granulats recyclés de béton de démolition, leurs influences sur les bétons autoplaçants de façon à mieux comprendre leur comportement vis-à-vis de la présence de ces granulats.

2. DEFINITION DES BETONS AUTOPLAÇANTS

Le béton autoplaçant « Self Compacting ConcreteSCC » on désigne des bétons très fluides, homogènes et stables, caractérisés par une mise en place sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en place par vibration. (Bouchemal,13).

2.1. Les avantages des BAP

L'utilisation des BAP présente quelques plusieurs avantages, dont certains sont énumérés ci-dessous :

- L'absence de vibration et donc des nuisances sonores,
- Des aspects de surface d'une bonne régularité,
- Une diminution de risque de fissuration,
- Un gain de temps sur les bétonnages,
- Une pénibilité fortement réduite pour les maçons,
- Une suppression des risques d'accident liés à la manutention de la benne,
- Une économie de mains d'œuvres et un meilleur enrobage des armatures,

- Une bonne planimétrie du support fini([Http://beton-bap.blogspot.com](http://beton-bap.blogspot.com),15).

2.2. Constituants des bétons autoplaçants

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des bétons ordinaires. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, peuvent être divisés en trois catégories, à savoir les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales (addition calcaire, fumé de silice, cendre volante...); ainsi que les adjuvants chimiques.

La Figure I.1 suivante donne les Compositions d'un béton ordinaire (BO) et d'un béton autoplaçant (BAP). Aspect d'un BO plastique et d'un BAP à l'état frais (Turcry, 04)..

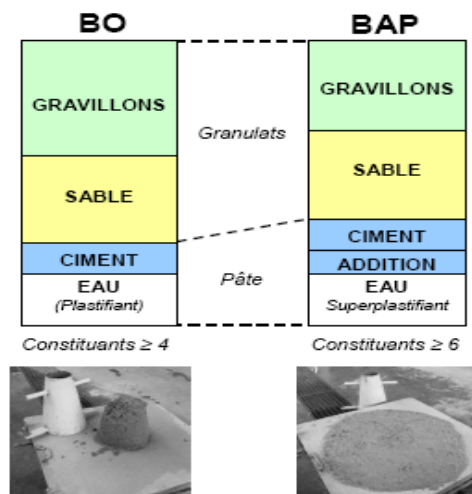


Figure I.1 :Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un (BAP) Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP(Turcry, 04). .

2.2.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique, sous forme de poudre minérale fine, qui s'hydrate en présence d'eau. Il forme un agent de durcissement qui durcit progressivement à l'air ou à l'eau.

2.2.2. Les Granulats

Le granulat, qu'on appelle aussi agrégat, est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125 mm (sables, gravillons et graviers), destiné à entrer dans la composition des matériaux destinés à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment.

Dans un BAP, les granulats roulés permettent de diminuer le risque de ségrégation d'après Khayat. Yurugi et al, rapporté par Khayat (Khayat, 98), considèrent que le volume des gros

granulats ($D > 5$ mm) dans le béton est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération. En effet ils ont constaté que plus la teneur en gros granulats augmente plus la capacité de remplissage diminue

Ces courbes montrent la très grande influence du volume de gros granulats sur le coefficient de remplissage contrairement au rapport sable sur pâte qui, lui, n'influence pas sur ce coefficient.

De plus les gravillons étant la cause de blocage en milieu confiné, leur volume est limité et le rapport gravillon / sable est proche de 1 d'après Sedran (Sedran, 95).

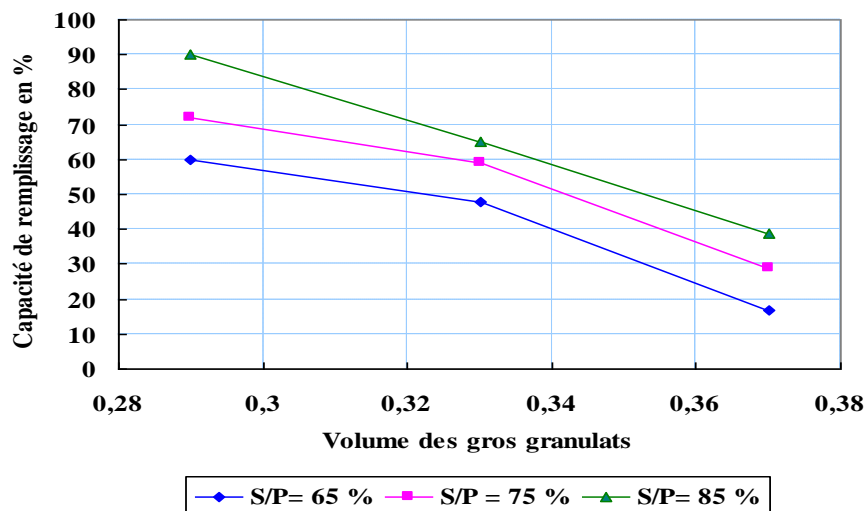


Figure I.2. Variation de la capacité de remplissage en fonction de la teneur en gros granulats, pour différents rapports sable sur pâte d'après Yurigi et al. (Yurigi et al.,93).

La taille maximale des granulats est aussi un facteur non négligeable. En effet plus la taille maximale des granulats augmente, plus le risque de blocage croît. Le tableau I.1. illustre l'influence du diamètre maximal D_{max} du granulat sur la variation du pourcentage de passants obtenu par l'essai à la passoire.

Tableau I.1. Sensibilité au D_{max} de l'essai à la passoire (Sedran,95).

| D_{max} (mm) | Étalement (cm) | Passant (%) |
|----------------|----------------|-------------|
| 20 | 72 | 28 |
| 16 | 70 | 35 |
| 14 | 74 | 91 |
| 12.5 | 69.5 | 100 |

2.2.3. Eaux de gâchage

L'eau mitigée est un élément essentiel de la production de béton. L'ajout pendant le processus de mélange hydrate le ciment et aide à lier les composants du béton ensemble. L'eau facilite également le traitement du mélange, ce qui facilite la construction du béton. En tant qu'élément essentiel pour l'obtention du béton, l'eau utilisée doit être absolument propre et ne doit pas être ajoutée en excès. Si ces deux conditions ne sont pas remplies, votre béton peut être cassant et ses performances en seront affectée.

L'eau de gâchage peut avoir plusieurs origines, mais seule l'eau potable est présumée conforme aux exigences de la norme NF EN 1008 (NF EN 1008 , 03), qui convient dans la fabrication de béton BAP, Les autres comme l'eau récupérée de la fabrication de bétons, eau d'origine souterraine, eau naturelle de surface et eau de rejet industriel, eau de mer et eau saumâtre, doivent être soumises à des essais de contrôle préliminaire ainsi que les essais chimiques et mécaniques. Etant donné que le dosage en eau influence de manière considérable la viscosité et la capacité de remplissage du béton BAP (Bouchemal, 13).

2.2.4. Additions minérales

Poudres d'origine minérale ajoutées au béton pour modifier certaines de ses propriétés par la norme européenne EN 206-1. Ils sont incorporés au ciment en usine par mouture conjointe ou par mélange avec le clinker. On obtient ainsi, non seulement un dosage précis et constant, mais également une répartition homogène de tous les constituants dans le ciment (Holcim, 21).La norme européenne EN 206-1 (EN 206-1,12) considère deux types d'additions :

- Le type I : additions quasiment inertes :
 - Filler calcaire et siliceux
- Le type II : additions à caractère pouzzolanique ou hydraulique latent :
 - La fumée de silice
 - Les métakaolins
 - Les cendres volantes
 - Les laitiers de hauts fourneaux

2.2.5. Les superplastifiants

Les superplastifiants sont des produits organiques qu'on ajoute à de faibles proportions au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Les superplastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon

que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et présenter de bonnes propriétés de mise en œuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées (Fares, 09). Le principal rôle des superplastifiants est la défloculation du ciment (Figure I.2).

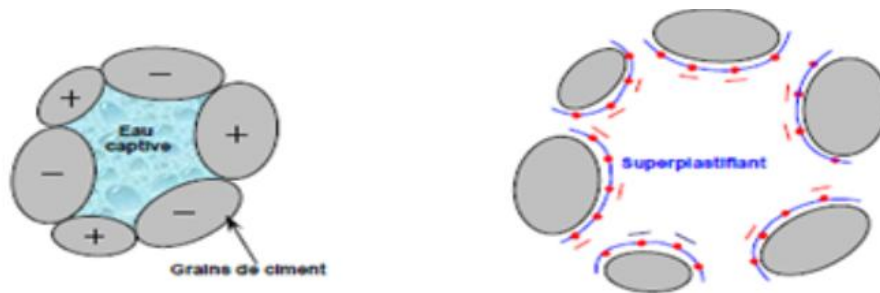


Figure I.3: Action des superplastifiants -Défloculation des grains de ciment.

3. APPROCHES ET FORMULATION DES BAP

Plusieurs approches de formulation du BAP (approche japonaise, approche suédoise, approche du LCPC) ont été développées à travers le monde pour répondre aux exigences de maniabilité de ce type de béton. D'après les recommandations de l'AFGC (AFGC, 02), la formulation de béton autoplaçant se base selon les critères suivants :

- Une quantité de pâte élevée (de l'ordre de 40% du volume total).
- Une quantité de fines élevée (de l'ordre de 500 kg/m³).
- Le volume de gravillon est faible (rapport G/S de l'ordre de 1).
- Utilisation d'un superplastifiant (à un dosage proche du dosage à saturation).
- Eventuellement utilisation d'un agent de viscosité.

3.1. Méthode japonaise

La formulation du BAP selon l'approche développée à l'Université de Kochi se fait en toute sécurité, en privilégiant le volume de la pulpe au détriment des agrégats. Les bétons obtenus sont insuffisamment dosés dans le granulat et donc loin de l'optimum économique. Le surcoût généré par le matériau est compensé au Japon par des économies de main-d'œuvre.

([Http://beton-bap.blogspot.com](http://beton-bap.blogspot.com), 15). Les paramètres de formulation par cette méthode sont cités ci-dessous :

1. Dosage des gravillons : Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m^3 de béton est limité à la moitié de sa compacité. 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 285 l/m^3 .

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.

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 kg/m^3).

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. ([Http://beton-bap.blogspot.com](http://beton-bap.blogspot.com),15).

3.2. Méthode suédoise

Proposée par (Petersson et al.,96), la méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par Tangtermsirikul. En effet, 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 (Seridi, 14).

3.3. Méthode française

La méthode française (LCPC), proposée par (De Larrard et al., 94) 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 $5 \cdot 10^4 \text{ Pa} \cdot \text{s}^{-1}$. 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.

4. CARACTÉRISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS

En plus du pouvoir auto-compactant des BAP, leurs propriétés les plus importantes pour la mise en œuvre sont la fluidité, la stabilité et l'homogénéité. Plusieurs essais permettent d'effectuer le contrôle de ces propriétés sur le béton à l'état frais. Ces essais vont du simple cône servant à la mesure de l'étalement et du T_{500} , jusqu'au complexe et coûteux rhéomètre à béton. Pratiquement, il est difficile de juger de l'acceptabilité d'un BAP en se basant uniquement sur un seul essai, jusqu'à présent, il n'existe aucun test universel qui permet la caractérisation de l'ensemble des propriétés des BAP (Mouret et al., 04).

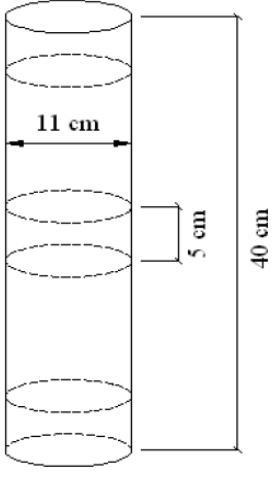
Ces propriétés se regroupent en trois aspects et peuvent être quantifiées à l'aide d'essais empiriques : la mobilité en milieu non confiné, la mobilité en milieu confiné et la stabilité. Le

Tableau I.2 synthétise les différents essais de caractérisation des BAP les plus répertoriés dans la littérature (Ali-Boucetta, 04).

Tableau I.2. Les différents essais pour la caractérisation des BAP (Ali-Boucetta, 04).

| Propriétés | Essais | Plages recommandées | Schémas |
|---------------------|---|--|---------|
| Capacité de passage | Etalement à l'anneau (J-ring) (NF EN 12350-12) | $PJ1 \leq 100$ mm à 12 barres $PJ2 \leq 100$ mm à 16 barres | |
| | Ecoulement à l'entonnoir (V-Funnel) (NF EN 12350-9) | $0 > VF1 < 9$ s $9 \leq VF2 \leq 25$ s | |
| | Essai à la boîte LCPC (LCPC Box) (Roussel, 07) | - | |
| | Essai à boîte en L (L-Box) (NF EN 12350-10) | $PL1 \geq 0.8$ à 2 barres $PL2 \geq 0.8$ à 3 barres | |

| | | | |
|---|---|--|--|
| Capacité de remplissage | Essai à la boîte en U (U-Box) (Hayakawa, 93) | Hauteur de remplissage ≥ 30 cm | |
| | Étalement au cône d'Abrams (Slump flow) (NF EN 12350-8) | $550 \leq SF1 \leq 650$ mm $660 \leq SF2 \leq 750$ mm $760 \leq SF3 \leq 850$ mm | |
| | Temps d'étalement (T_{500}) (NF EN 12350-8) | $VS1 < 2$ s $VS2 \geq 2$ s | |
| | Essai au caisson (Kajima test) (RILEM, 01) | $R > 60$ % | |
| Résistance à la ségrégation statique | Essai de stabilité au tamis (NF EN 12350-11) | $SR1 \leq 20\%$ $SR2 \leq 15\%$ | <p>Légende</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 Tamis 2 Fond du tamis 3 Récipient à échantillon 4 Balance |

| | | | |
|--|---|------------------------------|---|
| | Essai de la colonne (Otsukiet al., 96) | $G_{inf} - G_{sup} \leq 5\%$ |  <p>section supérieure</p> <p>11 cm</p> <p>section centrale</p> <p>5 cm</p> <p>section inférieure</p> <p>40 cm</p> |
|--|---|------------------------------|---|

5. GENERALITE SUR LE BETON RECYCLE

La réutilisation de ces déchets de démolition a été effectuée la première fois après la deuxième guerre mondiale en Allemagne 1964. Depuis cette date, plusieurs recherches ont été menées dans beaucoup de pays pour développer l'utilisation des déchets de démolition comme constituants de nouveau béton. Ces déchets peuvent être de béton démoli (déchets des éprouvettes écrasés dans laboratoire, déchets du bâtiment, des plates formes des aéroports en béton, chaussées des routes en béton etc.), déchets de brique du bâtiment, ou déchets des éléments de trottoir. Les granulats fabriqués par ces déchets sont dits : « Granulats Recyclés », et le béton fabriqué à base de ces granulats est dit : « granulats recyclés ».

Au 21^{ème} siècle, la protection de l'environnement et la gestion des déchets prennent une place de plus en plus importante, d'où la nécessité de l'emploi de matériaux recyclés dans le domaine des BTP.

5.1. Classification des déchets

Les matériaux de démolition peuvent être classés en quatre catégories selon leurs natures :

- Les matériaux de construction de bâtiments et ouvrages d'art, constitués de bétons armés ou non, sans enduit, ni plâtre, ni amiante, ou autres déchets industriels spéciaux,
- Les matériaux de construction de chaussées constitués de matériaux traités ou non aux liants hydrauliques, de matériaux traités aux liants hydrocarbonés, d'anciens blocages, de bordures en béton ou pierre naturelle, etc.,
- Des mélanges de matériaux composites (ossatures en béton, maçonnerie, ...) avec de faibles teneurs en plâtres, bois, plastique,

- Des mélanges hétérogènes avec des teneurs en matières indésirables (bois, plâtres, plastique, ...) supérieures à 10 %.

5.2. Définition des granulats de recyclage et artificiels

Les granulats sont produits en concassant et en recyclant des matériaux sur le site de démolition (comme le béton) ou en recyclant des sous-produits industriels (comme le laitier de haut fourneau ou les mâchefers). Après concassage, nettoyage et criblage, compte tenu de sa qualité particulière et des réglementations en vigueur, il est généralement utilisé pour des tâches spécifiques.

5.3. Les avantages des granulats recyclés

L'utilisation des granulats recyclés peut être bénéfique en terme :

- L'économie des ressources naturelles,
- Réduire la quantité et l'utilisation des décharges, ainsi que la protection des sols et de l'environnement,
- L'économie des carrières de matériaux naturels,
- Économiser sur les frais de transport car ce sont des matériaux « locaux »,
- Pour les gros granulats, l'utilisation d'agrégats recyclés permettra de réduire une partie du dioxyde de Carbone produit par le transport des agrégats.

5.4. Caractérisation des granulats recycle

Les granulats sont les principaux composants du béton (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages. Le choix des caractéristiques des granulats est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (Debbih, 12).

Pour obtenir une bonne qualité de béton contenant des granulats recyclés, il faut que ces derniers soient aussi de bonne qualité. Les propriétés acceptables des granulats sont un élément de base pour un béton recyclé de qualité. Cependant, les proportions adéquates de mélange et la méthode de production sont aussi importantes pour avoir la qualité recherchée du béton (Debbih, 12).

Les granulats recyclés, fabriqués à partir des déchets de démolition des constructions, ont plusieurs formes (Figure I.4) :

- un grain de gravier enrobé par la pâte de ciment,
- une pâte de ciment seule,
- un grain de gravier naturel.

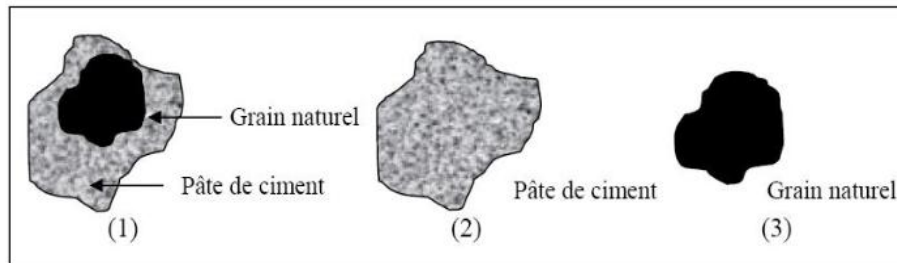


Figure I.4. Forme des granulats recyclés.

5.4.1. Granulométrie

Comme les graviers naturels, les granulats recyclés sont classés en fonction de leurs tailles : fins (sable) et grossiers (gravillons). Le mélange obtenu est composé de particules de 27 forme différente. Ces dernières constituent le squelette granulaire et garantissent la résistance mécanique du béton. La distribution des dimensions des particules a une influence directe sur la demande en eau, également sur la maniabilité et la durabilité. La répartition continue des grains fins et grossiers produit un béton cohérent, stable et durable avec moins de vides entre les éléments. Le contrôle de la qualité du squelette se fait au travers des courbes granulométriques. Une forme linéaire et inclinée de celles-ci montre une bonne répartition recommandée par la norme. Un décalage horizontal ou vertical à l'écart des formes linéaires montre un manque ou un excès de pourcentage d'une dimension (Falek, 17).

5.4.2. Masse volumique

La densité relative du granulat recyclé est moins grande que celle du granulat naturel (Chakradharar et al., 11). La littérature à ce sujet indique que la densité relative des granulats recyclés se situe généralement entre 2,4 et 2,5 (2400 à 2500 kg/m³) alors que les granulats naturels ont généralement une masse volumique de l'ordre de 2,75 (2750 kg/m³). La masse volumique plus faible du granulat recyclé est causée par la présence du mortier résiduel qui a une masse volumique plus faible que celle du granulat naturel et diminue par conséquent la masse volumique totale du granulat recyclé. Cette réduction de densité est fonction de la teneur en mortier résiduel (De Juan et al.,09 ; De Juan et al., 14).

5.4.3. La porosité (P)

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon la norme NF P18 554 (NF P18 554,79). La porosité des granulats recyclés est plus élevée que celle des granulats naturels courants, en raison de la présence de mortier collé au granulat naturel. La porosité de la fraction inférieure à 1 mm est de l'ordre de 14%, alors que celle de la fraction supérieure à 1 mm est de l'ordre de 11,5%. La porosité globale du sable recyclé a été évaluée à 13% (Mesbah, 97).

5.4.4. Absorption d'eau

Les études réalisées sur les granulats recyclés ont relevé des valeurs d'absorption d'eau beaucoup plus grande pour les granulats recyclés que les granulats naturels (Butler et al., 11). Les valeurs d'absorption des granulats recyclés se situent généralement entre 3 et 10% alors que pour un granulat naturel celles-ci sont souvent en dessous de 1%, mais peuvent augmenter jusqu'à une valeur de 5% (Tam et al., 08). Comme l'absorption du granulat est due en grande partie au mortier résiduel, une valeur d'absorption élevée indique la présence d'une grande teneur en mortier résiduel et par le fait même, un impact plus important sur les propriétés du béton préparé avec ce granulat. Cette propriété est particulièrement importante puisqu'elle affecte la quantité d'eau à ajouter au mélange pour une maniabilité donnée. Comme l'absorption du granulat recyclé est beaucoup plus grande que celle du granulat naturel, la quantité d'eau que celui-ci contient à l'état saturé est largement supérieure. Une correction de la quantité d'eau ajoutée au mélange est donc nécessaire pour maintenir le même rapport E/L.

5.4.5. La dureté

Lors de l'essai de résistance à l'abrasion (essai de dureté Los Angeles) tout le mortier résiduel lié au granulat d'origine se détache de celui-ci sous l'effet de l'abrasion (De Juan et al., 09). On observe ainsi une grande perte de masse pour le granulat recyclé ce qui explique des valeurs du coefficient Los Angeles plus élevés que ceux généralement relevés pour des granulats naturels (Chakradharar et al., 11). La résistance à l'abrasion est donc directement liée à la quantité du mortier résiduel (de Juan et al., 09).

6. INFLUENCE DES GRANULATS RECYCLE SUR LES PROPRIETE DES BAP

6.1. A l'état frais

La figure 5 montre l'évolution de l'affaissement du béton en fonction du temps. Pour les mélanges préparés uniquement avec des granulats naturels, la valeur initiale de l'affaissement est de 90 mm et diminue à 10 mm, 60 minutes après le mélange initial. Les mélanges préparés avec 100% de granulats recyclés à l'état sec ont donné des valeurs d'affaissement de 15 mm mesurées immédiatement après le mélange et des valeurs d'affaissement de 10 mm après un temps d'attente de 60 min (Figure I.5). Ces affaissements sont trop faibles par rapport à la valeur ciblée d'affaissement fixée dans la méthode de formulation, ce qui est dû à une plus grande absorption d'eau par les granulats recyclés. Pour les mélanges contenant 100% de granulats naturels, qui sont compacts et n'ont pas tendance à absorber de l'eau, la perte d'ouvrabilité n'est pas due à la cinétique d'hydratation du ciment, qui est accompagnée par des transformations se produisant au cours des processus physico-chimiques de l'hydratation du ciment. La perte d'ouvrabilité est importante pour les mélanges préparés avec des agrégats recyclés à l'état sec, lorsque l'essai d'affaissement est mesuré à des périodes de 15 et 30 minutes. Les tests de capacité d'absorption d'eau des granulats recyclés confirment cette hypothèse (voir tableau I.3). Les taux d'absorption sont cohérents avec ceux trouvés par (Tam et al.,08). Fonseca et al. (Fonseca et al,11) ont examiné l'évolution de l'absorption d'eau au cours du temps pour des granulats recyclés immergés dans l'eau. Ils ont conclu que c'est pendant les 5 premières minutes que l'absorption d'eau est la plus importante. En conséquence, il a été considéré que 90% du potentiel d'absorption maximum se produisait après 5 minutes. Les résultats présentés dans le Tableau I.3 montrent que la cinétique d'absorption des granulats recyclés est rapide dans les premières minutes où les granulats sont en contact avec l'eau. Après 30 minutes, la perte d'ouvrabilité, en termes de perte d'affaissement, semble s'atténuer avec un retour probable de l'eau au niveau du mortier, après quoi elle migre vers les agrégats recyclés pendant les 30 premières minutes. Ces agrégats fournissent, après un certain temps, une partie de leur eau au mortier qui, à son tour, est perdue par évaporation et hydratation. Ce cas a été observé en utilisant des agrégats légers (agrégats poreux) dans le béton (Chandra et al., 02).

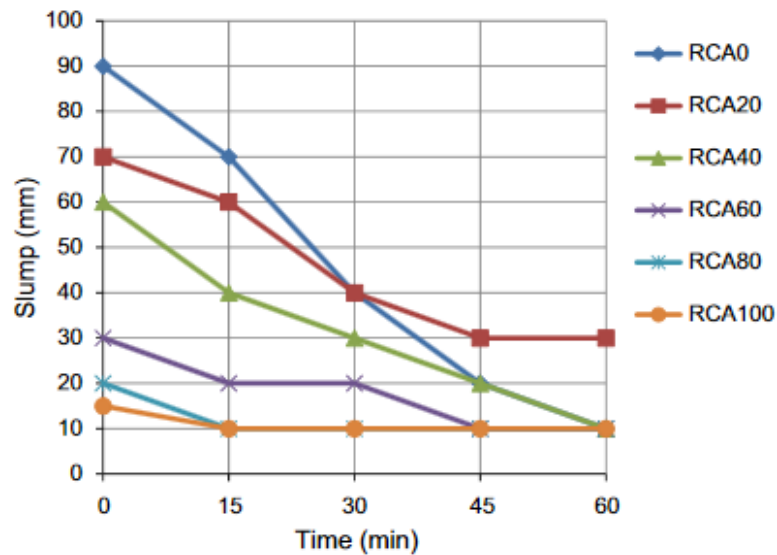


Figure I.5. Évolution de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA à l'état sec (Mefteh et al., 13).

Tableau I.3. Capacité d'absorption d'eau des granulats recyclés. (Mefteh et al., 13).

| Water absorption time | Water absorption (%) | |
|-----------------------|----------------------|----------|
| | Size fractions | |
| | 5/10 mm | 10/20 mm |
| 15 min | 6.1 | 3.2 |
| 30 min | 6.43 | 3.44 |
| 45 min | 6.92 | 3.92 |
| 60 min | 7.33 | 4.67 |

La figures 6 et 7 indiquent les changements d'affaissement des mélanges de béton préparés avec des granulats recyclés dans des conditions de pré-mouillage et de saturation-surface-sèche. Lorsque les granulats recyclés ont été utilisés dans un état de pré-mouillage, l'affaissement initial des mélanges varie de 90 mm pour un granulats recyclés à 20% à 150 mm pour un granulats recyclés à 100%. Ces affaissements diminuent lorsque le temps d'attente augmente, mais restent à des valeurs supérieures à celles des affaissements des mélanges de béton préparés avec seulement des granulats naturels. Par rapport à ces derniers, les granulats recyclés sont mélangés avec une quantité d'eau beaucoup plus importante, c'est-à-dire une quantité d'eau de gâchage de 189,19 L pour le mélange de béton et une quantité supplémentaire d'eau fournie par le processus de pré-mouillage de granulats recyclés, correspondant à 5,3% et 2,9% de la masse de granulats recyclés pour des fractions granulométriques de 5/10 et 10/20 mm, respectivement. Les courbes de granulats recyclés

utilisé en condition saturée-surface sèche, sont similaires à celles obtenues avec les granulats recyclés utilisés en pré-mouillage (Figure I.7). Cependant, ces courbes ne sont pas cohérentes avec la magnitude du taux de remplacement des agrégats recyclés. Par exemple, pendant la période d'essai à 60 min, le mélange RCA20 a donné des affaissements plus élevés que le mélange RCA60 (Figure I.7). De plus, la rugosité des granulats recyclés, qui a été intensifiée lors de la production des granulats (pendant le concassage), semble diminuer les propriétés d'écoulement du béton frais, ce qui augmente la limite d'élasticité du béton frais (Mefteh et al., 13).

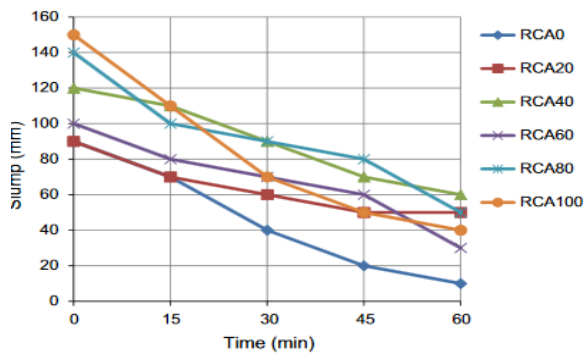


Figure I.6. Évolution de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA en pré-mouillage (Mefteh et al., 13).

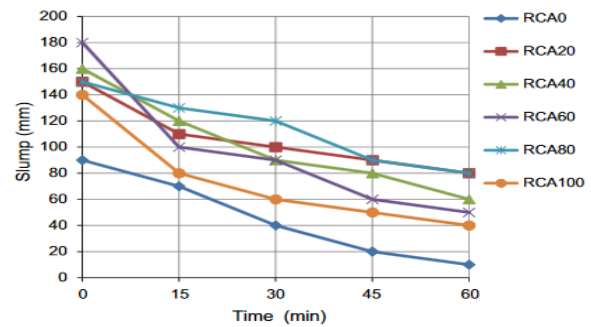


Figure I.7. Changements de l'affaissement des mélanges de béton pour RCA à l'état saturé en surface et sec (Mefteh et al., 13).

6.2. A l'état durci

6.2.1. Résistance à la compression

Les figures 8 et 9 montrent la résistance à la compression des mélanges de béton à l'âge de 7 et 28 jours. Ces figures sont en parfaite similitude, indiquant l'homogénéité des mélanges de béton. Il peut être observé à partir de ces figures que tous les échantillons de béton ont atteint la résistance à la compression cible de 25 MPa à l'âge de 28 jours (Figure I.9). Une résistance à la compression légèrement plus élevée a été observée dans les mélanges préparés avec 20 et 40% de granulats recyclés utilisés à l'état sec par rapport aux mélanges sans granulats recyclés. Le développement de la résistance est probablement dû à l'absorption de l'excès d'eau par les agrégats recyclés, car il est bien connu que la teneur en eau a un impact direct sur la résistance, la porosité et la durabilité du béton. Cependant, la résistance à la compression diminue lorsque les granulats recyclés sont utilisés à des taux de remplacement supérieurs à 40%. Dans l'ensemble, l'effet du conditionnement à l'humidité des granulats recyclés sur la résistance à la compression ne semble pas évident. En comparant les résultats obtenus sur la

résistance à la compression en fonction de l'état des granulats recyclés, ceux utilisés à l'état sec ont la meilleure résistance. Le conditionnement à l'humidité des granulats recyclés (dans les états pré-humide et saturé-séché en surface) semble avoir un effet négatif sur le développement de la résistance du béton, en particulier pour les mélanges préparés avec des taux de remplacement supérieurs à 60% de granulats recyclés. L'utilisation de granulats recyclés à l'état surface-saturé-sec (SSD) n'est pas préférée. La perte de résistance à la compression du béton préparé avec les granulats recyclés humidifiés jusqu'à l'état SSD peut être attribuée au ressuage du béton, qui a été observé pendant le compactage des cubes de béton sur la table vibrante. Une explication a été rapportée par (Poon et al., 04), où il a été démontré que pendant la vibration, l'eau à côté des particules de granulat recyclé peut se déplacer vers la matrice cimentaire, créant une région avec un E/C plus élevé donnant une plus grande porosité.

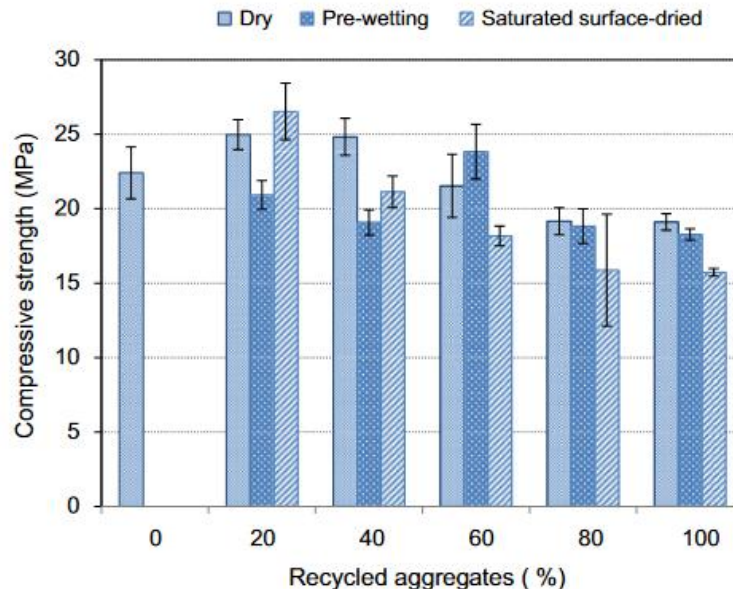


Figure I.8. Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la compression à l'âge de 7 jours (pour différentes conditions d'humidité de RCA).

Ce processus peut affaiblir la liaison entre les granulats recyclés et la matrice de ciment. Barra et Vazquez (Barra et Vazquez, 98) ont également souligné que lorsque les granulats recyclés sont saturés d'eau, la zone de transition inter faciale devient inefficace et a des effets importants sur les propriétés du béton. Les effets présentés ont tendance à agir comme le "maillon faible de la chaîne" par rapport à la pâte de ciment et aux particules de granulats. Il faut noter que les bétons de granulats recyclés ont deux zones inter faciales.

Une formée dans le granulat recyclé (liaison entre le gravier et le vieux mortier) et l'autre nouvellement créée entre le granulat recyclé (y compris le vieux mortier) et la nouvelle pâte de ciment. Ce cas particulier constitue une zone hétérogène qui peut affaiblir la résistance du béton (Mefteh et al., 13).

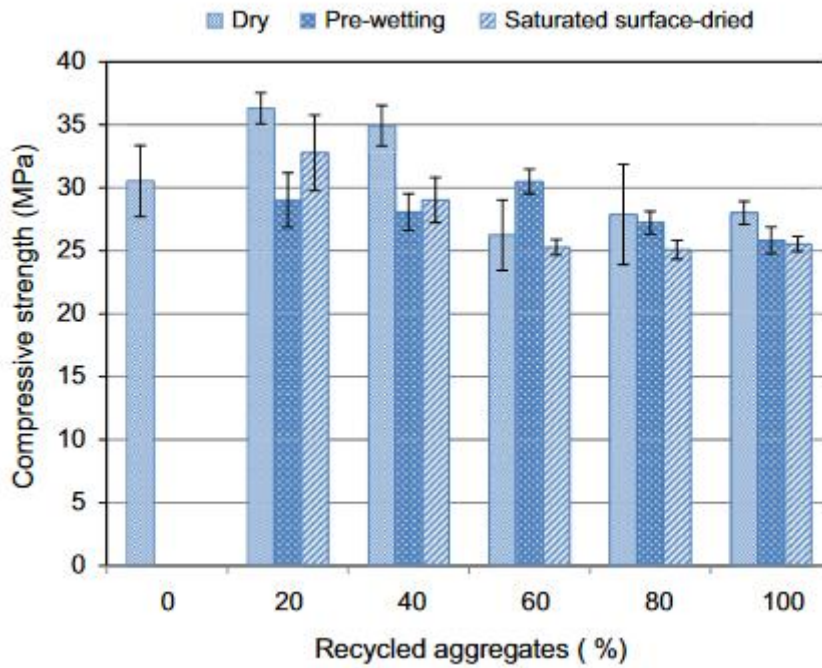


Figure I.9. Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la compression à l'âge de 28 jours (pour différentes conditions d'humidité de RCA) (Mefteh et al., 13).

6.2.2. Résistance à la traction

Les figures 10 et 11 montrent la résistance à la traction des mélanges de béton à l'âge de 7 et 28 jours. Ces chiffres montrent une tendance similaire aux chiffres de la résistance à la compression représentés sur les figures 8 et 9 à l'exception de la chute de la résistance qui est inférieure aux rapports entre la résistance à la traction et la résistance à la compression qui varient de 7 à 10%. Cela représente la parfaite homogénéité des mélanges de béton. De même que pour la résistance à la compression, les granulats recyclés utilisés à l'état sec donnent la meilleure résistance. Il est à noter que la résistance à la traction pour tous les mélanges de béton à 28 jours est bien supérieure à la caractéristique des résistances à la traction selon la norme européenne NF EN 206-1 (NF EN 206-1,12) pour une résistance à la compression souhaitée de 25 MPa. La Figure I.12 représente les relations entre la résistance à la compression et la résistance à la traction par fendage des échantillons de béton. L'équation et le coefficient de corrélation sont illustrés et présentés dans cette figure. La résistance à la

compression des mélanges de béton n'est pas strictement liée à celle de la résistance à la traction par fendage. Les coefficients de corrélation (R^2) sont de 0.08, 0.32 et 0.47 respectivement à l'état sec, pré-humide et saturé-surface-sec (SSD). Ces coefficients de corrélation (R^2) obtenus à partir de l'analyse de régression indiquent que la résistance à la traction par fendage de l'échantillon est supérieure à celle des autres échantillons.

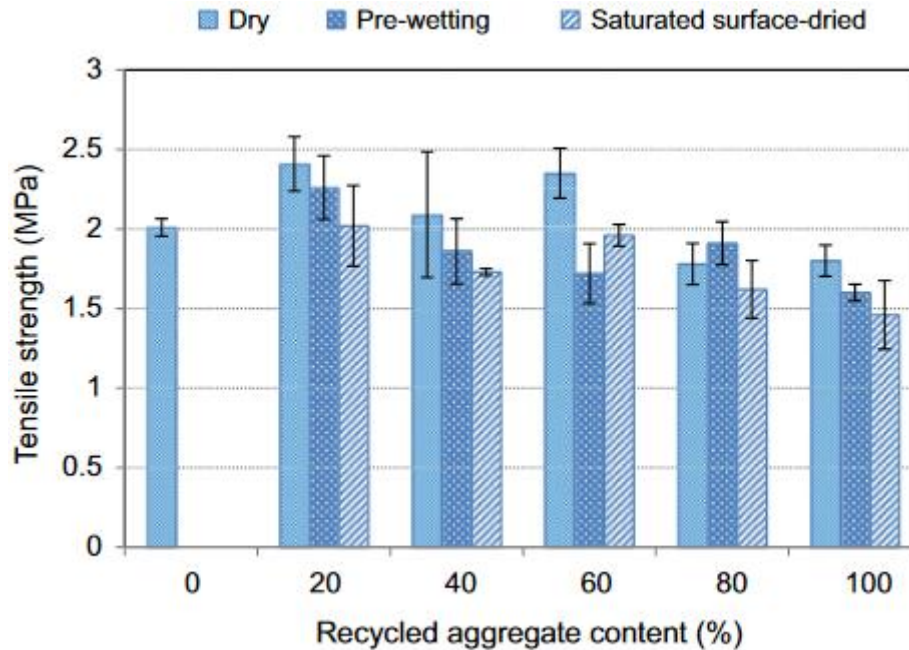


Figure I.10. Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la traction par fendage à l'âge de 7 jours (pour différentes conditions d'humidité du RCA).

Les corrélations entre la résistance à la compression et la résistance à la fissuration étaient faibles et ne sont pas significatives pour prédire une résistance à partir d'une autre résistance définie. Kou et Poon (Kou et Poon, 13) ont également trouvé une faible corrélation entre la résistance à la compression et la résistance à la fissuration. Les coefficients obtenus pour les granulats recyclés utilisés aux états de pré-mouillage et SSD sont meilleurs que les granulats recyclés utilisés à l'état sec. Ceci est lié à la dispersion des résultats de résistance en fonction des taux de remplacement des agrégats recyclés. La dispersion des résultats des mélanges utilisés avec des granulats recyclés à l'état sec est élevée par rapport aux mélanges de granulats recyclés dans des conditions de pré-mouillage et de SSD (Figure 9 et 11). Bien que ces résultats se situent dans une fourchette raisonnable, ils sont relativement faibles par rapport aux recommandations de la norme ACI 363R (comité ACI, 97 ; Katz, 03) montrées par la ligne représentant la relation ACI dans la Figure I.12. La norme ACI 363R donne l'équation suivante pour exprimer les relations entre la résistance à la compression (f_{sp}) et la

résistance à la traction par fendage (f'_c) du béton avec une résistance à la compression allant de 21 à 83 MPa pour 28 jours :

$$f(sp) = 0.59\sqrt{f(c)}$$

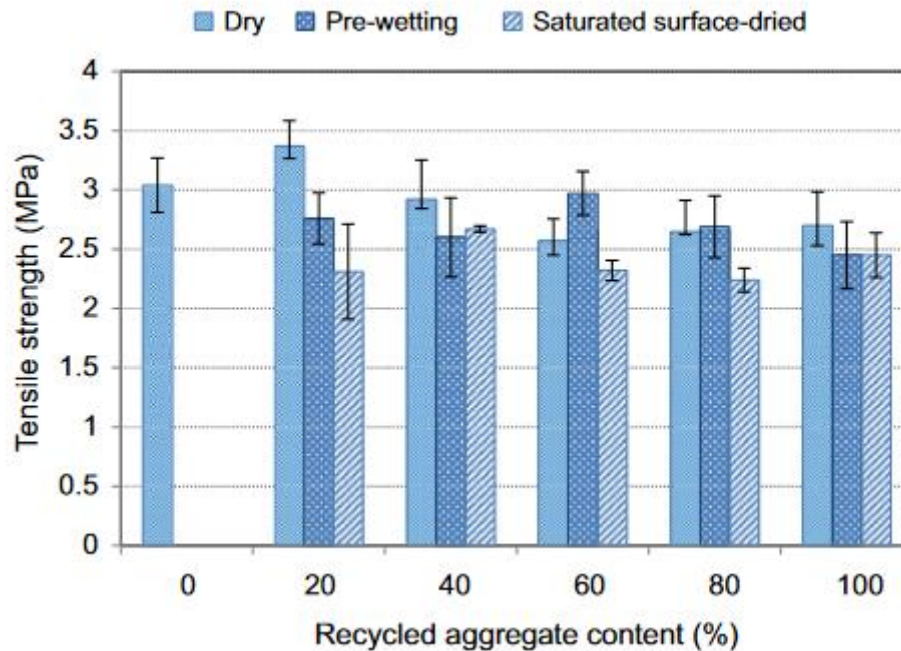


Figure I.11. Effet de la teneur en granulats recyclés sur la résistance à la traction par fendage à l'âge de 28 jours (pour différentes conditions d'humidité du RCA).

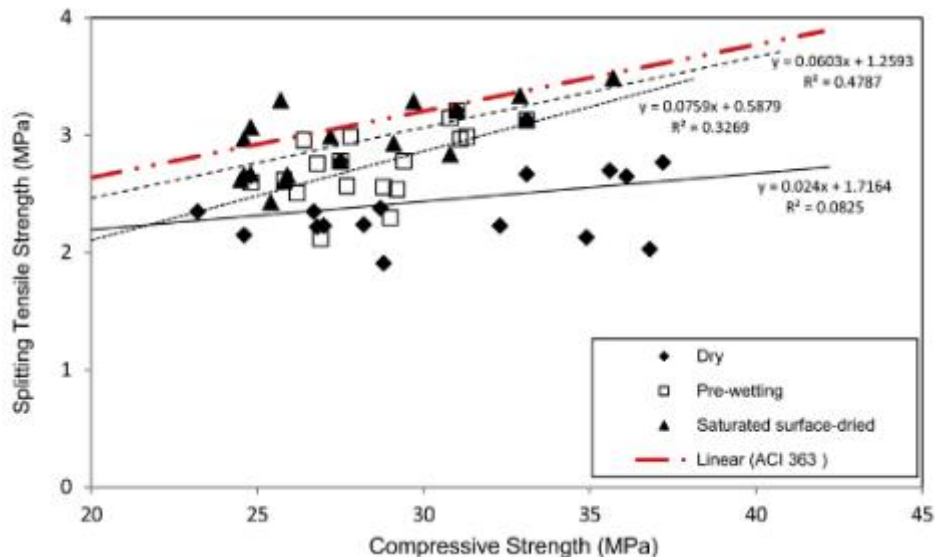


Figure I.12. Relations entre la résistance à la compression et la résistance à la fissuration à l'âge de 28 jours (Mefteh et al., 13).

7. CONCLUSION

Cette synthèse bibliographique a été menée afin de se familiariser avec les bétons autoplaçants. L'objectif étant de les définir, ainsi que leurs multiples propriétés, les caractériser, et résumer les principales méthodes de leur formulation.

Ensuite, nous avons consacré une partie de ce chapitre à la définition du déchet, du recyclage et ses différentes procédures afin d'enrichir les connaissances de nos lecteurs.

On a vu dans les diverses études, que les granulats recyclés se caractérisent généralement par une porosité plus élevée et une absorption d'eau plus importante en raison de l'ancien mortier cohérent à la surface. Le BAP à base de granulats recyclés à un comportement rhéologique comparable à celle de granulats naturels mais la résistance à la compression diminue.

Et on conclut que les déchets issus de la démolition et la réhabilitation des constructions est a priori une source très prometteuse en termes de substitution aux granulats naturels.

CHAPITRE II

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES EXPÉRIMENTALES

CHAPITRE II

MATÉRIAUX ET TECHNIQUES

EXPÉRIMENTALES

Le deuxième chapitre se base sur les caractérisations des matériaux et leur composition chimique, physique et minéralogique, on a présenté aussi les différentes méthodes expérimentales ainsi la formulation des BAP avec plusieurs pourcentages de graviers naturels et recyclés.

Sommaire

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCTION | 29 |
| 2. MATÉRIAUX UTILISÉS | 29 |
| 2.1. Le ciment | 29 |
| 2.2. Filler Calcaire | 30 |
| 2.3. Superplastifiant..... | 31 |
| 2.4. Les granulats..... | 31 |
| 3. MÉTHODE DE FORMULATION, CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES | 33 |
| 3.1. Procédure de formulation | 33 |
| 3.2. Séquences de malaxage de BAP | 35 |
| 3.3. Conservation des éprouvettes | 35 |
| 4. ESSAIS REALISÉS SUR LES BAP | 36 |
| 4.1. A l'état frais | 36 |
| 4.1.1. Essai d'étalement (flow test) | 36 |
| 4.1.2. Essai à la boîte en L (L-Box test)..... | 36 |
| 4.1.3. Essai de stabilité au tamis..... | 38 |
| 4.1.4. La masse volumique et air occlus du béton | 38 |
| 4.2. A l'état durci..... | 39 |
| 4.2.1. Résistance à la compression | 39 |
| 5. CONCLUSION | 40 |

Chapitre II Matériaux et techniques expérimentales

1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre on présente les caractéristiques des matériaux utilisés, les essais réalisés au laboratoire ainsi que la procédure expérimentale. Afin d'étudier une comparaison entre le comportement physique, chimique, minéralogique et mécanique d'un BAP R à base des granulats recyclés et BAP à base des granulats ordinaire à l'état frais et durci. En plus, il est nécessaire que les matériaux soient malaxés correctement afin de produire un mélange homogène.

2. MATERIAUX UTILISES

2.1 Le ciment

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment portland CEM I 42,5 R, fabriqué par la cimenterie de Biskra (SPA BISKRA CIMENT) (Figure II.1). La composition chimique, minéralogique ainsi que les propriétés physiques du ciment utilisé sont présentées dans les tableaux ci-dessous.



Figure II.1. Ciment CEM I 42,5 R

Tableau II.1. Propriétés physiques du ciment

| Propriétés | Unités | Résultats |
|---------------------------|--------------------|-----------|
| Masse volumique absolue | g/cm ³ | 3,10 |
| Masse volumique apparente | g/cm ³ | 0,98 |
| Refus au tamis 80µm | % | 1,05 |
| Refus au tamis 40µm | % | 13,14 |
| Consistance normale | % | 25 |
| Début de prise | min | 150-190 |
| Fin de prise | min | 220-250 |
| SSB | Cm ² /g | 3728 |

Tableau II.2. Composition chimique du ciment

| Composition chimique (%) | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------|------|
| Cao | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | Cl ⁻ | SO ₃ | Cao libre | PAF |
| 62,63 | 20,00 | 3,62 | 4,30 | 2,37 | 0,19 | 0,47 | 0,019 | 2,70 | 0,60 | 2,92 |

Tableau II.3. Composition minéralogique

| Minéraux | Désignation | Teneur en (%) |
|-------------------------------|-------------------|---------------|
| Silicate tricalcique | C ₂ S | 68,79 |
| Silicate bicalcique | C ₃ S | 8,33 |
| Aluminate tricalcique | C ₃ A | 5,57 |
| Ferro aluminate tétracalcique | C ₄ AF | 11,00 |

2.2. Filler Calcaire

Le filler calcaire (FC) utilisé dans cette étude qui est un carbonate de calcium sous forme de poudre, avec une teneur en CaCO₃ égale à 98 %. De dénomination commerciale Bexcar 10N, il est commercialisé par la société SNC Bexcar Benbrahim et associés à El-Khroub Wilaya de Constantine. Les propriétés physiques ainsi que la composition chimique sont données dans les tableaux II.4.

Tableau II.4. Composition chimique et propriétés physiques du filler calcaire

| | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------------|-------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------|-------|
| Composition chimique | CaO | 53,49 | Propriétés physiques | Masse volumique absolue | g/cm ³ | 2,80 |
| | Al₂O₃ | 0,02 | | Masse volumique apparente | g/cm ³ | 1,09 |
| | Fe₂O₃ | 0,27 | | Refus au tamis 40 | % | 14,81 |
| | Si₂O₃ | 0,05 | | Refus au tamis 80 | % | 2,9 |
| | MgO | 0,22 | | SSB | Cm ² /g | 5470 |
| | Na₂O | 0,07 | | | | |
| | K₂O | 0,01 | | | | |
| | Cl⁻ | 0,00 | | | | |
| | SO₃ | 0,00 | | | | |
| PAF | 43,29 | | | | | |

2.3. Superplastifiant

Pour maintenir un état de fluidité adéquat pour les BAP, on a utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau de dénomination commerciale POLYFLOW LSR 8800. C'est un superplastifiant polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de polycarboxylate commercialisé par l'entreprise SOLU EST (Annaba). Les caractéristiques techniques de l'adjuvant sont données dans le tableau II.5.

Tableau II.5.Caractéristiques techniques

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Densité | 1,07 ± 0,02 |
| PH | 5 à 5,5 |
| Teneur en ions CL⁻ | ≤ 0,1 % |
| Teneur en Na₂O | ≤ 1 % |
| Extrait sec | 29% à 2% |

2.4. Les granulats

Deux sables naturels ont été utilisés dans ce travail, le premier est un sable roulé (0/2) qui provient de la région de Tébessa. Le deuxième, est un sable de carrière (0/4) provenant de l'entreprise nationale des granulats (ENG) d'El-khroub -Constantine.

Pour les gros granulats, nous avons utilisés un gravier naturel (4/10) provenant de Ain Abid (Constantine), et un gravier recyclé qui provient de la démolition d'un ancien bâtiment. Quelques blocs de béton issu d'une ancienne dalle ont été récupéré après les avoirs préparés pour un concassage manuel à l'aide d'un marteau en les réduisant a une taille adaptée au concasseur a mâchoire (Figure II.2) disponible au laboratoire de génie civil à l'université d'Annaba. Les granulats ainsi obtenus sont séparés aux tamis 4 mm et 10 mm pour avoir la fraction granulaire 4/10.



Figure II. 2. Concasseur à mâchoire

Les caractéristiques physiques des différents granulats sont données dans le tableau II.6. Et les courbes granulométriques sont présentées sur la figure II.3.

Tableau II.6. Caractéristiques des granulats

| Caractéristiques | Unités | Sable de dune | Sable de carrière | Gravier naturel (4/10) | Gravier recyclé (4/10) |
|---------------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Masse volumique apparente | g/cm ³ | 1,48 | 1,61 | 1,50 | 1,18 |
| Masse volumique absolue | g/cm ³ | 2,62 | 2,68 | 2,67 | 2,42 |
| d/D | Mm | 0/2 | 0/4 | 4/10 | 4/10 |
| Module de finesse | - | 2,1 | 3,2 | - | - |
| Eq de sable | % | 78,90 | 66,20 | - | - |
| Bleu de méthylène | % | 0,75 | 0,75 | - | - |
| Coef d'absorption (24h) | % | 1,72 | 2,15 | 1,5 | 5 |
| Coef d'aplatissement | % | - | - | 14,70 | 10,83 |
| Micro Deval | % | - | - | 19 | 38,6 |
| Los Angeles | % | - | - | 24 | 40 |

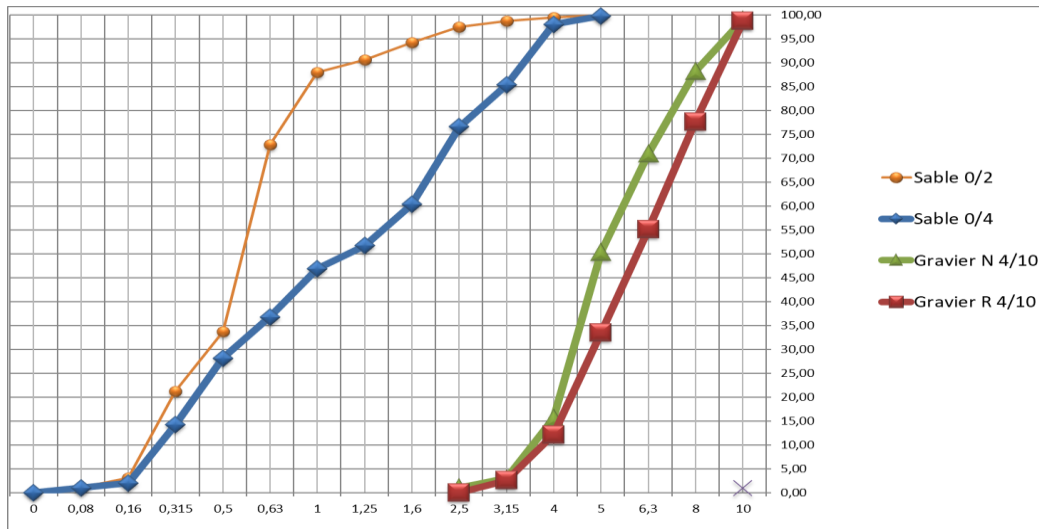


Figure II.3. Courbe granulométrique des granulats

3. MÉTHODE DE FORMULATION, CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES

3.1. Procédure de formulation

L'approche de formulation qui a servi à la confection des différents mélanges de cette étude est empirique basée sur une méthodologie expérimentale s'appuyant sur les recommandations de l'AFGC (AFGC, 2008) :

Le dosage en ciment est fixé en fonction de la classe de résistance visée qui est la classe C 30/37, ce dosage est de 350 kg/m^3 en respectant les normes en vigueur (NF EN 206-1, 2012).

- Le volume de pâte retenu est de 330 à 400 litres/m^3 , permet de favoriser l'écoulement du béton tout en réduisant les frottements entre les granulats ;
- Le dosage en fluidifiant est déterminé de façon expérimentale, sur la base d'essais d'étalement sur béton, de telle sorte que lorsqu'on varie le dosage en adjuvant, on obtient un étalement supérieur ou égal à 650 mm ;
- La quantité de particules inférieures à $125\mu\text{m}$ (ciment compris) doit être de l'ordre de 500 kg/m^3 . Le dosage retenu en filler calcaire est de 180 kg/m^3 , pour un liant équivalent constant est égale a 395 kg/m^3 , sachons que le coefficient d'activité (k) du filler calcaire est de $0,25$;
- L'optimisation du squelette granulaire a été réalisée à l'aide de la méthode de Dreux-Gorisse avec la prise d'un rapport G/S (proche de 1).

Le tableau II.7. Résume l'ensemble des formulations étudiées dans ce travail.

Tableau II.7. Composition des BAP

| BAP | C | FC | L _{eq} | E _{eff} | Eau totale | V/ pâte | SP (1,1%) | E/C | E/L | G/S | Sable 0/2 | Sable 0/4 | GN 4/10 | GR 4/10 | V/ total |
|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Unité | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | l/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | l/m ³ |
| Béton T | 350 | 180 | 395 | 189 | - | 374,39 | 5,83 | 0,54 | 0,48 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | 784,45 | - | 986,10 |
| BAP 25%GR | 350 | 180 | 395 | 189 | - | 374,39 | 5,83 | 0,54 | 0,48 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | 588,33 | 177,89 | 986,10 |
| BAP 50%GR | 350 | 180 | 395 | 189 | - | 374,39 | 5,83 | 0,54 | 0,48 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | 392,22 | 355,79 | 986,10 |
| BAP 75%GR | 350 | 180 | 395 | 189 | - | 374,39 | 5,83 | 0,54 | 0,48 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | 196,11 | 533,68 | 986,10 |
| BAP 100%GR | 350 | 180 | 395 | 189 | - | 374,39 | 5,83 | 0,54 | 0,48 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | - | 711,58 | 986,10 |
| BAP100% GR-Corrigé | 350 | 180 | 395 | - | 196 | 381,01 | 5,83 | 0,53 | 0,47 | 0,92 | 525,52 | 315,60 | - | 711,58 | 993,09 |

GN : granulats naturels

GR : granulats recyclés

Remarque : pour la dernière formulation (BAP avec 100% granulats recyclés) la quantité d'eau totale a été modifiée comme suit :

$$189 + 189(4,38\%) = 196 \text{ l/m}^3 \text{ avec :}$$

189 = quantité d'eau initiale

4,38% = quantité d'eau qui a été absorbé par les granulats à t= 20 minutes.

3.2. Séquences de malaxage de BAP

Le malaxage des bétons a été fait dans une bétonnière électrique à axe incliné (Figure II.4), de capacité 30 litres, au laboratoire de génie civil de l'université d'Annaba. Le temps de malaxage est de 5 minutes. La séquence de malaxage est la suivante :

- Introduction des matériaux dans la bétonnière, en commençant par l'ordre suivant (gros granulat naturel ou recyclé, sable carrière, sable de dune, ciment, addition minérale et malaxage à sec pendant 1 min ;
- Ensuite, on rajoute 75 % de la quantité d'eau et on malaxe le mélange pendant 2 min ;
- Pour finir, on ajoute les 25 % d'eau restante mélangé avec la totalité du superplastifiant et on malaxe pendant 2 min.



Figure II.4. Malaxeur de béton à axe vertical

3.3. Conservation des éprouvettes

Les éprouvettes sont coulées dans des moules métalliques sans vibration. En effet, le BAP est capable de s'écouler sous son propre poids. Pour cela, on utilise des moules de dimensions :

- Cubiques (10 x 10 x 10) cm destinés pour les essais de compression ;
- Cylindriques (11 x 22) cm destinés pour les essais d'absorption capillaire.

Le démoulage s'effectue après 24h \pm 4h et les éprouvettes sont conservées dans l'eau jusqu'au échéance des essais de caractérisation à l'état durci.

4. ESSAIS REALISES SUR LES BAP

4.1. A l'état frais

4.1.1. Essai d'étalement (flow test)

L'essai d'étalement réalisé à l'aide du cône d'Abrams (Figure II.5), permet de mesurer la capacité du matériau à s'écouler en milieu non confiné et sans obstacle. Le matériel utilisé pour réaliser cet essai est constitué d'un cône d'Abrams posé sur une plaque métallique. L'essai consiste à humidifier légèrement la plaque puis, à placer le cône au centre de la plaque, le maintenir fermement s'il n'est pas auto-stable. Remplir, le cône en une seule fois à l'aide d'un seau et soulever le cône de manière régulière et sans coups. Enfin on mesure le diamètre moyen de la galette d'étalement (Figure II.6) obtenue (2 mesures correspondant à 2 diamètres perpendiculaires). Plus le diamètre est grand, plus le matériau est fluide.

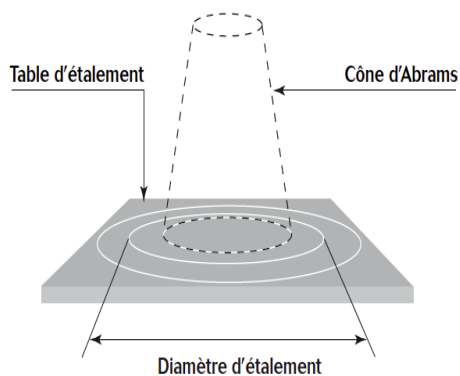


Figure II.5. Mesure d'étalement au cône d'Abrams



Figure II.6. Mesure de diamètre à l'essai au cône d'Abrams.

Cet essai peut éventuellement être associé à une mesure du temps écoulé pour obtenir un étalement de 50 Cm (T_{50}), ce qui fournit une indication sur le caractère visqueux du matériau. Selon la norme (NF EN2069,10). Il existe trois classes d'étalement définies comme suit :

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

4.1.2. Essai à la boîte en L (L-Box test)

La cohésion du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement ferraillée peut se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L (Figure II.7). Il

permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné, c'est-à-dire la ségrégation dynamique et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage.



Figure II.7. L'essai à la boîte en L (L-Box test).

La méthode consiste en premier à humidifier la boîte en L, après à remplir de BAP (environ 13 litres) la partie verticale de la boîte (hauteur de 600 mm), puis en levant une trappe, le béton s'écoule dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre et le diamètre des armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferrailage réellement présent dans la structure) (Figure II.8). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans les parties verticales (H1) et horizontale (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de remplissage $H2/H1$. Une valeur de ce rapport supérieure à 0,8 traduit un bon écoulement du BAP.

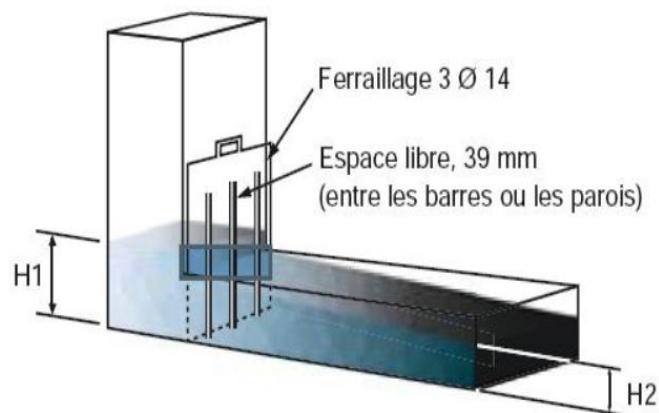


Figure II.8. Schéma de la boîte en L (L-Box test).

4.1.3. Essai de stabilité au tamis

La stabilité a été mesurée par l'essai de la stabilité au tamis (Figure II.9). 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.

Un échantillon de 10L de béton est mis au repos pendant 15 min. Il s'agit ensuite de déverser 4.8kg (tolérance $\pm 0,2$ kg) de l'échantillon sur un tamis. Après 2 min d'attente, le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé selon l'équation (éq II.1) :

$$\pi = \frac{P_{\text{laitance}} \times 100}{P_{\text{échantillon}}} \quad (\text{II.1})$$

- π : Pourcentage de stabilité.
- P_{laitance} : Pesée de laitance.
- $P_{\text{échantillon}}$: Pesée d'échantillon.



Figure II.9. Essai de stabilité au tamis

4.1.4. La masse volumique et air occlus du béton

La norme NF P18-443 (NF P18-443,93) a pour objet de décrire la détermination du pourcentage d'air occlus créé lors du malaxage dans un béton frais, à l'aide de l'aéromètre à béton (Figure II.10). Préalablement, la masse volumique du béton à l'état frais est déterminée avec l'aéromètre.



Figure II.10. Aéromètre à béton.

4.2 A l'état durci

Après avoir fini les essais sur bétons frais, les mélanges sont versés sans aucun mode de serrage dans des moules pour confectionner des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm et cylindriques 11x22 cm pour réaliser les essais de la compression.

4.2.1 Résistance à la compression

Les essais de la résistance à la compression sont effectués, conformément à la norme (NF EN 12390, 04), par écrasement des éprouvettes cubiques à différentes échéances 7, 28 et 90 jours (figure II.12). Les résultats sont obtenus par la moyenne de trois éprouvettes testées. La machine utilisée est une presse hydraulique d'une capacité de 2000 KN. La résistance à la compression est donnée par (eq II.2) ;

$$\sigma = \frac{P}{S} \quad (\text{II.2})$$

- σ : Contrainte de rupture (Nmm², MPa).
- P : Charge de rupture (N).
- S : Section de l'éprouvette (mm²).

Pour cet essai plusieurs conditions doivent être remplies :

- Les faces de l'éprouvette qui sont au contact de la presse doivent être bien planes, et perpendiculaires à l'axe de l'éprouvette.
- La ligne d'application de la force doit coïncider avec l'axe de l'éprouvette.
- La vitesse de la force d'application doit croître régulièrement, afin d'éliminer les effets de chocs et de fluage.



Figure II.12. Essai de compression

5. CONCLUSION

Les caractéristiques récoltées concernant les matériaux utilisés sont largement suffisantes pour réaliser notre étude expérimentale. En plus, il semble que la qualité de ces matériaux est acceptable au marché Algérien. D'autre part, les essais effectués permettent d'évaluer l'essentiel des propriétés des mélanges cimentaires confectionnés aux états frais et durci et de vérifier la faisabilité des BAP avec des granulats recyclés issus des bétons de démolition.

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSION

CHAPITRE III

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Ce chapitre présente les résultats et discussions qui ont été obtenus suite à l'étude de la substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé sur les propriétés des BAP à l'état frais et durci, et cela, pour différents taux de substitution de 25, 50, 75 et 100 %.

Sommaire

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCTION | 43 |
| 2. CINETIQUE D'ABSORPTION DES GRANULATS RECYCLES : METHODE DE PYCNOMETRE (EN 1097-6) FRACTION (4/10) | 43 |
| 3. CARACTERISATION A L'ETAT FRAIS | 44 |
| 3.1. L'étalement au cône d'Abrams..... | 44 |
| 3.2. Temps d'étalement (T ₅₀₀) | 45 |
| 3.3. Ecoulement à la Boite en L | 46 |
| 3.4. Stabilité au tamis | 47 |
| 3.5. Mesures de la masse volumique sur béton frais | 48 |
| 3.6. Mesures de la teneur en air occlus | 49 |
| 4. CARACTÉRISATION À L'ÉTAT DURCI | 49 |
| 5. CONCLUSION | 50 |

Chapitre III Résultats et discussions

1. INTRODUCTION

Après l'étude des différentes caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques du ciment, fines et granulats utilisés (granulats naturels et granulats recyclés), on traitera dans ce chapitre l'effet des granulats recyclés sur les propriétés des BAP. Tous les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur béton. Les premiers concernent l'étude des propriétés des BAP à l'état frais, afin d'estimer leur fluidité et leur ségrégation dynamique et statique (essais d'étalement au cône, de la boîte en L et de la stabilité au tamis). Par la suite, on réalise des essais mécaniques en compression pour différentes échéances.

2. CINÉTIQUE D'ABSORPTION DES GRANULATS RECYCLÉS : METHODE DE PYCNOMETRE (EN 1097-6) FRACTION (4/10)

L'étude de la cinétique d'absorption d'eau des granulats recyclés permet de déterminer l'évolution de l'absorption d'eau des granulats depuis l'état initial sec jusqu'à l'état final saturé avec la méthode de pycnomètre. Les résultats obtenus sont présentés dans la figure III.1.

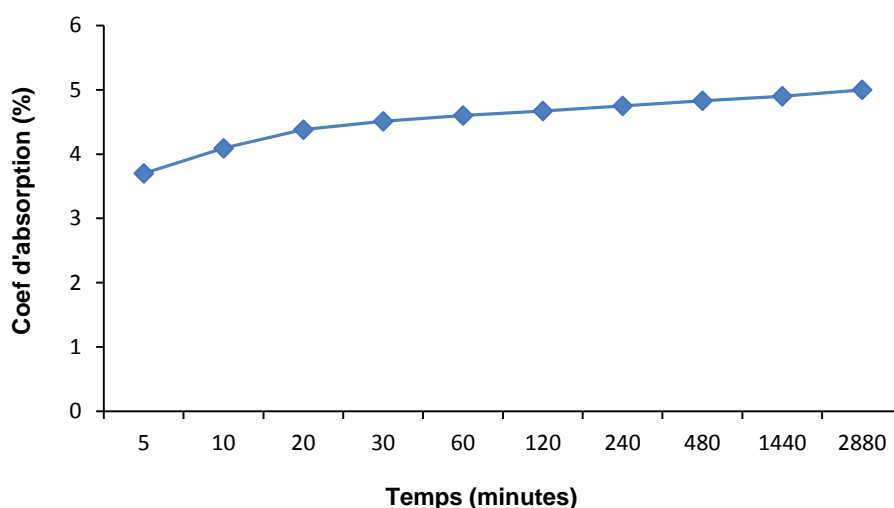


Figure III.1. Cinétique d'absorption des granulats recyclés

D'après ces résultats on constate que le coefficient d'absorption des granulats de béton recyclés augmente proportionnellement avec le temps. Néanmoins, on remarque qu'au-delà de 20 minutes d'immersion, l'évolution de l'absorption est faible et tend à se stabiliser. En effet,

l'absorption à 20 minutes est estimée à 4,38% tandis que celle à 24 et 48 heures sont respectivement de 4,9% et 5%.

3. CARACTERISATION A L'ETAT FRAIS

La plupart des formulations de BAP sont conçues actuellement de manière empirique. Cependant, on doit concilier deux caractéristiques contradictoires la fluidité et la viscosité pour limiter la ségrégation. Par conséquent les BAP doivent satisfaire plusieurs tests, à savoir (l'étalement au cône d'Abrams, la boîte en L et la stabilité au tamis). Les essais de caractérisation ont été effectués selon les procédures décrites au chapitre II.

3.1. L'étalement au cône d'Abrams

Comme nous avons vu au deuxième chapitre, l'essai d'étalement est le plus utilisé pour mesurer la capacité du matériau à s'écouler en milieu non confiné, les résultats obtenus dans cet essai sont présentés sur la Figure III.2.

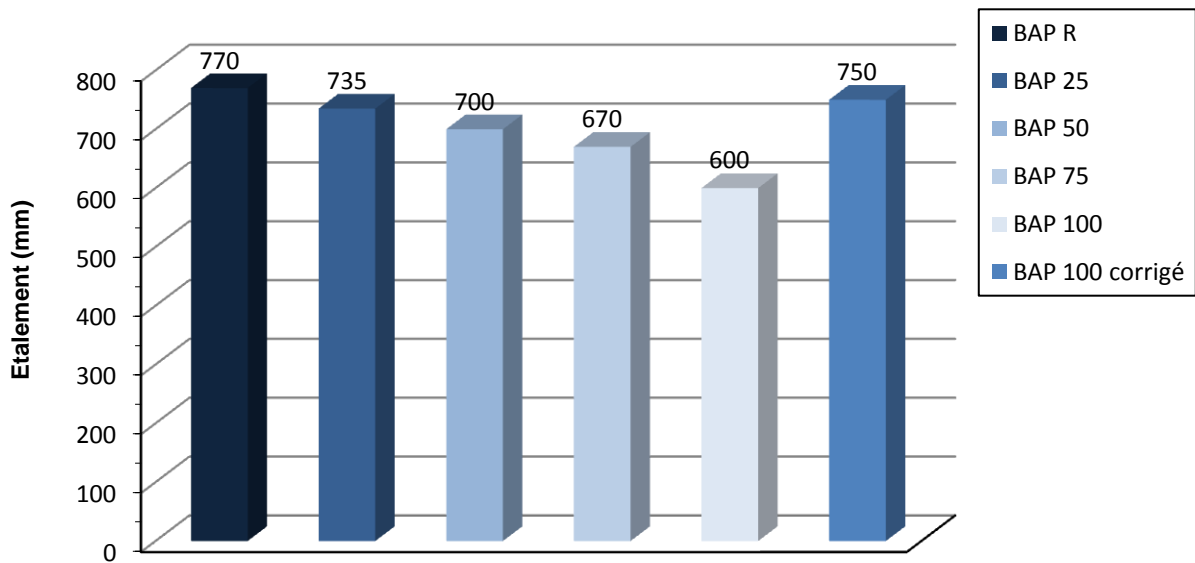


Figure III.2. Influence du taux de substitution en granulats recyclés sur l'étalement

Le BAP de référence (BAP R) présente un bon étalement qui s'inscrit dans le domaine des valeurs normalisées des BAP et qui est supérieur aux autres BAP à base de granulats recyclés. On constate d'après la figure III.2 que la substitution des granulats naturels par des granulats recyclés réduit l'étalement des BAP par rapport au BAP R et cela proportionnellement au taux de substitution. Cependant, pour des taux jusqu'à 75 % de substitution, la perte de la fluidité reste acceptable puisque le BAP 75 enregistre un étalement de 670 mm ce qui est d'après les normes, un étalement appréciable pour un BAP. Néanmoins, au-delà de 75 %, une chute de l'étalement est constatée pour une substitution totale. En effet, pour un taux de 100 % en

enregistre une diminution de l'étalement de 22 % ce qui rend la mise en œuvre du BAP très difficile.

La diminution de l'étalement en fonction de l'augmentation du taux de substitution des granulats naturel par des granulats recyclé est dû à l'absorption d'eau plus élevée en raison de la porosité qui est plus élevée dans les granulats recyclé (Khodair et Bommarreddy, 17).

Le BAP 100 se caractérise par un faible étalement, étant donné la quantité importante en granulat recyclé, il est claire qu'une quantité d'eau importante servant à la fluidification du béton a été absorbé par le volume important des granulats recyclé ce qui conduit à un faible étalement. Si on rajoute à la quantité d'eau efficace la quantité d'eau absorbé par les granulats recyclé il est probable d'améliorer la fluidité du BAP 100. En effet, en se basant sur la cinétique d'absorption des granulats recyclé (Figure III.1), le taux d'absorption à 20 minutes semble être un bon compromis. Afin de corriger le BAP 100, on rajout à la quantité d'eau efficace la quantité d'eau absorbé par les granulats au bout de 20 minutes.

D'après les résultats de la figure III.2, la BAP 100 corrigé à un étalement de 750 mm on constate ainsi, une amélioration de l'étalement du BAP 100 corrigé par rapport au BAP 100 (non corrigé) estimé à 25 %.

3.2. Temps d'étalement (T_{500})

Le temps T_{500} est réalisé conjointement avec l'essai d'étalement, il correspond au temps que met la galette de béton pour atteindre un étalement de 500mm, il nous renseigne sur la vitesse de déformation du béton. La figure III.3 représente l'évolution du T_{500} en fonction du taux de substitution des granulats recyclé.

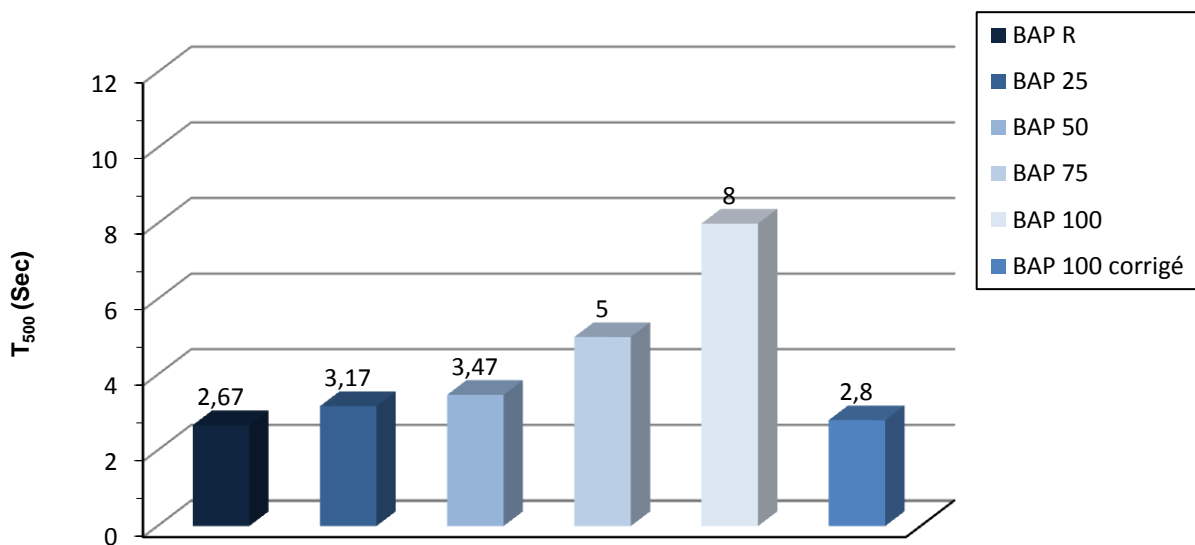


Figure III.3. Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur le T_{500}

On constate d'après la figure III.3 que l'ensemble des BAP ont satisfait au critère de T_{500} mm selon (EFNARC, 05) pour des valeurs inférieure à 7 s, à l'exception du BAP 100. L'augmentation du taux de substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé conduit à une augmentation du temps d'étalement et par la même occasion, une augmentation de la viscosité apparente des BAP. Cette augmentation est proportionnelle à l'augmentation du taux de substitution. Cependant, pour un taux de substitution de 100 %, le BAP 100 devient trop visqueux ce qui ralentit sa déformabilité et enregistre un temps d'étalement très important.

Le BAP 100 quia été corrigé de la même manière que celle déjà présenté au paragraphe précédent, montre une diminution importante du temps d'étalement estimé à 65 % ce qui classifie le BAP 100 corrigé de recevable selon la norme (EFNARC, 05).

3.3. Ecoulement à la Boite en L

La fluidité pour un béton autoplaçant n'est pas la seule condition à vérifier, en effet, un BAP doit pouvoir passer à travers un ferrailage plus ou moins dense sous l'effet unique de son propre poids. Afin de caractériser la capacité de passage, un essai à la boite en L avec une configuration à trois barres a été appliqué à l'ensemble des mélanges. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure III.4.

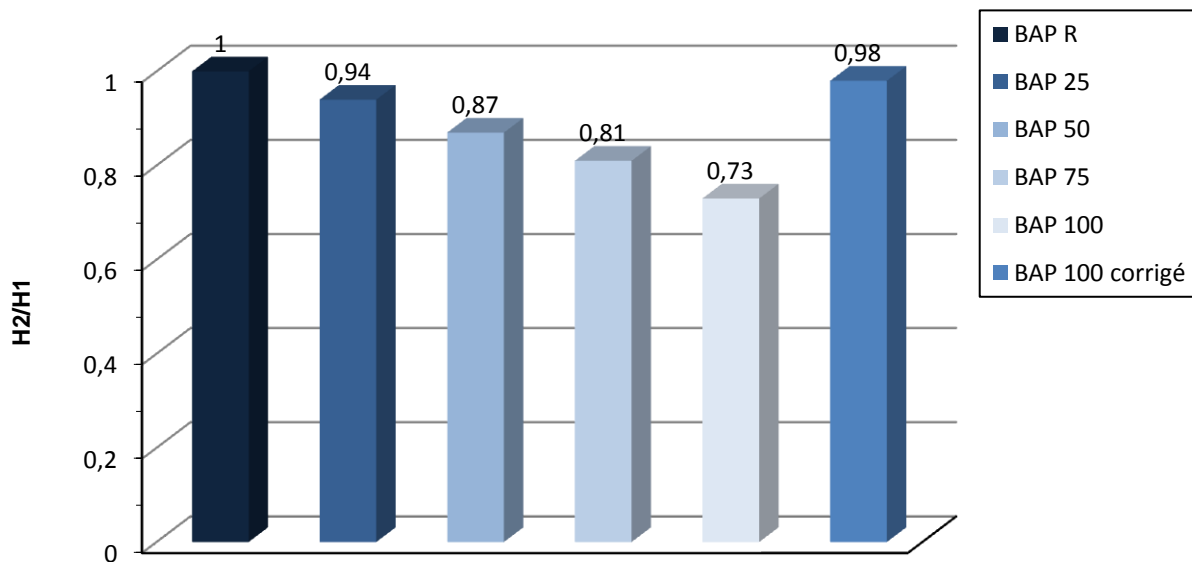


Figure III.4. Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur l'écoulement à la boite en L

La capacité de passage à la boite en L des différents mélanges est présentée sur la figure III.4, la majorité des BAP ont un taux de remplissage supérieur ou égal à 0,8 à l'exception du BAP 100 qui enregistre un taux de 0,73. En effet, ce béton à montré des signes de blocage en amont

des barres stoppant ainsi le passage du béton. Plus le taux de substitution augmente et plus la mobilité des BAP est réduite. En effet, Revilla-Cuesta et al. (Revilla-Cuesta et al., 20) rapportent une étude bibliographique sur les bétons autoplaçants fabriqués avec des granulats de béton recyclé. Les auteurs expliquent qu'un rapport E/C plus élevé devrait entraîner une plus grande fluidité. Cependant, des quantités croissantes d'eau sont nécessaires, en raison de l'absorption de l'eau la plus élevée des granulats de béton recyclé en comparaison avec les granulats naturels ce qui peut entraîner une faible fluidité et une capacité de remplissage inférieure lors du teste de la boîte en L.

Une fois corrigé, le BAP 100 présente une amélioration de la capacité de remplissage de la boîte en L estimée à 34 %, la quantité d'eau qui a servit à la correction à amélioré considérablement la fluidité du mélange ce qui à permit une meilleur mobilité du BAP.

3.4. Stabilité au tamis

Les résultats de la stabilité au tamis sont présentés sur la figure III.5.

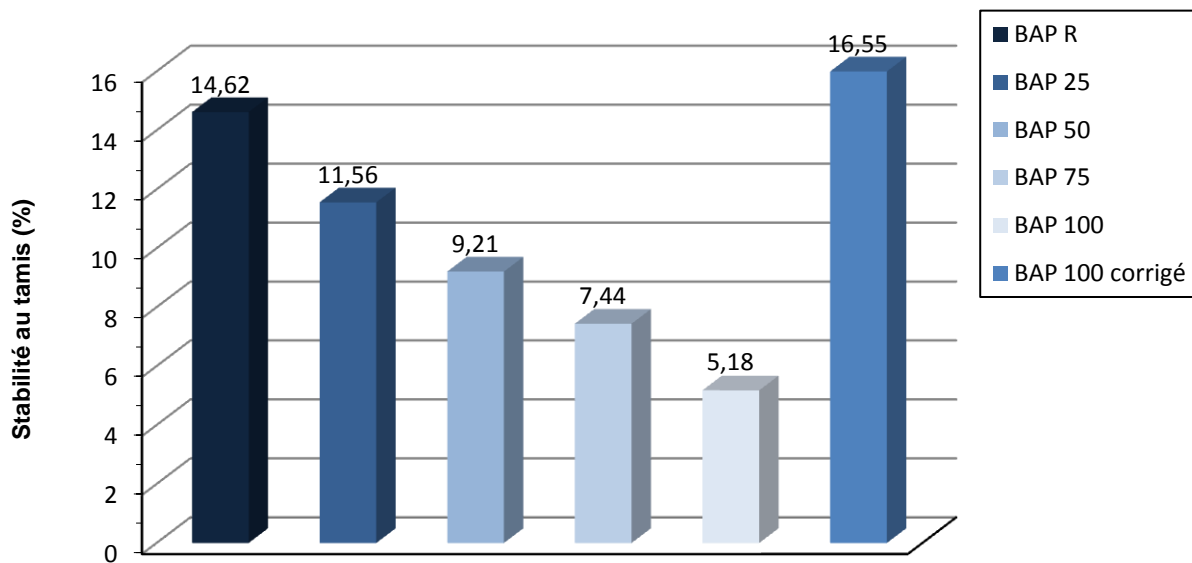


Figure III.5. Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur la stabilité au tamis

La stabilité au tamis d'un BAP représente la quantité de laitance dans le béton. D'après la figure III.5 ont constate que la substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé réduit la stabilité au tamis des BAP, autrement dit, elle réduit la quantité de laitance contenue dans ces bétons. Cette diminution de la laitance est proportionnelle au taux de substitution. Néanmoins, tous les BAP enregistrent des valeurs qui s'inscrivent dans les limites des normes (inférieure à 15 %).

La diminution de la stabilité en fonction de l'augmentation du taux de substitution s'explique par l'augmentation de la viscosité des BAP. En effet, pour une quantité d'eau fixe, les granulats de béton recyclé absorbent une quantité d'eau plus importante que celle absorbée par les granulats naturels, de ce fait, le BAP devient de plus en plus visqueux. Plus le taux de substitution augmente et plus le béton devient plus visqueux jusqu'à atteindre une stabilité au tamis critique, ce qui a été constaté pour le BAP 100 avec une stabilité de 5,18 %. Ceci peut d'ailleurs conduire à une qualité de parement assez mauvaise (Cussigh *et al.*, 03).

Le BAP 100 corrigé enregistre un pourcentage de laitance de 16,55 % ce qui est acceptable en vue des normes en vigueur. La quantité d'eau qui a servi à la correction a réduit la viscosité du mélange et a amélioré la stabilité du BAP.

3.5. Mesures de la masse volumique sur béton frais

La figure III.6 présente la masse volumique réelle des BAP de notre étude.

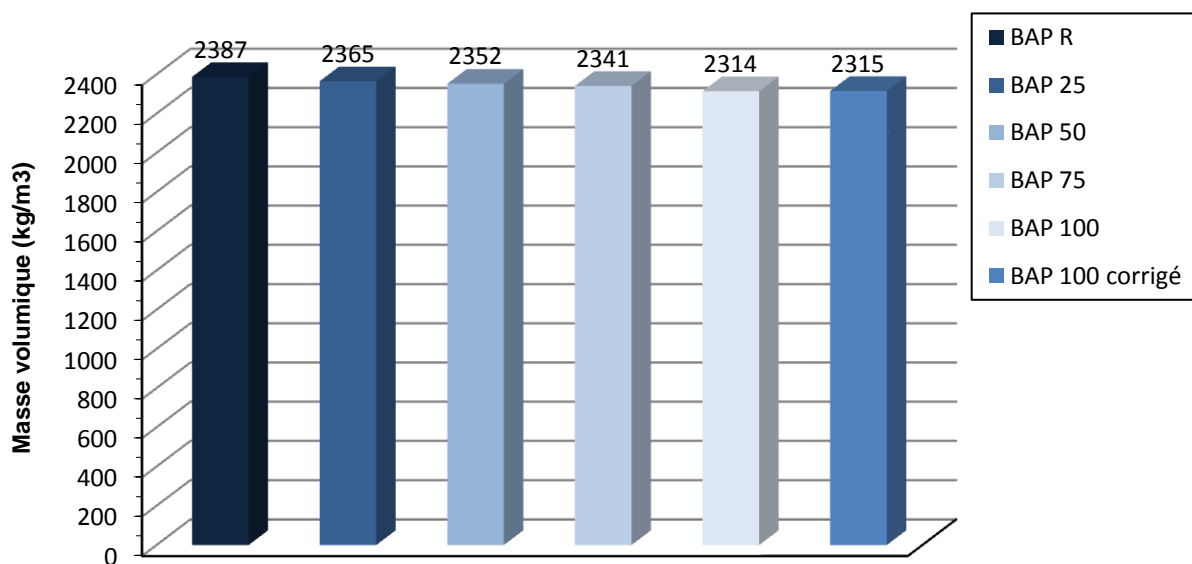


Figure III.6. Influence du taux de substitution en granulats recyclés sur la masse volumique réelle du béton

D'une manière générale, la substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé affecte très sensiblement la masse volumique des BAP, une très légère variation des masses volumiques est constatée. Néanmoins, la diminution des masses volumiques en fonction de l'augmentation des taux de substitutions peut être expliquée par le fait que la masse volumique absolue des granulats de béton recyclé est plus faible que celles des granulats naturels (voir Tableau II.6). Par conséquent, plus la quantité des granulats de béton recyclé augmente et plus la masse volumique du béton diminue.

3.6. Mesures de la teneur en air occlus

La figure III.7 présente les valeurs de l'air occlus des BAP de notre étude.

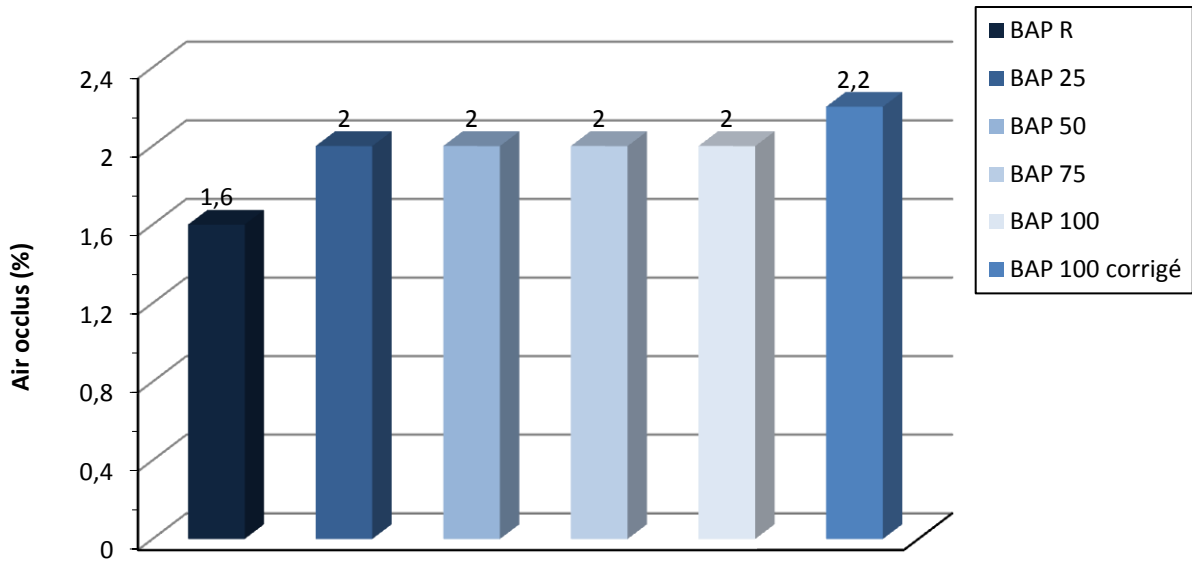


Figure III.7. Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur la teneur en air occlus
D'après la figure III.7 on constate une augmentation de la teneur en air occlus des BAP avec la substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé. Cependant, l'augmentation du taux de substitution n'affecte pas la teneur en air occlus dans les BAP. Cette augmentation de la teneur en air occlus est principalement due à la morphologie des granulats de béton recyclé. En effet, ces granulats se caractérisent par une porosité plus importante que celles des granulats naturels liée à la présence du vieux mortier qui reste collé au granulat.

Le BAP 100 corrigé enregistre la plus grande teneur en air occlus, liée d'un côté à la porosité importante des granulats recyclés et d'un autre côté à la quantité d'eau supplémentaire qui a été rajoutée au mélange pour la correction, rappelant que cette eau est destinée à l'humidification des granulats de béton recyclé et qui va créer par la suite une porosité additionnelle.

4. CARACTÉRISATION À L'ÉTAT DURCI

Le comportement à l'état durci se rapporte essentiellement aux résistances à la compression à 2, 7 et 28 jours. La figure III.8 présente la résistance mécanique à la compression des BAP aux différentes échéances.

D'après la figure on constate une diminution des résistances mécaniques en fonction de l'augmentation des taux de substitution des granulats naturels par les granulats de béton recyclé et cela pour les différentes échéances.

Cela pourrait être attribué d'après Mohammed et Najim (Mohammed et Najim, 20) à la faible résistance des granulats de béton recyclé par rapport aux granulats naturels en plus de la liaison entre la surface du granulats recyclé et le nouveau mortier c'est-à-dire une zone de transition plus faible par rapport au granulats standard. Il peut s'agir de points d'amorçage de défauts et de fissures qui accélèrent la distribution des fissures dans la nouvelle zone de transition, puis dans le corps en béton.

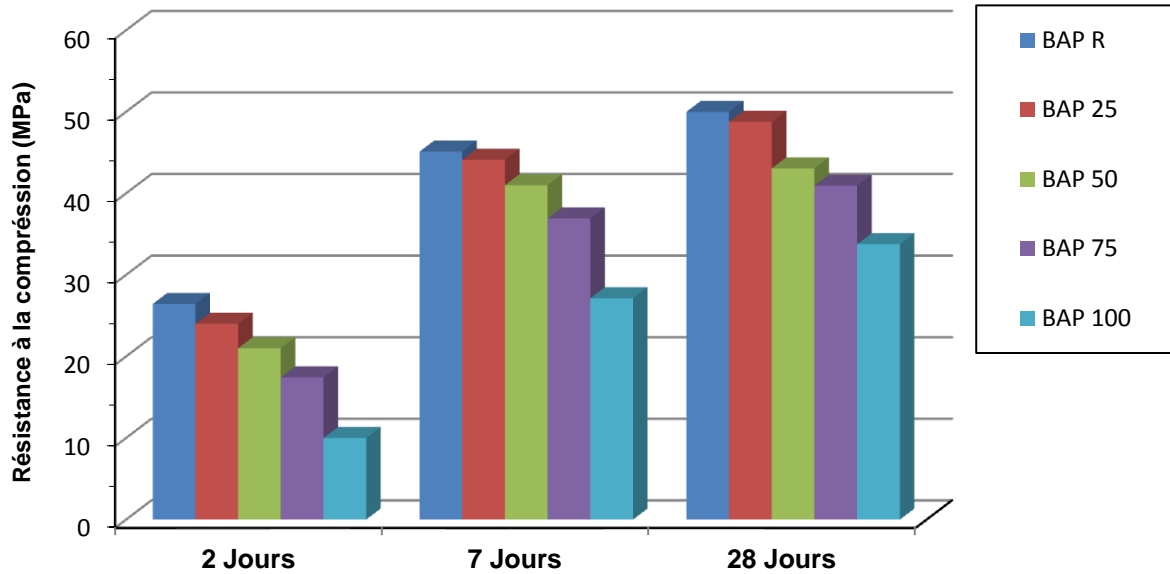


Figure III.8. Influence du taux de substitution en granulats recyclé sur les résistances mécaniques en compression

5.CONCLUSION

D'après les résultats obtenus au cours de cette étude, nous pouvons conclure que :

- La substitution des granulats naturels par des granulats recyclé réduit l'étalement des BAP par rapport au BAP de référence et cela proportionnellement au taux de substitution. De plus, l'augmentation du taux de substitution conduit à une augmentation du temps d'étalement et par la même occasion, une augmentation de la viscosité apparente des BAP ;
- La substitution des granulats naturels par des granulats recyclé réduit la capacité de remplissage des BAP en milieu confiné et en présence d'obstacles ;
- La substitution des granulats naturels par des granulats de béton recyclé réduit la stabilité au tamis des BAP, et peut entraîner pour un taux de 100 %, une mauvaise qualité de parement ;

- L'augmentation de la substitution des granulats naturels par les granulats de béton recyclé entraîne une augmentation de la teneur en air occlus des BAP ;
- L'augmentation des taux de substitution des granulats naturels par les granulats de béton recyclé engendre une diminution des résistances mécaniques pour les différentes échéances.

Pour conclure, il est parfaitement faisable de fabriquer un béton autoplaçant qui respecte l'ensemble des critères d'autoplaçance avec des granulats de béton recyclé en substitution des granulats naturels traditionnellement utilisés dans les bétons. Et cela même pour une substitution totale de 100 % à condition d'effectuer une correction sur le dosage en eau.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude traite essentiellement la valorisation des granulats recyclés, elle a pour objectif la formulation d'un béton autoplaçant à base de granulats recyclés en substituant graduellement les GN par les GR. La substitution partielle ou totale des GN par les GR présente une nouvelle source d'approvisionnement des chantiers en granulats. Cette substitution permet d'alléger l'exploitation excessive des gisements naturels (carrières et rivières...) donc une économie en matériaux naturels. Et d'étudier une comparaison entre le comportement mécanique d'un BAP R à base de granulats naturels et un BAP à base de granulats de béton recyclé à l'état frais et l'état durci. Nous avons abouti aux conclusions suivantes :

- La substitution des granulats naturels par des granulats recyclés réduit les propriétés rhéologiques à l'état frais des BAP tels que l'étalement, la capacité de remplissage à la boîte en L et la stabilité au tamis ;
- Les granulats recyclés se caractérisent par une absorption d'eau importante, due à la présence du vieux mortier, dont il faut en tenir compte lors du dosage en eau, soit en augmentant ce dernier soit en pré-mouillant les granulats pour éviter une dégradation des propriétés autoplaçantes ;
- L'augmentation des taux de substitution des granulats naturels par les granulats de béton recyclé engendre une diminution des résistances mécaniques pour les différentes échéances.

Pour conclure, nous estimons qu'il est réalisable de fabriquer des BAP avec des granulats recyclés en assurant les propriétés autoplaçantes et des résistances mécaniques en compression requises. Cependant le taux de substitution des GN par les GR, est un facteur déterminant.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

A

Association Française De Génie Civil, (2002). « AFGC », Bétons autoplaçants – Recommandations provisoires, p63.

Ali-boucetta T, (2004). Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances, thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba.

Amina Debbih, (2012)."Formulation d'un béton auto plaçant à base de granulats recyclés, laitiers et la pouzzolane naturelle. Mémoire de magistère." Page 45.78.81.

ACI Committee 363R-92 Reapproved 1997, (1997). State-of-the-Art Report on High-strength Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., USA.

AFGC. (2008). Association française de Génie Civil, Recommandations provisoires pour l'emploi des Bétons Autoplaçants, Paris, 2ème édition, AFGC, 64 p.

B

Bouchemal Naas, (2013). Formulation d'un béton autoplaçant à base de granulats recyclés, master 2, université universite ziane achour de djelfa.

Beton-Bap.Blogspot, (2015). Méthode de formulation diponible sur : [Http://beton-bap.blogspot.com](http://beton-bap.blogspot.com).

Butler, L., West, J. S. et Tighe, S. L. (2011)."The effect of recycled concrete aggregate properties on the bond strength between RCA concrete and steel rein for cement."Cement and Concrete Research, volume 41, N° 10, p. 1037-1049.cité par Boulay-vincent-MScA-2014.pdf

Barra de Oliveira, M., Vazquez, E., (1998).Properties of concretes with recycled aggregates : influence of properties of the aggregates and their interpretation. In : Proceeding of the International Symposium on Sustainable Construction : Use of Recycled Concrete Aggregate, pp. 19e30. London, UK. BS 812 : Part 112, 1990. Methods for Determination of Aggregate Impact Value (AIV). British Standard Institution, London, United Kingdom.

C

Chakradharar M., Bhattacharyya, S. K. et Barai, S. V. (2011)."Influence of field recycled coarse aggregate on properties of concrete."Materials and Structures/ Matériaux et Constructions, volume 44, numéro 1, p. 205-220.cité par Boulay-vincent-MScA-2014.pdf

Chandra, S., Berntsson, L., (2002).Light weight Aggregate Concrete, first ed. Noyes Publications, New York, USA.

Cussigh, F., Sonebi, M. et DE Schutter, G. (2003). Project testing SCC-segregation test method, Proceedings of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Island, p.311-322.

D

De Larrard, F. and Sedran, T. (1994) Optimization of Ul-tra-High-Performance Concrete by the Use of a Packing Model. Cement and Concrete Research, 24, 997-1009.

De Juan, M. S. et Gutierrez, P. A. (2009). "Study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate."Construction & Building Materials, volume 23, N° 2, p. 872-7. Cité par Boulay-vincent-MScA-2014.pdf

E

Efnarc (2005), Specification and guidelines for self-compacting concrete, Association House, Farnham, U.K., 2005, p. 68.

F

Fares H (2009). Propriétés mécaniques et physico-chimique de bétons autoplaçants exposé à une température élevée, thèse de doctorat à l'université de Cergy Pontoise, Décembre 2009.

Falek K., (2017). Etude de comportement mécanique et rhéologique d'un béton à base de granulats recyclés". Thèse de doctorat. Page 25.27.36. <http://hdl.handle.net/123456789/5751>

Fonseca, N., De Brito, J., Evangelista, L., (2011). The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste. Cement and Concrete Composites 33, 637e643.

G

Guide béton.com

H

Holcim, (2021). Les constituants du béton : les additions et les ajouts 22 mars 2019 disponible sur : <https://www.holcim.be/fr/les-constituants-du-beton-les-additions-et-les-ajouts>

K

Khayat K.H, (1998). Use of viscosity-modifying admixture to reduce top-bar effect of anchored bars cast with fluid concrete", ACI Material journal, vol.95 N°2, march-avril.

Kou, S.C., Poon, C.S., (2013). Long-term mechanical and durability properties of recycled aggregate concrete prepared with the incorporation of fly ash. Cement and Concrete Composites 37, 12e19.

Katz, A., (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research* 33, 703e711.

Khodair, Y., & Bommareddy, B. (2017). Self-consolidating concrete using recycled concrete aggregate and high volume of fly ash, and slag. *Construction and Building Materials*, 153, 307-316.

M

Mouret, M., Sbartai, M. et Picot, J. (2004). Caractérisation des grandeurs rhéologiques et d'ouvrabilité : recherche de corrélation multi-échelle, Rapport de recherche, Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions, Toulouse, p.35.

Mesbah H.A, (1997). "Amélioration du comportement des mortiers à base de granulats recyclés par adjonction de fibres", thèse de doctorat de l'Université d'Artois.

Meftah Houria, Kebaili Oussama, Oucief Houcine, Berrdjem Layachi, Arabi Nourredineet, (2013). Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete.

Mohammed, S. I., & Najim, K. B. (2020). Mechanical strength, flexural behavior and fracture energy of Recycled Concrete Aggregate self-compacting concrete. In *Structures* (Vol. 23, pp. 34-43). Elsevier.

N

NF EN 1008. (2003). Eau de gâchage pour bétons-spécification d'échantillonnage, d'essais et dévolution de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux de processus de l'industrie du béton, tel que de gâchage pour béton.

NF EN 206-1. (2012). Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.

NF P18 554. (1979). Granulats. Mesures des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des granulats. (D supérieur ou égal à 4 mm).

NF EN 206-1. (2012). Béton – Partie 1 : Spécification, performances, production et conformité.

NF EN 206-9. (2010). Béton-6 partie 9 : règle complémentaire pour le béton autoplaçant.

NF EN 12350-7(2001). Essai pour béton frais-partie 7 : teneur en air-méthode de la compressibilité

NF EN 12390-3. (2012). Essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes.

P

Philippe TURCRY, (2004). Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation, thèse doctorat l'école centrale de Nantes.

Petersson Ö., Billberg P. And Van B.K., (1996). "A model for Self- Compacting Concrete", International Rilem Conference on „Production methods and workability of concrete“, RILEM Proceedings 32,

Poon, C.S; Shui, Z.H., Lam, L., Fok,H., Kou, S.C., (2004). Influence of moisture states of naturel and recycled demolition aggregates on the slump and compressive strength of concrete. Cement and Concrete Research 34, 31e36.

R

Revilla-Cuesta, V., Skaf, M., Faleschini, F., Manso, J. M., & Ortega-López, V. (2020).Self-compacting concrete manufactured with recycled concrete aggregate: An overview. Journal of Cleaner Production, 262, 121362.

S

Sedran, (1995). « Les bétons autonivelans, synthèse bibliographique », Bull. liaison. Labo. Petch –196-Mars –avr. 1995- Réf. 3889.pp53-60.

Seridi S, (2014). « Comportement de BAP a haut température » mémoire de master en Génie Civil 2013/2014.Cité par KOUICI ABIR.

T

Tam V.W.Y., Wang K. and Tam C.M., (2008). "Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis", Journal of , **152** (2), pp. 703-714.

Turcry, P. (2004). Retrait et fissuration des bétons autoplaçants : Influence de la formulation. Thèse de troisième cycle, École Centrale de Nantes.

Y

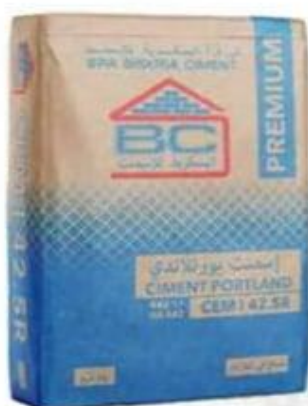
Yurigi M., Sakata N., Iwai M., Sakai G. (1993), « *Mix design for highly workable concrete* », Conference concrete 2000, Dundee, 7-9 September, 11p.

ANNEXES

Annexe - A : Fiche technique du ciment



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5R

CIMENT PORTLAND

CEM I 42.5R Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid

CEM I 42.5R :

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013)

DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions de haute résistance a jeune âge, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- Le bétonnage dans des coffrages coulissant, surtout en période hivernale.
- Béton résistant au gel en présence de sels de déverglaçage.
- Tabliers de ponts.
- Béton pompé.
- Béton projeté



✓ APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Béton armé à haute résistance.
- Béton autoplaçant.

🪣 FORMULATION CONSEILLÉE

| | | | | |
|------------------------------|---|--|---|-----------------------|
| | ciment  | Sable (sec) 0/5  | Gravillons ^(sec) 8/15mm 15/25mm  | Eau (litre) |
| Dosage pour béton | 50k X1  | + X7  | + X5  + X4  | + 2 |
| | ciment  | Sable Correcteur 0/1mm  | Sable (sec) 0/4mm  | Eau (litre) |
| Mortier de briquetage | 50k X1  | + X6  | + X9  | + 3 |
| Mortier de finitions | 50k X1  | + X9  | + X6  | + 3 |

Remarque: un bidon

🔍 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

| | |
|---|---------------|
| Analyses chimiques (%) | valeur |
| Perte au feu | 2.6 – 3.7 |
| Teneur en sulfates (SO ₃) | 2.2 – 2.8 |
| Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO) | 1.7 – 2.8 |
| Teneur en Chlorures (Cl ⁻) | 0.03 – 0.07 |
| Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%) | valeur |
| C ₃ S | 56 – 66 |
| C ₂ A | 5.1 – 7.2 |
| Propriétés physiques | valeur |
| Consistance normale (%) | 25.8 – 26.4 |
| Expansion à chaud (mm) | 0.25 – 1.0 |
| Temps de prise (min) | valeur |
| Début de prise | 150 – 190 |
| Fin de prise | 220 – 250 |
| Résistance à la compression | valeur |
| 2 jours (MPa) | 20 – 29 |
| 28 jours (MPa) | 42.5 – 52.5 |



SPA BISKRIA CIMENT
Adresse : Djar Belahrache
Branis . Biskra Algerie

Tel : +213 (0) 560 753 424
Fax : +213 (0) 33 62 73 92
contact@biskriaciment-dz.com
www.biskriaciment-dz.com

Annexe - B : Fiche technique du superplastifiant

Notice technique
Edition Octobre, 2013
Version 01,2013
POLYFLOW® LSR 8800



POLYFLOW® LSR 8800

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

Conforme à la norme NF EN 934.2 tab. 1.3.1 3.2

Présentation

POLYFLOW® LSR 8800 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de polycarboxylate. POLYFLOW® LSR 8800 ne présente pas d'effet retardateur.

Domaines d'application

POLYFLOW® LSR 8800 permet d'obtenir des bétons de très haute qualité

- ☞ POLYFLOW® LSR 8800 permet la fabrication de bétons plastiques à auto plaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- ☞ Dans les bétons auto plaçants, POLYFLOW® LSR 8800 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- ☞ POLYFLOW® LSR 8800 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

Caractères généraux

POLYFLOW® LSR 8800 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- ☞ Longue rhéologie (>3h),
- ☞ Robustesse à la ségrégation,
- ☞ Qualité de parement.

Caractéristiques

Aspect

Liquide brun clair

Condit

- ☞ Fûts de 220 kg
- ☞ Conteneur perdu de 1100 kg
- ☞ Vrac





Construction

SOLU EST ®
 Zone Industrielle Sidi Salem
 ANNABA 23000-ALGERIE
 Tél/Fax : +213(0)38 88 38 01
 Tél : 0560 91 53 30 /31 -32
 E.mail : solu-est@hotmail.fr
www.soluest-DZ.com

Stockage

Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C.
 POLYFLOW® LSR 8800 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.
 En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation

1 an en emballage intact

Données techniques

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| densité | 1,07 ± 0,02 |
| pH | 5 à 5,5 |
| Teneur en ions Cl- | ≤ 0,1% |
| Teneur en Na₂O éq. | ≤ 1% |
| Extrait sec | 29% à 2% |

Conditions d'application**Dosage**

Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1 % du poids du ciment ou du liant.

Mise en œuvre

POLYFLOW® LSR 8800 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.

Mentions légales

les propriétés énumérées sont seulement à titre de conseils et ne constituent pas une garantie de performance .L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Toutes nos fiches techniques sont mises à jour régulièrement, il est de la responsabilité de l'utilisateur d'obtenir la version la plus récente.