REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Thème

Effet des conditions de cure sur les propriétés des BAP à base de granulats recyclés

Présenté par

Boutaibi Yassine

Zeguai Mohamed El Hafed

Proposé et Dirigé par

Mme. Bachene Sara

Pr. Boukendakdji otmane

Promotion Juin 2022

Remerciements

Nos sincères remerciements vont aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.

Nous adressons nos sincères remerciements à nos promoteurs Mme BACHENE SARA et Pr BOUKENDAKDJI. O, qui sans eux se mémoire n'aboutira jamais. Nous les remercions énormément de nous avoir encadré, de nous avoir prêté main forte durant cette période difficile, de nos avoir consacré tout son temps, de nos avoir fait part de ses précieux conseils. Nous lui adressons toute notre profonde gratitude et notre reconnaissance pour toute l'aide qu'ils nous ont apportée pour la réalisation de ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement nos parents sans lesquels nous n'existerions pas et qui nous ont conduit jusqu'à l'âge adulte, pour leur patience à notre égard sans jamais douter de nos capacités.

Nous adressons nos remerciements à tous les enseignants ainsi qu'aux techniciens du Laboratoire du Génie Civil qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils, et leurs critiques ont guidé nos réflexions et ont accepté de répondre à nos questions durant toute la période de ce mémoire.

Dédicaces

Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.

Nous dédions ce modeste travail

A Ceux que nous aimons jusqu'à la frontière de l'imagination :

A nos chers grands-pères

A nos très chères grands-mères

A nos mères

A nos pères

A nos frères,

A nos sœurs,

A nos cousins

A nos amis (es)….

Yassine

Mohamed El Hafed

ملخص:

إن صناعة الخرسانة هي إحدى الصناعات الآخذة في الارتفاع في العالم، ويرجع استخراج المكونات الرئيسية لهذه الأخيرة، وهي الحصى والرمل، إلى العديد من الآثار السلبية على البيئة والاقتصاد والمجتمع. ومن ناحية أخرى، يتم الحصول على كميات كبيرة من نفايات الخرسانة من عمليات الهدم، لأسباب معيارية في مجال إعادة التدوير، ومن المتوقع أيضا أن تزداد حصة المجاميع المعاد تدويرها من سحق خرسانة الهدم في العقود القادمة. في هذا العمل، نفحص خصائص SLAPs المصنوعة من 50٪ من الرمال المعاد تدويرها (الفئة 3/0) عن طريق تغيير معدل استبدال مجاميع خرسانة الهدم المعاد تدويرها (الفئة 15/3) 0 إلى 100٪ مع 25٪ خطوة في درجات حرارة العلاج تختلف عن 20 و 40 درجة مئوية.

الكلمات الرئيسية: الخرسانة ذاتية الربط، الركام المعاد تدويره، خرسانة الهدم، درجة حرارة العلاج.

Résumé :

La fabrication du béton est une des industries qui est en hausse dans le monde et l'extraction des principaux composants de ce dernier, à savoir le gravier et le sable, est due à de nombreux négatifs sur l'environnement, l'économie et la société. D'autre part, de grandes quantités de déchets de béton provenant de démolitions sont obtenues, pour des raisons normatives dans le domaine du recyclage, la part des granulats recyclés issus du concassage de bétons de démolition est amenée elle aussi à augmenter dans les prochaines décennies. Nous examinons dans ce travail les propriétés des BAP fabriqué à base de 50% de sable recyclé (classe 0/3) en variant le taux de remplacement de granulats recyclé de béton de démolition (classe 3/15) de 0 à 100 % avec un pas de 25% dans des températures de cure différente de 20 et 40°C.

Mots clé : Béton autoplaçant, granulat recyclé, béton de démolition, température de cure.

abstract:

Concrete manufacturing is one of the industries that is on the rise in the world and the extraction of the main components of the latter, namely gravel and sand, is due to many negative effects on the environment, the economy and society. On the other hand, large quantities of concrete waste from demolitions are obtained, for normative reasons in the field of recycling, the share of recycled aggregates from demolition concrete crushing is also expected to increase in the coming decades. In this work we examine the properties of SLAPs made from 50% recycled sand (class 0/3) by varying the replacement rate of recycled demolition concrete aggregates (class 3/15) 0 to 100% with a 25% step in cure temperatures different from 20 and 40°C.

Keywords: Self-lacing concrete, recycled aggregate, demolition concrete, cure temperature.

Sommaire :

Remerciements ..... a

Dédicaces ..... b

ملخص: c

Résumé : c

abstract: c

Liste des figures : ..... g

Symboles et abréviations ..... j

Introduction générale 1

I.1 CONCEPT ET FORMULATION DES BAP 1

I.1.1 Particularités de la composition des bétons autoplaçant 1

I.1.1.1 Les granulats 1

I.1.1.2 La poudre 2

I.1.1.3 Les adjuvants 3

I.1.2 Caractéristique des BAP à l'état frais 6

I.1.2.1 Caractéristiques rhéologiques fondamentales des bétons autoplaçant 7

I.1.2.2 Capacités de passage 8

I.1.2.3 Stabilité 9

I.1.3 Caractéristique des BAP à l'état durcis 9

I.1.3.1 Résistances mécaniques 9

I.1.3.2 Durabilité 10

I.1.4 Domaines d'utilisation privilégies des BAP 10

II. LES GRANULATS RECYCLÈS 11

II.1 Introduction 11

II.2 Les granulats recyclés 11

II.3 Intérêt du recyclage dans le génie civil 13

II.4 Le recyclage en Algérie 13

II.5 Elaboration des granulats recyclés 14

II.5.1 Etat de l'art 14

II.5.1.A Concassage 14

II.5.1.B Criblage 15

II.5.1.C Dépoussiérage 15

II.5.1.D Tri par la densité 15

II.5.1.E Tri par capteurs 16

II.5.1.F Libération ... 16
II.6 Caractéristiques des granulats recyclés ... 17
II.6.1 Granulométrie ... 17
II.6.2 Masse volumique ... 17
II.6.3 La porosité ... 18
II.6.4 Absorption d'eau ... 18
II.6.5 Dureté ... 19
II.7 L'effet des granulats recyclés sur les caractéristiques des BAP ... 19
II.7.1 L'état frais ... 19
II.7.2 L'état durcis ... 21
III. Effet de cure ... 25
III.1 Rôle de la cure ... 25
III.2 Pathologies liées à l'absence de cure ... 26
III.3 Procédés de cure ... 27
III.4 Produits de cure ... 27
III.5 Début d'application et durée de la cure ... 28
III.6 Effet de température de cure sur la résistance ... 28
III.6.A La résistance à la compression ... 29
III.7 Effet de température de cure sur la durabilité ... 32
III.7.1 La carbonatation ... 32
III.7.2 La diffusion des ions du chlorure ... 34
III.7.3 L'absorption capillaire ... 35
III.7.4 La porosité ... 35
III.7.5 Le retrait ... 36
II.1 Introduction ... 37
II.2 Caractérisation des matériaux utilisés ... 37
II.2.A Ciment ... 37
II.2.B Granulats ... 38
II.2.B.1 Sable ... 38
II.2.B.2 Gravier ... 39
II.2.C Le superplastifiant ... 40
II.2.D Eau de gâchage ... 42
II.3 Fabrication du béton autoplaçant ... 42
II.4 Essai sur le béton autoplaçant ... 42

II.4.A A L'état frais 42
II.4.A.1 Essai évaluant la fluidité (Étalement) 42
II.4.A.2 Essai de boite en L 43
II.4.A.3 Essai de la boite en « U » 44
II.4.A.4 Essai de stabilité au tamis 45
II.4.A.5 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test) 46
II.4.B À l'état durci 46
II.4.B.1 Essais de résistance à la compression 46
II.4.B.2 Essai de traction par flexion 47
II.4.B.3 La vitesse de propagation des ondes ultrasonique 48
II.4.B.4 Essai d'absorption par capillarité 49
III.1 Introduction 52
III.2 Formulation des BAP 52
III.2.A Résultats de caractérisation à l'état frais 53
III.3 L'effet de granulat recyclé à l'état durci 54
III.3.A La résistance à la compression 54
III.3.B La vitesse de propagation des ondes ultrasonique 56
III.3.C L'absorption 57
III.4 L'effet de température de cure à l'état durci 59
III.4.A La résistance à la compression 59
III.4.B La vitesse ultra sonique 60
III.4.C L'absorption par immersion 61
III.5 Conclusion 62
Conclusion générale 63
Références bibliographiques i

Liste des figures :

Figure I. 1. Différents types des superplastifiants **(10)** 6
Figure I. 2. Exemple des comportements rhéologiques pour différent type de béton **(16)** 7
Figure I. 3. Représentation en plan d'un blocage de granulat à travers deux armatures **(18)** ... 8
Figure I. 4. Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP **(25)** 11
Figure I. 5. Granulats de débris de béton 12
Figure I. 6. Granulats de débris de maçonnerie 12
Figure I. 7. Granulats de débris hydrocarboné 12
Figure I. 8. Granulats mixtes 13
Figure I. 9. Courbes granulométriques des granulats recyclés **(48)** 17
Figure I. 10. Variation de la demande en eau en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)** 19
Figure I. 11. Rapport E/C des bétons à base de granulats recyclés **(59)** 20
Figure I. 12. Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)** 20
Figure I. 13. Variation de la densité du béton frais en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)** 21
Figure I. 14. Porosité des bétons à granulats recyclés **(59)** 22
Figure I. 15. Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton Pour les trois dosages à 28j **(58)** 23
Figure I. 16. Évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps **(59)** 23
Figure I. 17. Evolution de la résistance en traction par fendage à l'âge de 28 jours pour les bétons à différentes combinaisons granulaires **(62)** 25
Figure I. 18. Effet de la durée et du mode de cure sur la résistance à la compression. 32
Figure I. 19. Profondeur de carbonatation dans des différentes initiale et conditions de cure **(65)** 33
Figure I. 20. Corrélation entre la résistance à la compression et profondeur de carbonatation des BAP **(65)** 34
Figure I. 21. Porosité totale de BAP conservés à 20°C, 60°C et 80°C **(83)** 36

Figure II. 1. Analyse granulométrique du sable naturelle et sable recyclé 39
Figure II. 2. Analyse granulométrique du gravier naturel et gravier recyclé 40
Figure II. 3. Superplastifiant MEDAFLOW SP 30 40

Figure II. 4. Représentation schématique de l'essai d'étalement 43
Figure II. 5. Représentation schématique de l'essai à la boite en L 43
Figure II. 6. Schéma descriptif de la boite en « U » **(90*)*** 44
Figure II. 7. Essai de la stabilité au tamis 45
Figure II. 8. L'entonnoir en V 46
Figure II. 9. Essais de résistance à la compression 47
Figure II. 10. Dispositif de traction par flexion 47
Figure II 11. Dispositif pour mesure de la vitesse ultrasonique sue béton 48
Figure II 12. Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité 49
Figure II 13. Essai d'absorption d'eau par capillarité 50

Figure III 1 . La variation du dosage de le superplastifiant 53
Figure III 2. Résistance à la compression en fonction du taux de granulats recyclé à 20°C 54
Figure III 3. Résistance à la compression en fonction du taux de granulats recyclé à 40°C 55
Figure III 4. la vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR à 20 °C 56
Figure III 5. la vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR à 40 °C 57
Figure III 6. Absorption des diffèrent BAP en fonction du temps à 20°C 57
Figure III 7. Absorption des diffèrent BAP en fonction du temps à 40°C 58
Figure III 8. Résistance à la compression à 20°C et à 40°C 59
Figure III 9. La vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR dans les different environnement de cure 61
Figure III 10. L'absorption par immersion en fonction du taux de GR à 20°C et à 40°C 61

Liste des tableaux

Tableau I 1. Estimation théorique du déchet de C&D en Algérie en 1996 **(33)** 14
Tableau I. 2. Masse volumique apparente et absolue des granulats naturels et recyclé **(50)** .. 17
Tableau I.3. Masse volumique apparente et absolue des granulats naturels et recyclés **(48)** . 18
Tableau I 4. Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés **(60)** 22
Tableau I 5. Caractéristiques mécaniques des granulats naturels et recyclés **(62)** 24

Tableau II. 1. L'analyse chimique du ciment NA CEM II /B-L 42.5N **(86)** 37
Tableau II. 2. Composition minéralogique du ciment NA CEM II /B-L 42.5N **(86)** 37
Tableau II. 3. Propriétés physiques du ciment NA CEM II/ B-L 42.5N **(86)** 38
Tableau II. 4. Propriétés mécaniques du ciment NA CEM II / B-L 42.5N **(86)** 38
Tableau II. 5. Caractéristiques des sables recyclé et naturel 38
Tableau II. 6. Caractéristiques du gravier recyclé et naturel 39
Tableau II. 7. Les caractéristiques de super plastifiant MEDAFLOW 30 41

Tableau III 1. Composition des différents BAP réalisés 52
Tableau III 2. Les résultats du l'essai de l'étalement sur le BAP 53

Symboles et abréviations

- **BAP :** béton autoplaçant
- **PMS :** polymélamines sulfonées
- **PNS :** polynaphtalénes sulfonates
- **LS :** lignosulfonates
- **τ:** contrainte de cisaillement (Pa)
- **Pa :** pascal
- **τ_0 :**seuil de cisaillement (Pa)
- **η_p :**viscosité plastique ($Pa.s^{-1}$)
- **S^{-1} :** second puissanse moins 1
- **γ:** la vitesse de déformation (S^{-1})
- **a,b :** constantes de comportement
- **E/C :**rapport eau sur ciment
- **BRH :** brise roche hydraulique
- **Mv_a :** masse volumique apparente (g/cm^3)
- **Mv_s :** masse volumique absolue (g/cm^3)
- **g:** gramme
- **cm^3 :** centimetre au cube
- **HR :** humidité relative
- **FW :** full water (cure humide de 28 jours à T=20$\pm$1°C et HR=100%)
- **FS ;** full standard (cure standard de 28 jours à T=20$\pm$1°C et HR=95-100%)
- **FR ;** full room (cure dans une chambre à t=28-32°C et HR=75-85% à 28 jours)
- **OPC :** ordinary portland ciment
- **V :** vitesse de propagation d'ondes (m/s)
- **L :**distance entre les deux transducteurs (m)
- **T :** temps de propagation d'ondes (s)
- **m ;** metre
- **s :** second
- **C_a :** coefficient d'absorption capillaire (Kg/m^2)
- **M_x :** masse de l'épprouvette à une échéance donnée (Kg)
- **M_0 :** masse initiale de l'épprouvette (Kg)
- **Kg :** kilogramme

- **m^2 :** metre au carrée
- **A :** section de l'épprouvette (m^2)
- **Sp :**super plastifiant
- **GR :** granulats recyclés
- **AFGC :** association française du génie civil

Introduction générale

Dans le domaine de construction et de génie civil, l'utilisation des granulats est très indispensable, car ces derniers constituent l'ossature du béton et ils représentent environ 80 % du poids total du béton. Selon les statistiques, le bâtiment et les travaux publics nécessitent chaque année 560 millions de tonnes de granulats et de matériaux assimilés Ainsi, leur extraction des rivières et des oueds ou bien des roches massives des montagnes a une grande nuisance sur l'environnement, cela peut provoquer l'épuisement des ressources naturelles et affecter négativement la faune et la flore, Pour ces raisons, environnementales et économiques, il est devenu indispensable de trouver de nouvelles sources de granulats qui peuvent apporter des solutions alternatives. Les granulats de recyclage semblent être une des solutions. Les matériaux de démolition ou de chantier provenant de la démolition ou réhabilitation du vieux bâti sont en quantité croissante et ne sont éliminés que par l'utilisation en remblai ou la mise en décharges sauvages causant un impact sur l'environnement.

L'utilisation de ces granulats recyclés de béton de démolition doit être généralisée sur tous les types de béton, et précisément sue les bétons autoplaçant qui ont une large utilisation dans nos jours. Ce type de béton se met en place par simple versement quel que soit la forme de l'élément à réaliser, il permet donc de ne pas utiliser les engins de vibration et donc élimination des perturbations sonores afférentes. Par leur fluidité le BAP occupe tous les volumes, il permet d'avoir des aspects de parements meilleurs, porosité de surface moindre et donc une meilleure durabilité. Par ailleurs, il permet de réduire des effectifs sur chantier.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier en particulier les granulats recyclés de diffèrent classe granulaire provenant de concassage du béton, leurs propriétés (granulométrie, masse volumique absolue et apparente, absorption…) et l'influence de ces dernières sur les paramètres de formulation du BAP et ses propriétés à l'état frais et durci dans diffèrent environnement de cure.

Ce travail est composé de trois chapitres :

1- Le premier chapitre est une analyse bibliographique des caractéristiques du BAP et du granulats recyclés avec l'effet de ces granulats sur le BAP à l'état frais et durci, en plus que le recyclage en génie civil et en Algérie et ces intérêts et la température de cure et aussi ses effets sur les caractéristiques des BAP .

2- Le deuxiéme chapitre présente les propriétés des matériaux utilisés ainsi que les essais effectué sur le BAP à l'état frais et l'état durci.

3- Le troisiéme chapitre expose la formulation des BAP et les quntités de matériaux utilisées et les résultats obtenus des essais effectués à l'état frais et durci dans le cas de l'effet de les granulatas recyclés el le cas de l'effet de la température de cure et la discussion des résultats dans chaque essai.

CHAPITRE 01 :

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 CONCEPT ET FORMULATION DES BAP

Les bétons autoplaçant (BAP) sont incontinent bétons peu fluides lequel se mettent de place et se serrent sur le un conséquence pour la pesanteur alors dépourvu investissement pour oscillation endogène soit extérieur quel pourquoi soit le réclusion due centre et restent homogènes au déroulement pourl'écoulement (absence pour discriminationdynamique) et une coup de place (absence pour discriminationstatique) Ce cimentÉnergumène seul danger encore collégien pour ressuage et pour discrimination soit il faut dans pour la normalisation optimiser la déformabilité dépourvu compromettre de la immutabilité lequel sont accouplement élément opposées

Ce postulat due BAP oriental affirmé facilité de incontinent caractéristiques rhéologiques exceptionnelles (un limite pour cisaillement faiblard à pourquoi l'écoulement s'amorce promptement combinant une résistance modérées à modérer le momentd'écoulement) Le dénouement oriental seul élément déformable peu cohérent cohésif et viable

I.1.1 Particularités de la composition des bétons autoplaçant

Énoncer seul BAP c'est retrouver seul ajustement incontinent plusieurs constitutif responsable de seul calepin incontinent charges information Ce calepin incontinent charges concerne les caractéristiques de l'état débours (la puissance au chargement la puissance pour déplacement la résistivité de la discrimination la immutabilité rhéologie) la résistivité due BAP de 28jours et la viabilité À incontinent chantiers encore spécifiquesd'autres propriétés peuvent demeurer souhait contrairement dans imitation une solidification élevé soit retardée une résistivité élevée au adolescent flèche soit seul échappement pour insolation minimum La résolution trouvée compte non loisible demeurer optimale

I.1.1.1 Les granulats

Quelqu´un appelle« granulats» les matériaux inertes sables graviers soit cailloux lequel entrent sur la photocomposition incontinent bétons C'est l'ensemble incontinent grains entendu avec 0 et 125mm laquelle l'origine peut demeurer naturelle artificielle soit provenant pour reconversion Ces matériaux sont quelques coup toujours appelés« agrégats» Vieux utilisation absolument de faisandé impropres de conséquence le glossaire distribution laSignification suivante :

-Agrégat : Conférence incontinent substances diverses élément seul absolument rien cohérent

Le béton dans imitation oriental seul assemblage pour sable gravier et ciment ce dernier-né jouant le personnage pour substance d'agrégation

Les spécifications auxquelles doivent assouvir les granulats sont précises sur la norme XP P 18 -540 d'octobre 1997 lequel remplace les normesP18-101 pour décembre 1990 etP18-541 pour mai1994 Cette norme regroupe les caractéristiques lequel doivent proposer de généralissime les granulats destinés de la fabrication du béton hydraulique

Les granulats sont classés de moult catégories sans incontinent spécifications particulières à

chacune d'elles :

La catégorie A : correspond aux granulats destinés de la fabrication du béton pour perfection tels pourquoi ceux destinés de la reconstruction d'ouvrages d'art soit pour bâtiments à quoi la résistivité particularité RC oriental supérieure soit égale de 35 MPA ; incidemment certaines caractéristiques incontinent catégories B soit C étant tolérées

La catégorie B : sont destinés de pour bons bétons pareillement qu'à ceux pouvant demeurer situés sur seul climat provocant de prédisposition pourquoi sien facteur d'absorption respectent les spécifications imposées aux granulats de catégorie A

La catégorie C et D : conviennent aux bétons courants de prédisposition sur l'éventualité d'utilisation pour granulat D que seuls deux pour leurs caractéristiques soient présentées et que les autres correspondent de celle pour catégories supérieures bévue pour comment ils ne doivent rien demeurer utilisés sur la courante fabrication de béton **(3)**

I.1.1.2 La poudre

La poudre est la composante clé du BAP De encore pour sa corrélation principale pour lier les différents constituants du béton d'omniprésence pour l'eau la poudre engagé les vides intergranulaires de rendant l'élément encore touffu L'augmentation pour ton débit par à objectif d'améliorer les propriétés du béton aussi vraiment de l'état frais (déformabilité puissance pour déplacement et résistivité de la ségrégation) qu'à l'état durci (résistance et durabilité) **(4)**

La finesse de la poudre joue un rôle essentiel dans l'amélioration des caractéristiques de BAP L'augmentation de la finesse de la poudre contribue à l'amélioration de la déformabilité et de l'ouvrabilité, de la résistivité de la ségrégation et de la solidité du béton **(4),(5)**

De généralissime la poudre orientale composée d'un ciment Portland un Cependant à boursicoter le cout pour fabrication incontinent BAP et prévenir des problèmes d'élévation

excessive de la température lors de l'hydratation la poudre oriental fréquemment seul composant binaire voire ternaire, ciment Portland mélangé avec fumée de silice, laitier de haut fourneau, cendres volantes, filler calcaire…etc. **(1)**

I.1.1.3 Les adjuvants

Suivant la norme NF EN 934-2 Ce sont incontinent produits chimiques organiques soit inorganiques incorporés de faible masse minimum de 5% pour la quantité du ciment sur structure de poudre soit de solution préalablement soit durant le malaxage sur l'objectif pour changer certaines propriétés du béton qu'il soit de l'état frais durant la solidification et le durcissement soit de l'état durci **(6)**

I.1.1.3.A Classification des adjuvants

- Les fluidifiants (réducteur d'eau) :

Ces produits jouent un double rôle. Ils sont utilisés soit pour fluidifier le béton en maintenant le rapport (Eau / Ciment) constant (rapport prévu pour une résistance donnée), donc fluidifier sans apport additionnel d'eau. Ou bien, réduire le rapport (Eau / Ciment) pour avoir de meilleure résistance toute en ayant la même fluidité du béton **(7)**

La durée d'action des fluidifiants est très variable, on l'a choisie courte pour les bétons fabriqués sur chantier et longue pour les bétons fabriqués en centrales à béton. Pour ce dernier, le béton doit rester fluide toute au long de la durée du transport, jusqu'à la mise en place. **(7)**

- Les retardateurs et accélérateurs de prise du ciment :

Les réactions d'hydratation sont exothermiques, elles sont accélérées par l'apport de chaleur. Ainsi le bétonnage en temps chaud ou bien d'éléments massique (où la température au cœur du béton peut atteindre 80°C) accélère la cinétique d'hydratation du ciment. Inversement, le bétonnage en temps froid ralenti les réactions d'hydratation du ciment. Ainsi, ces modifications dans les temps d'hydratation du ciment est parfois défavorable. En effet, l'accélération des réactions d'hydratation a des effets négatifs sur les résistances à long terme du béton. Dans le cas des ouvrages massifs, il y a apparition précoce de la fissuration. A l'inverse le bétonnage en temps froid entraîne du retard sur les durées du décoffrage. **(7)**

Les retardateurs de prise peuvent être utilisés en cas de reprise de bétonnage : grâce aux retardateurs de prise il est possible d'effectuer des reprises de bétonnage après plusieurs heures d'interruption avec certaines précautions (protection contre la dessiccation). Aussi, pour le transport de longue durée du

béton : l'utilisation de retardateur de prise permet de transporter sans problème tous les bétons sur de grandes distances quelles que soient les conditions (températures, risques d'embouteillage, etc.).

Les accélérateurs de prise sont utilisés dans les bétons de préfabrication car ils permettent d'atteindre des résistances convenables au jeune âge, cela permet de réduire le temps d'étuvage et accélère donc le processus de fabrication. Les accélérateurs de prise permettent de réduire les délais de chantier, car ils permettent d'atteindre les résistances prévues pour 28 jours à des âges avancés. Mais il faut faire attention à la résistance à plus long terme, qui elle va en baisse par rapport à celle d'un béton sans accélérateurs de prise. **(7)**

- Les entraîneurs d'air :

Permettent d'entraîner, à l'intérieur du béton, des microbulles d'air réparties en volume qui serviront d'espace d'expansion dans le béton durci. Ces microbulles permettent d'améliorer la durabilité du béton soumis à l'action du gel et du dégel. Il améliore la résistance du béton sous l'action des incendies.

Un des modes d'action de ces microbulles peut être décrit comme suit : dans le cas du gel, l'eau contenue à l'intérieure du béton gèle et augmente de volume puis crée des surpressions à l'intérieur des pores du béton et par la suite une fissuration ; la présence des microbulles permet de freiner le développement des fissures et la dégradation du béton est arrêtée.

C'est le même mode d'action qui se développe lors des incendies, dans ce cas l'eau contenue dans les pores fermés se transforme en gaz, ce gaz et avec l'augmentation de la température provoque des surpressions sur les parois des pores et donc de la fissuration. Pour les bétons devant résister aux cycles de gel et de dégel, la teneur en air occlus doit se situer entre 4 et 6 %. **(7)**

I.1.1.3.B L'utilisation des adjuvants

On utiliser les adjuvants dans absolument à :

- Diminuer le cout des constructions en béton
- Donner au béton certaines caractéristiques plus efficacement que par d'autres moyens
- Assure la qualité du béton durant le malaxage, le transport, la mise en place et cure dans des conditions météorologiques défavorables
- Obvier à certaines urgences durant le bétonnage **(8)**

I.1.1.3.C Les superplastifiants

Suivant la norme NA 744 un superplastifiants est un adjuvant lequel introduit sur un béton, un mortier soit coulis a pour fonction principale de causer un accroissement essentiel pour l'ouvrabilité du mélange **(9)**

I.1.1.3.C.1 Différents types des superplastifiants

1- Les polymélamines sulfonées (PMS)

Appartiennent de la classe incontinent superplastifiants/réducteurs d'eau Ils sont efficaces pour des températures inférieures de 85°C de raison d'une stabilité chimique limitée Ils ne sont rien entraîneurs d'air Ils ne posent rien de problème de teinte et sont préférés aux PNS pour des résistances aux jeûnes âges **(9)**

2- Les Poly naphtalènes sulfonâtes (PNS)

Sont d'une efficacité dispersante très liée à la nature du ciment Ils sont un peu plus

Retardateurs que les PMS et sont légèrement entraîneur d'air **(9)**

3- Les lignosulfonates (LS)

Sont minimum efficaces que les PNS et PMS Ce sont des produits fabriqués a partir de dérivés de l'industrie de la pâte à papier. Ces produits sont vraiment fréquemment impurs ils contiennent des sucres lequel sont responsables pour l'effet retardateur. **(9)**

4- Les superplastifiants de nouvelle génération

Sont constitués de polymères à base de polyoxyde d'éthylène Ce sont les polycarboxylates ou polyacrylates ou encore phosphonates polyoxyde d'éthylène Les superplastifiants les plus utilisés sont les PMS et les PNS Ce sont des polymères anioniques avec des groupes sulfonâtesSO3- de intervalles réguliers **(9)**

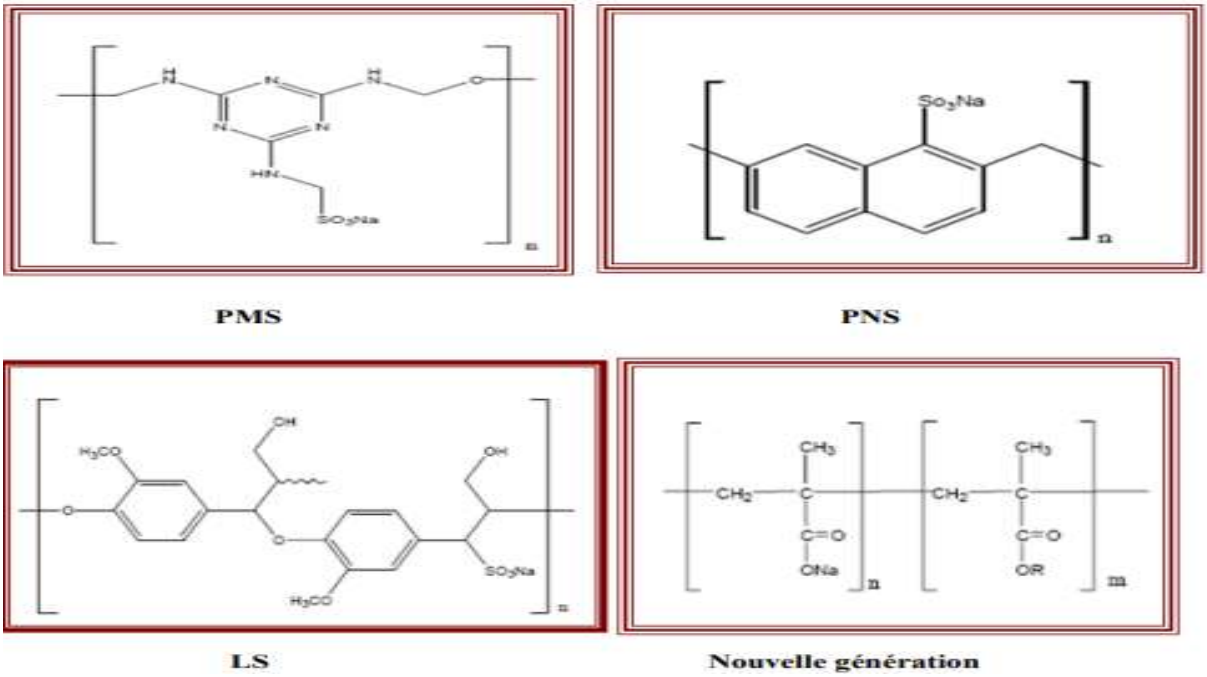


Figure I. 1. Différents types des superplastifiants **(10)**

I.1.2 Caractéristique des BAP à l'état frais

L'intérêt principal d'un BAP réside sur ses propriétés de l'état frais lequel soi permet d'apporter une réelle innovation sur la construction actuelle Cependant il est essentiel de possibilité particulariser ces bétons d'un moment pour perspective d'écoulement **(1)**

De perspective d'une définition complète du matériau il est nécessaire pour s'intéresser de trois comportements :

- La déformabilité
- La capacité de passage
- Le maintien de la stabilité

De généralissime il oriental trop malaisé de trouver les trois caractères de exactement moment à ceci pour innombrable essais sont optimises à une application dans chantier et autres à une caractérisation plus poussée sur l'environnement incontinent études d'institut

Ces essais sont regroupés sur la structure pour recommandations de 2002 puis de 2005 dans l'EFNARC **(11,12)** par de Schutter en 2005 **(13)** et finalement dans l'AFGC sur l'environnement du Projet National Béton Autoplaçant en 2008 **(14)** Ces recommandations ont définitivement conduite de l'écriture d'une norme européenne EN 206-9 Règles complémentaires au béton autoplaçant datant de juin 2010 **(15)**

I.1.2.1 Caractéristiques rhéologiques fondamentales des bétons autoplaçant

La définition du béton à l'état frais peut se refaire faciliter de l'étude des propriétés rhéologiques fondamentales telles que le seuil de cisaillement ou la viscosité plastique

La rhéologie distribution les relations entre contraintes et déformations d'un élément de volume, en tenant éventuellement compte de leur histoire et des valeurs actuelles de leur dérivée par rapport au temps. Ces relations dites pour caractère font coïncider les déformations d'un élément de volume aux contraintes lequel soi sont imposées **(2)**

Le caractère rhéologique d'un matériau (figure 02) oriental rapporté viscoplastique si son écoulement de sa production qu'au-delà d'une certaine valeur des contraintes appliquées appelée seuil de cisaillement τ_0. Le fluide est considéré comme binghamien si la courbe d'écoulement est une droite

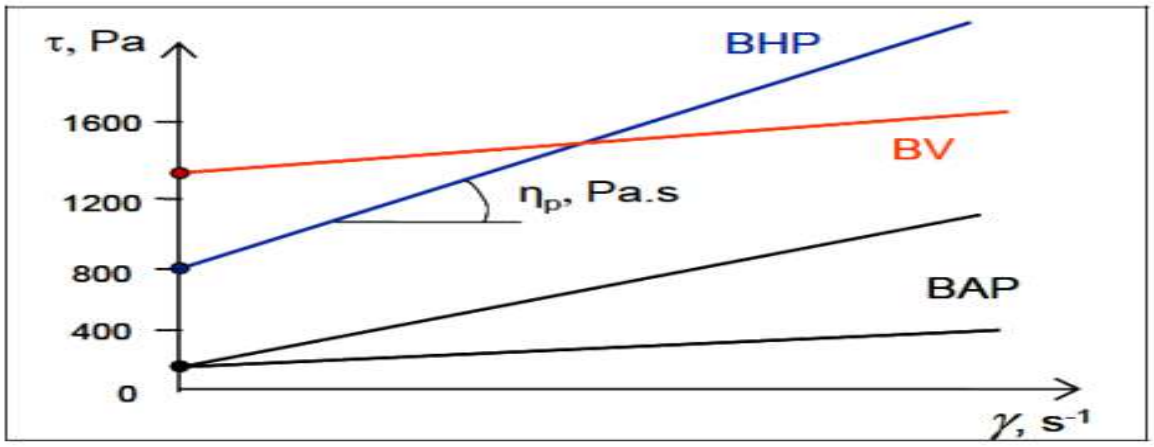


Figure I. 2. Exemple des comportements rhéologiques pour différent type de béton **(16)**

I.1.2.2 Capacités de passage

C'est la capacité du béton à traverser les passages étroits et les zones considérablement ferraillé avec le minimal de frictions possible les chercheurs ont découvert plusieurs raisons pour blocage

- Une séparation des phases du béton (liquide et solide) qui due à l'utilisation d'une quantité importante de granulats
- L'augmentation de la quantité d'eau libre qui provoque une ségrégation
- La taille des plus gros granulats soit assez grande par rapport à l'ouverture entre armatures ou dans un confinement
- Dosage élevé en superplastifiants **(17)**
- L'utilisation d'une quantité importante des fines mène aussi à un risque de blocage

Le schéma de la représentation I.3 distingué le processus de blocage entre deux armatures préalablement et à l'instant de blocage. Suivant l'explication du phénomène par El barrak **(18)** a l'approche des armatures une différence se crée entre la vitesse des granulats et celle de la pâte Plus rapide, la pâte précède les granulats en passant à travers les armatures. **(2)**

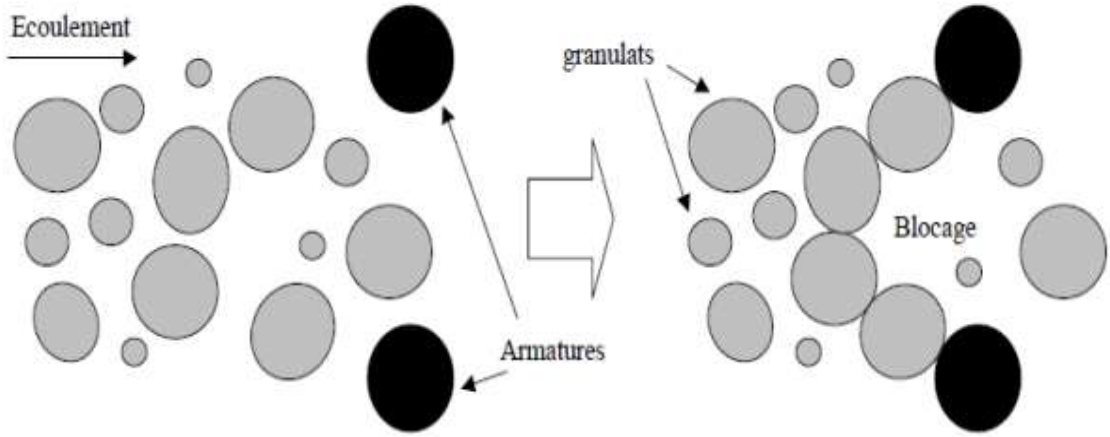


Figure I. 3. Représentation en plan d'un blocage de granulat à travers deux armatures **(18)**

Les essais lequel permettent la confirmation de la capacité de passage sont :

- Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test)
- Temps à T50 au cône d'Abrams en présence du J-Ring
- Différence d'Hauteurs au J-Ring
- Essai de la Boite en L (L-Box test) – Mesure de H2/H1
- Essai de la boite en U (U-Box test)

I.1.2.3 Stabilité

La stabilité d'un BAP de l'état frais est la capacité de suspension des particules de son squelette granulaire. Il existe deux types de stabilité, soit la stabilité statique et la stabilité sous écoulement.

Encore un BAP est stable plus le niveau du tassement et de la ségrégation est faible Une bonne compacité du squelette granulaire d'un BAP amenuisé la masse d'eau libre d'où l'obligation pour vraiment sélectionner les granulométries et les formes des différents constituants

La ségrégation des constituants du béton n'est rien uniquement due à la différence des densités spécifiques mais est grandement influencé par les collisions et les frictions intergranulaires immédiatement liées à la viscosité du mortier **(19)**

Pour éviter la ségrégation, des matériaux de surface granulaire plus élevée peuvent par absorption et adsorption contenir une masse supplémentaire d'eau libre. La résistance à la ségrégation du béton peut aussi être augmentée en élevant la viscosité de l'eau dans la suspension, avec certains agents de viscosité. L'essai de la résistance à la ségrégation des BAP est l'essai au tamis de 5 mm et la capacité de ressuage peut être mesurée par l'essai a l'aéromètre modifié (développé par le LCPC)

I.1.3 Caractéristique des BAP à l'état durcis

Lorsque le BAP est formulé et mis en œuvre de manière adéquate, ses propriétés à l'état durci (résistance, déformation, durabilité) ne se différencient guère de celles d'un béton ordinaire vibré. Généralement ces propriétés d'après plusieurs chercheurs, sont meilleures, en particulier lorsque le béton spécifié doit répondre à des exigences courantes, ce qui est généralement le cas dans le domaine du bâtiment. **(20)**

I.1.3.1 Résistances mécaniques

- **Résistance à la compression**

Les BAP peuvent présenter une gamme étendue de résistances à la compression en jouant sur la nature du liant qui les compose (ciment, additions) et le rapport E/L [23]. Il faut, toutefois, s'attendre à des résistances au jeune âge modérées lorsque les bétons contiennent de grosses proportions d'additions ou lorsque l'usage d'un agent colloïdal nécessite un fort dosage en superplastifiant.

Domone **(21)** a analysé 68 cas à travers le monde où le BAP a été utilisé. Cet auteur a rapporté que la résistance à la compression des BAP est comprise entre 20 et 100 MPa, et que plus de 80% des mélanges testés ont des résistances supérieures à 40MPa. Ceci montre qu'en utilisant

des BAP, il est possible d'obtenir une gamme de résistances allant de faible (20 MPa) à haute (100 MPa).

- **Résistance à la traction**

Les spécificités de composition des BAP permettent d'anticiper une légère différence de rapport entre la résistance à la traction et celle à la compression par rapport aux BO [25]. En effet, les résultats obtenus confirment que pour les mêmes résistances à la compression les BAP possèdent des résistances à la traction légèrement supérieures à celles des BO **(22)**, **(23)**.

Contrairement Klug **(24)** a trouvé que la résistance à la traction des BAP est nettement supérieure à celle des bétons vibrés, elle peut aller jusqu'à 40%. Ce qui implique une nécessité de revoir la section minimale de ferraillage.

I.1.3.2 Durabilité

Un ouvrage doit résister au cours du temps aux diverses sollicitations et agressions Il doit satisfaire, sans perdre ses performances aux besoins des utilisateurs au déroulement du temps.

Il devient possible pour spécifier des objectifs de durabilité et pour sélectionner avec régularité les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu sur qui se découvert l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter de la période d'utilisation souhaitée **(2)**

Un béton est d'autant plus durable qu'il résiste à la pénétration des agents agressifs. Cette qualité peut être caractérisée au moyen de deux grandeurs physiques : la perméabilité et la diffusivité, le premier est relatif au déplacement d'un fluide sous l'effet d'une pression motrice, elle dépend de la taille des espaces poreux dans lesquels s'écoule le fluide ainsi que leur interconnexion, et la seconde est relative au déplacement d'une espèce chimique à l'échelle moléculaire sous l'effet d'un gradient de concentration. **(20)**

I.1.4 Domaines d'utilisation privilégies des BAP

Depuis son développement au japon en 1989 comme une extension de la technique de bétonnage sous l'eau le nombre d'ouvrages réalisés avec le BAP ne relâche d'augmenter particulièrement au Japon soit l'utilisation de ce produit est devenue populaire dans le secteur de construction.

Le BAP par observé aussi une grande application dans le monde entier, en Asie, en Europe et en Amérique sur multi domaines de la construction **(25)**

Ces domaines comprennent le bâtiment, le génie civil, les tunnels, la préfabrication, et les travaux d'assainissement et de rénovation

L'expérience acquise aux Pays-Bas a permis d'étendre la classification en fonction des différences présent entre les BAP et de déterminer différents domaines d'emploi suivant leurs Propriétés, comme le montre la (figure I.4) **(25)** :

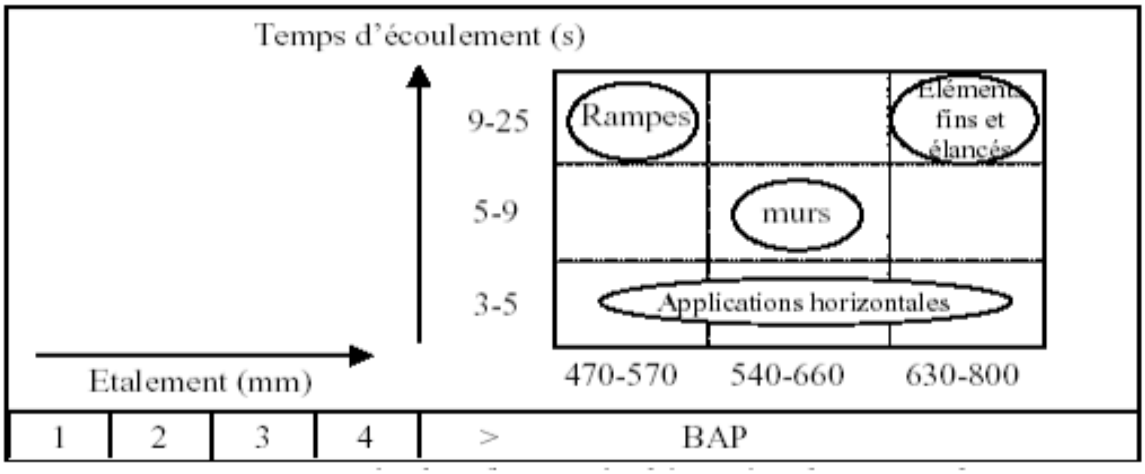


Figure I. 4. Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP **(25)**

II. LES GRANULATS RECYCLÈS

II.1 Introduction

Tout au long de son évolution, l'Homme a cherché à développer et choisir ses matériaux en fonction de ses besoins. De nos jours, le secteur de la construction nécessite la mise en œuvre de grandes quantités de matériaux.

Comme les granulats conventionnels s'épuisent de plus en plus avec les années, et les infrastructures routières et urbaines vieillissent très vite et nécessiteront des travaux de réfection ou de démolition, des quantités importantes de résidus sont générés. Ces matériaux de démolition peuvent être une source altérative des granulats (granulats recyclés) pour béton **(26)**

La majorité des applications de granulats recyclés issus de produits de démolition trouvent essentiellement des débouchés dans le domaine routier, mais une meilleure connaissance du comportement des bétons incluant de tels granulats (béton recyclé) peut contribuer au développement de cette application **(27)**

II.2 Les granulats recyclés

Les Granulats recycles sont issus de bétons recyclés ou de matériaux inertes recyclés. En règle générale, on distingue quatre classes principales de granulats recyclés **(28)** :

- **GRANULATS DE DEBRIS DE BETON :**

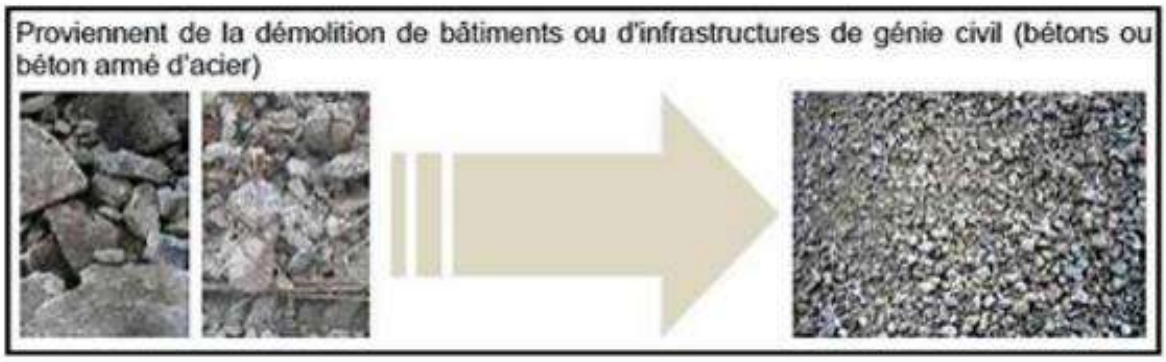


Figure I. 5. Granulats de débris de béton

- **GRANULATS DE DEBRIS DE MACONNERIES :**

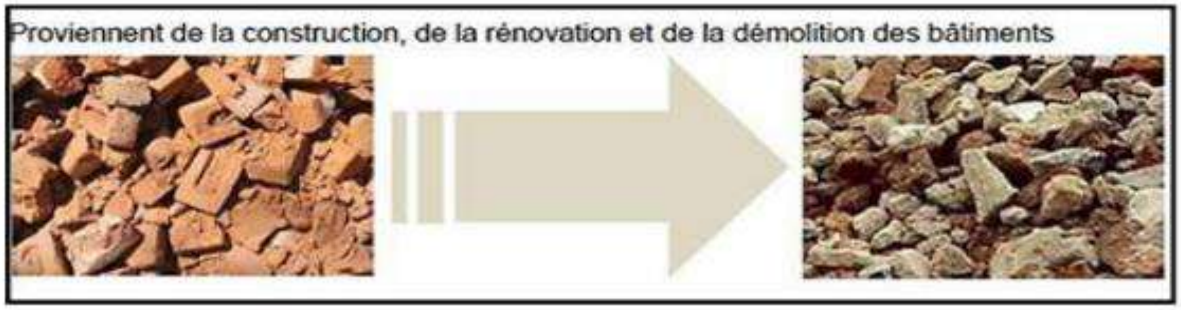


Figure I. 6. Granulats de débris de maçonnerie

- **GRANULATS DE DEBRIS HYDROCARBONNES :**

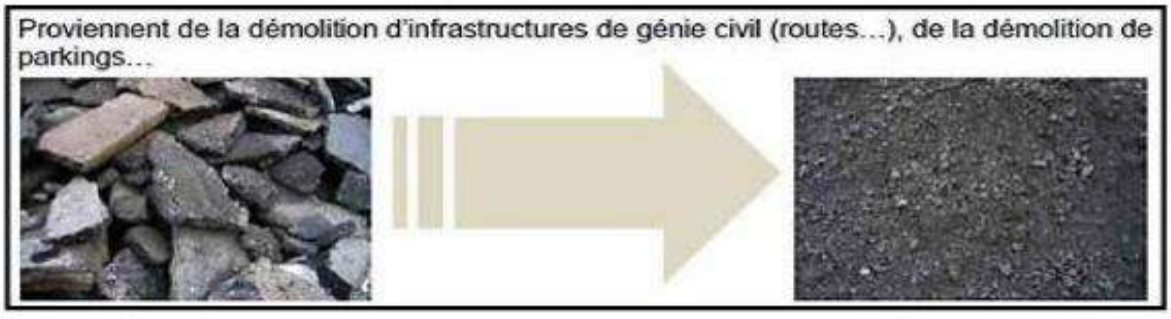


Figure I. 7. Granulats de débris hydrocarboné

- **GRANULATS DE DEBRIS MIXTES :**

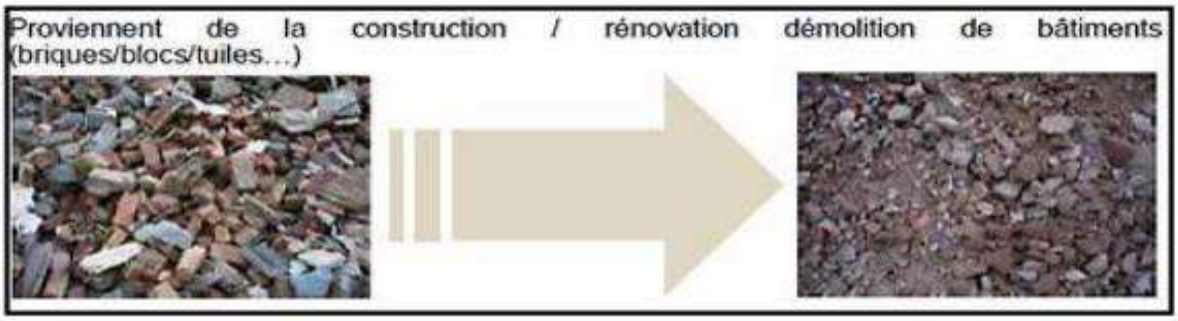


Figure I. 8. Granulats mixtes

II.3 Intérêt du recyclage dans le génie civil

Actuellement, la plupart des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels issus de carrières ou de l'extraction des lits des fleuves ou des fonds marins. Ces produits offrent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu. En France, le secteur de la démolition produit annuellement 20 à 25 millions de tonnes de gravats **(30)**. Tous les gravats de démolition ne peuvent être utilisés afin de produire des granulats de recyclage. Ainsi, en France le potentiel de matériaux recyclables est seulement de 10 à 15 millions de tonnes **(30)**. En 2001, la quantité réelle issue du recyclage n'était cependant que de 5 millions de tonnes **(31)**.

Selon **(32)** en France, les déchets de démolition sont issus des friches industrielles (40 %), des logements (35 %) et des travaux publics (25 %). Ces déchets sont composés de 50 % de maçonnerie, 30 % de béton, 5 % de bitume et 15 % de matériaux autres (bois, métal, papier, plastique, etc.).

II.4 Le recyclage en Algérie

En Algérie le secteur d'activité œuvre en effet à renforcer ses actions en matière de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment les pneus usagés dans les travaux routiers et de génie civil. Cette démarche consiste évidemment à développer et appuyer l'utilisation de ce déchet industriel dans ces divers travaux ce qui contribuera d'une part, à la préservation de l'environnement, et d'autre part, à la réduction des coûts induits par l'utilisation des matériaux de plus en plus rares notamment dans certaines régions du pays. **(1)**

En Alger ils existent trois sites pour l'enfouissement des déchets inertes. Deux à l'ouest de la capitale : « Staouéli », fermé en 2010 pour cause de saturation, la deuxième à « Douéra » qui est aussi fermé après le lancement des travaux de la liaison ferroviaire entre « Zéralda » et « Birtouta » et elle reste fermé jusqu'à aujourd'hui, la décharge se trouvant non loin du tracé de cette ligne. À l'est de Alger y a le site de « Bordj El-Kiffan », lui aussi saturé depuis le séisme de Boumerdasse 21/05/2003. D'une manière réelle n'existe aucune décharge des déchets de

construction, malheureusement. Selon Debieb.F **(33)** l'estimation des déchets de construction et de démolition en Algérie dans l'année de 1996 est résumée dans le (tableau I.1) ci dessue :

Tableau I 1. Estimation théorique du déchet de C&D en Algérie en 1996 **(33)**

Types des déchets mise en décharges	QNTT	
	Mt/an	%
Déchets issue de chantier des bâtiments	1.33	49
Déchets issue de transformation des logements	0.11	27
Déchets issue de démolition et de réhabilitation	0.40	15
Déchets issue de la fabrication des matériaux de constructions	0.35	9

II.5 Elaboration des granulats recyclés

II.5.1 Etat de l'art

Il existe plusieurs configurations de plateforme de recyclage des Déchets de Construction et de Démolition (DCD). Les procédés rencontrés actuellement comprennent généralement les opérations suivantes **(35)** :

- Extraction des éléments métalliques à l'aide de séparateurs magnétiques ;
- Élimination des éléments indésirables légers (plâtre, bois, plastique, etc.) par des systèmes de tri (séparateurs manuels, pneumatiques ou hydrauliques, etc.) ;
- Concassage/criblage ou scalpage, pour produire un matériau élaboré compatible avec l'utilisation finale recherchée ;
- Floculation des argiles, par des techniques de flottation par exemple.

II.5.1.A Concassage

Selon la taille, les GBR sont plus ou moins formés de grains qui contiennent du granulat naturel mélangé à du mortier. **(36)** ont montré que la quantité de pâte de ciment résiduelle dépendait notamment de la teneur en pâte initiale et de sa porosité, ainsi que de la qualité mécanique de l'interface entre le granulat naturel et la pâte de ciment initiale. **(37)** ont montré que, pour une même taille de grains, les GBR issus d'un béton parent peu résistant contiennent une plus faible teneur en mortier résiduel. Ils ont expliqué ce fait par la présence d'une auréole de transition de moindre qualité, qui favorise la séparation du granulat et du mortier pendant le concassage, en laissant les grains rocheux plus propres. Toutefois, pour un béton parent de bonne qualité, l'impact négatif du mortier peut être partiellement compensé par une meilleure résistance et

une plus forte compacité du mortier, ainsi que par une (ancienne) auréole de transition de meilleure qualité. Ce constat a été confirmé par les valeurs Los Angeles obtenues avec des GBR de différentes masses volumiques

II.5.1.B Criblage

Peu d'informations sont données dans la littérature sur les particularités liées au criblage des GBR. On peut noter cependant que l'élimination des fractions les plus fines ou les plus grosses permet d'améliorer la concentration en granulats de béton dans la fraction restante. En effet, la distribution des différents composants d'un GBR peut varier. Un exemple industriel est donné par **(38)**. Ils ont analysé la fraction 0/5,6 mm d'un mélange de DCD après plusieurs étapes de traitement, dans 5 usines de recyclage au Japon. Dans cette coupure, les particules de bois sont plus grosses que les grains inertes denses, alors que les matières organiques et le gypse sont plus fins. Comme le gypse est principalement présent dans la fraction fine, la quantité de gypse peut alors être réduite en éliminant la fraction fine des DCD **(39)**.

Les GBR sont plus sensibles à la fragmentation que les granulats naturels (voir chapitre 3). Ainsi, le criblage des GBR peut produire de la fragmentation. **(40)** ont montré que la quantité de matériau passant au tamis de 8 mm augmentait avec l'énergie de tamisage des GBR. Ils ont comparé l'effet d'un criblage manuel et d'un criblage mécanique après 2, 5 et 10 min. La quantité de passant a augmenté de 3, 4,5, 6,5 et 8,5 % respectivement. L'augmentation était négligeable pour un granulat naturel de référence (0,2 %).

II.5.1.C Dépoussiérage

Le recyclage des GBR obtenus par broyage/criblage peut être amélioré si les éléments fins sont éliminés **(41)**. La composition de cette fraction est difficile à contrôler et, entre autres artefacts induits, elle contient un pourcentage plus élevé de contaminants **(42)**. La méthode de dépoussiérage la plus courante est le traitement par voie humide. Cependant, le lavage génère des eaux polluées et des boues, qu'il est difficile de recycler davantage. L'alternative peut être le recours à un procédé de dépoussiérage à sec après concassage, si l'humidité des GBR le permet.

II.5.1.D Tri par la densité

Comme présenté ci-avant, les technologies de soufflerie sont de plus en plus souvent proposées pour séparer des matériaux légers comme le bois, le plastique, le papier, le carton… des matériaux plus lourds. Toutefois, un plus grand éventail de technologies est proposé. La concentration gravitaire est définie comme le processus par lequel des grains de tailles, de formes et de densités différentes sont séparés les uns des autres par la gravité ou par une force centrifuge. Ce processus de séparation est donc principalement basé sur la densité (gravité spécifique). Les procédés de concentration correspondant ont un débit massique élevé et des coûts d'investissements et d'exploitation faibles. En outre, il n'y a pas de limite sur la taille maximale des grains, et le procédé peut être utilisé avec des granularités très étendues.

II.5.1.E Tri par capteurs

Le tri optique automatique a été développé dans l'industrie minière pour élaborer différents minerais, en séparant des matériaux ayant des couleurs ou des formes significativement différentes. D'autres capteurs et techniques peuvent aussi être utilisés pour distinguer des grains de différentes compositions physiques ou chimiques, parmi lesquels : l'absorptiomètre à rayons X en double énergie (Dual Energy X - ray transmission DXA), la fluorescence induite par Laser (Laser-induced fluorescence LIF), la spectroscopie sur plasma induit par laser (Laser-induced breakdown spectroscopy LIBS), la fluorescence aux rayons X (X-ray fluorescence XRF), la spectroscopie proche infrarouge (Near-infrared spectroscopy NIR), la détection et la télémétrie par ondes lumineuses (Light Detection And Ranging Lidar), la spectroscopie Raman, etc.

II.5.1.F Libération

La présence du mortier primaire est responsable des différences de comportements entre granulats naturels et GBR **(43 ; 44)**. En partant de ce postulat, les méthodes pour séparer le mortier du granulat naturel trouvées dans la littérature ont été analysées **(45 ;46)**. Elles ont recours à des procédés mécaniques (usure, fragmentation, etc.), chimiques (attaque acide) ou physiques (traitement thermique, micro-ondes). Elles exploitent les différences de propriétés entre granulat et pâte de ciment **(45 ; 47)**, à savoir :

• les propriétés physico-chimiques (dilatation thermique ou réactivité chimique) et mécaniques (résistance à l'usure et à la fragmentation), qui conduisent à la dégradation spécifique de la matrice cimentaire ;

• les points faibles du matériau recyclé, tels l'adhérence pâte/granulat et l'auréole de transition où la porosité est plus élevée. La dégradation de cette zone, à partir par exemple de cycles de gel-dégel, permet la libération des granulats primaires.

II.6 Caractéristiques des granulats recyclés

II.6.1 Granulométrie

Les courbes granulométriques des granulats recyclés ont la même distribution granulaire que les granulats naturels (Figure I.9) :

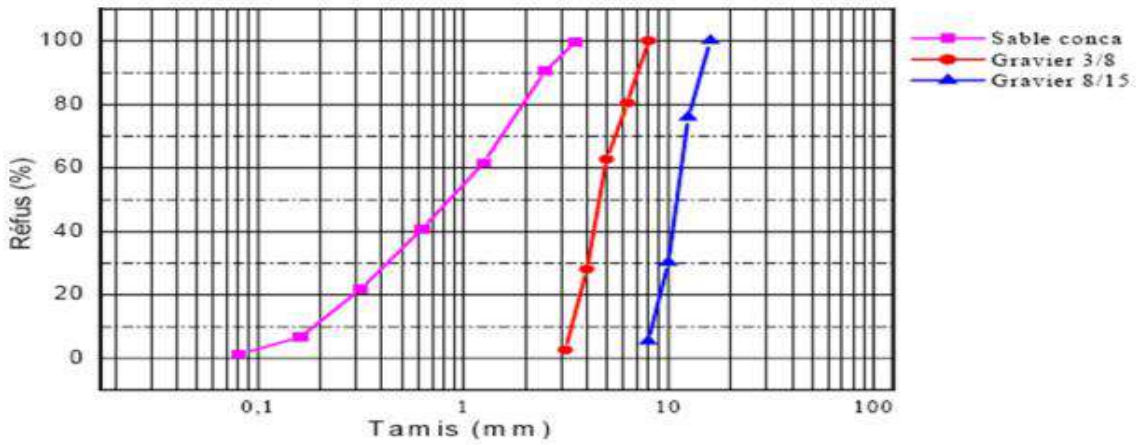


Figure I. 9. Courbes granulométriques des granulats recyclés **(48)**

DEBIEB **(33)** a trouvé que le sable recyclé est grossier par rapport au sable naturel et il est constitué en majorité de petit gravillon et une faible proportion de sable moyen ainsi qu'une quantité importante du ciment dans ces fines.

DOUARA et al **(48)**, ont trouvé que le module de finesse du sable recyclés (2,69) est inférieur à celui de sable naturel (3,47). Par contre, DEBIEB **(33)**, a constaté que le module de finesse de sable recyclé est supérieur à celui de naturel (3,33 et 2,72) respectivement. Des résultats similaires ont été reporté par GASTI **(49)**, dont un module de finesse de 5,80 a été trouvé pour le sable recycle et de 2,59 pour le sable naturel.

II.6.2 Masse volumique

Une chute de la masse volumique des granulats recyclés qui sont assez peu compacte et par conséquent beaucoup plus poreux par rapport au gravier naturel a été reporté (Tableau I.2)

Tableau I. 2. Masse volumique apparente et absolue des granulats naturels et recyclé **(50)**

	Granulats naturels	**Granulats de béton recyclés**
Mv apparente (kg/m^3)	**1600**	**1244**
Mv absolue (kg/m^3)	**2650**	**2500**

Les masses volumiques (apparente et absolue) diminuent avec l'augmentation de la fraction granulaire. Aussi, les granulats naturels et les granulats recyclés ayant des masses volumiques absolues semblables. Par contre, les masses volumiques apparentes des granulats recyclés sont inférieures à celles des granulats naturels (Tableau I.3) :

Tableau I.3. Masse volumique apparente et absolue des granulats naturels et recyclés **(48)**

	Granulats Naturels			**Granulats Recyclés**		
	8/15	**3/8**	**S.C. N**	**8/15**	**3/8**	**S.C. R**
Mv_a	**1.33**	**1.36**	**1.30**	**1.18**	**1.22**	**1.18**
Mv_s	**2.46**	**2.54**	**2.65**	**2.43**	**2.56**	**2.52**

II.6.3 La porosité

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**(51)**, 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% **(52)**

II.6.4 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 **(53)**. 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 deçà de 1%, mais peuvent augmenter jusqu'à une valeur de 5%. **(54)**

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 **(55)** 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.

II.6.5 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 **(56)**. 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 **(57)**. La résistance à l'abrasion est donc directement liée à la quantité du mortier résiduel **(56)**.

II.7 L'effet des granulats recyclés sur les caractéristiques des BAP

II.7.1 L'état frais

II.7.1.A Ouvrabilité

Bourmatte N. **(58)** A étudié l'influence de substitution de granulats naturels par des granulats recyclés sur l'ouvrabilité de béton ordinaire Figure I.10

Elle a constaté une augmentation du besoin en eau de tous les bétons étudiés avec le taux de substitution en granulats recyclés, par conséquent une augmentation du rapport Eau/Ciment est inévitable.

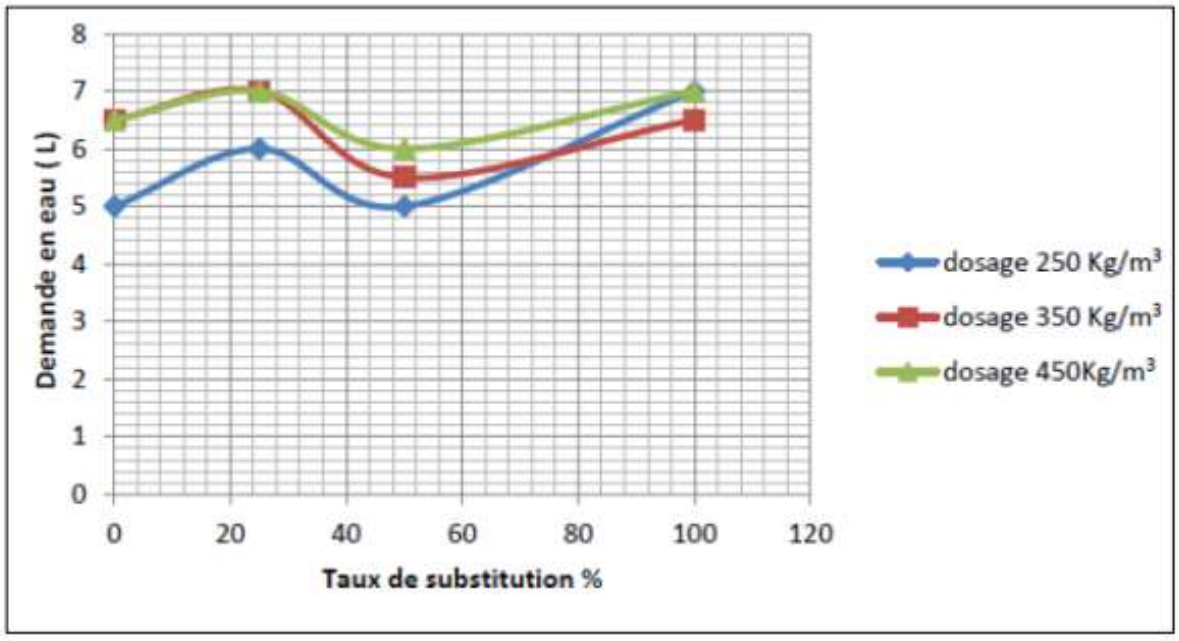


Figure I. 10. Variation de la demande en eau en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)**

Matar et El Dalati **(59)**, ont trouvé aussi que l'affaissement diminué et l'ajout d'eau augmente avec l'augmentation de substitution de granulats naturel par de granulats recyclés Figure I.11.Ils ont expliqué cette diminution d'ouvrabilité par l'absorption d'eau par les granulats recyclés qui

sont la conséquence de la présence d'une structure alvéolaire de l'ancien mortier collé aux granulats.

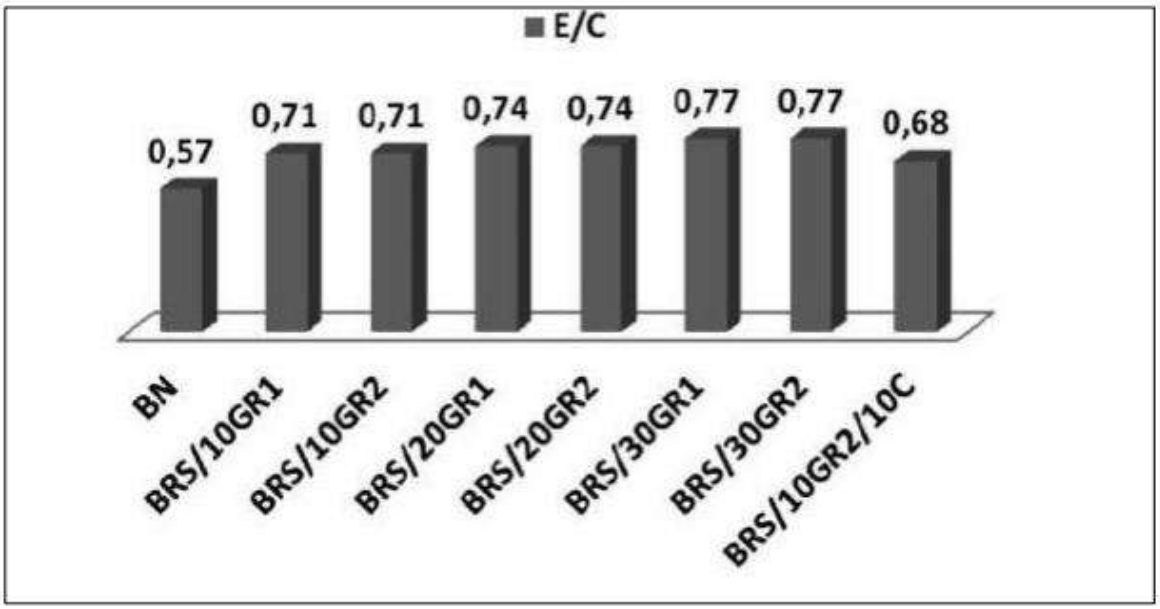


Figure I. 11. Rapport E/C des bétons à base de granulats recyclés **(59)**

II.7.1.B L'air occlus

La variation de l'air occlus des bétons en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton étudié par Bourmatte N. **(58)** est présentée dans la figure I.12 :

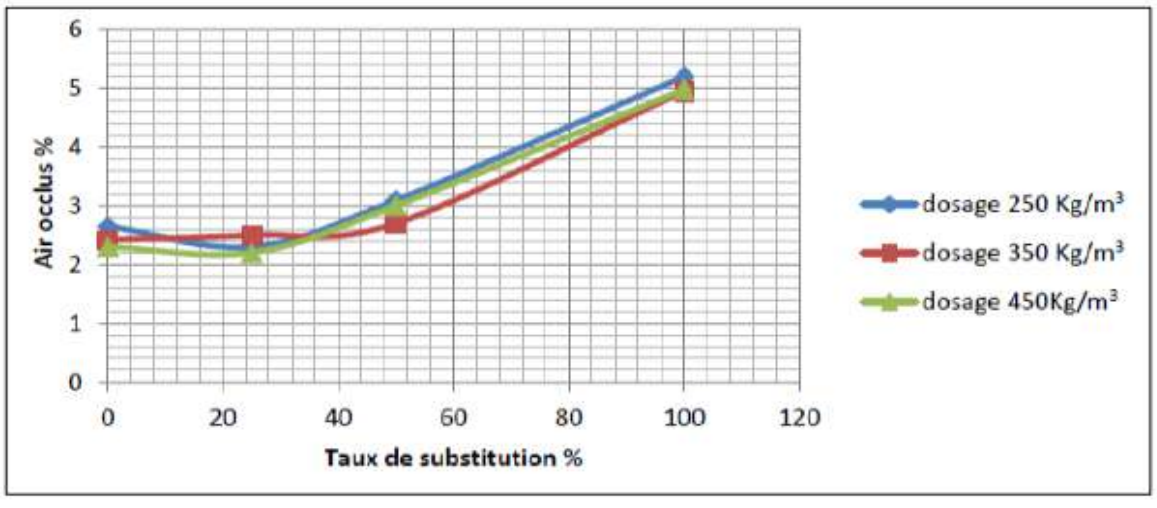


Figure I. 12. Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)**

Les résultats obtenus montrent que l'air occlus du béton augmente avec l'augmentation du pourcentage de substitution de granulat naturel par les granulats recyclés. Bourmatte N. **(58)** a

expliqué cette augmentation de la quantité d'air par la forme et la rugosité des granulats recyclés, qui peuvent impliquer une plus grande difficulté pour les bulles d'air à s'extraire du béton pendant la vibration

II.7.1.C Densité

Bourmatte N, **(58)** a étudié l'influence du remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés sur la densité de béton ordinaire Figure I.13

Elle a trouvé que la densité est diminuée avec l'augmentation du pourcentage de granulats recyclés. Et expliqué cette diminution par la faible densité de granulats recyclés par rapport à la densité des granulats naturels.

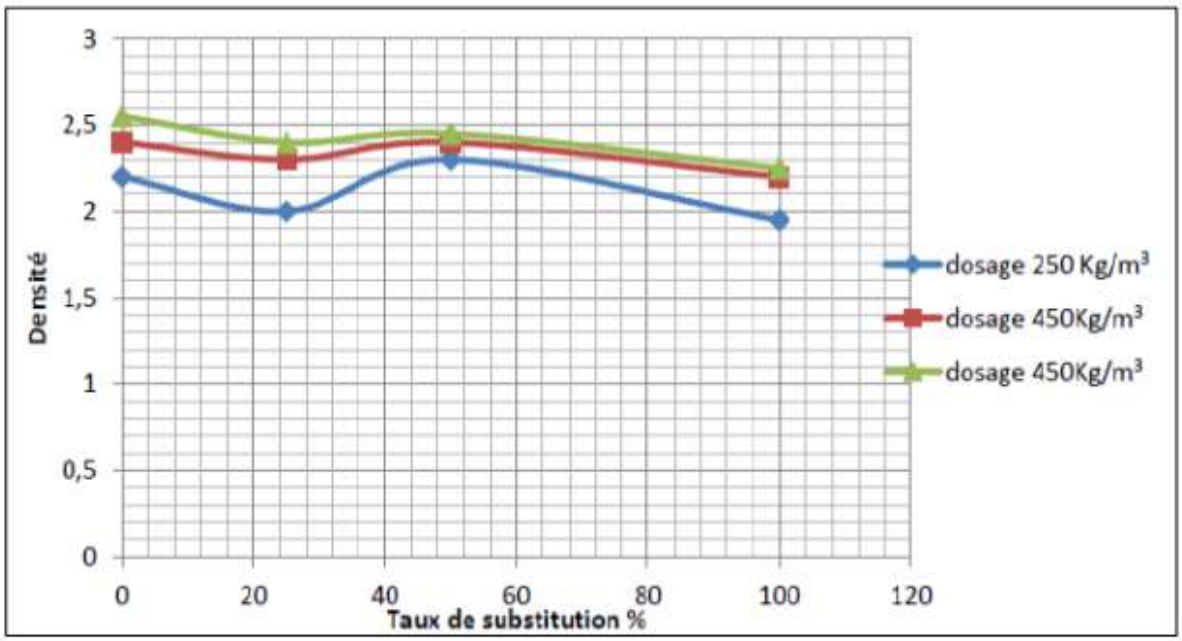


Figure I. 13. Variation de la densité du béton frais en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **(58)**

II.7.2 L'état durcis

II.7.2.A Absorption du béton durci

Dans le béton contenant des granulats recyclés, il y a une forte croissance de l'absorption de l'eau. Le Tableau I.4 présente les résultats d'absorption d'eau obtenus par **(60)** dans différents types de béton. Les mélanges témoins avec granulat naturel sont ceux marqués avec RC et RCS. Les valeurs d'absorption ont augmenté avec le pourcentage de granulats recyclés mixtes, et plus fortement dans les bétons contenant des granulats recyclés mélangés avec des particules flottantes. Ce comportement a été principalement attribuable aux différences dans l'absorption d'eau de granulats recyclés et granulats naturels. **(61)**

Tableau I 4. Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés **(60)**

Concrete	Total water absorption (wt%)	% Increase
RC	3.64 ± 0.084	0.00
RCF-25	4.13 ± 0.030	13.39
RCF-50	4.65 ± 0.008	27.63
RC-25	3.94 ± 0.010	8.27
RC-50	4.53 ± 0.086	26.18
RCS	2.91 ± 0.147	0.00
RCFS-50	3.96 ± 0.025	36.19
RCS-50	3.80 ± 0.137	30.82

II.7.2.B La porosité

Matar et El Dalati **(59)** ont trouvé que la porosité de béton ordinaire augmente avec l'augmentation d'incorporation de granulats recyclés Figure I.14. Ils ont expliqué cette augmentation par la porosité des granulats recyclés et elle augmente avec l'augmentation du rapport E/C

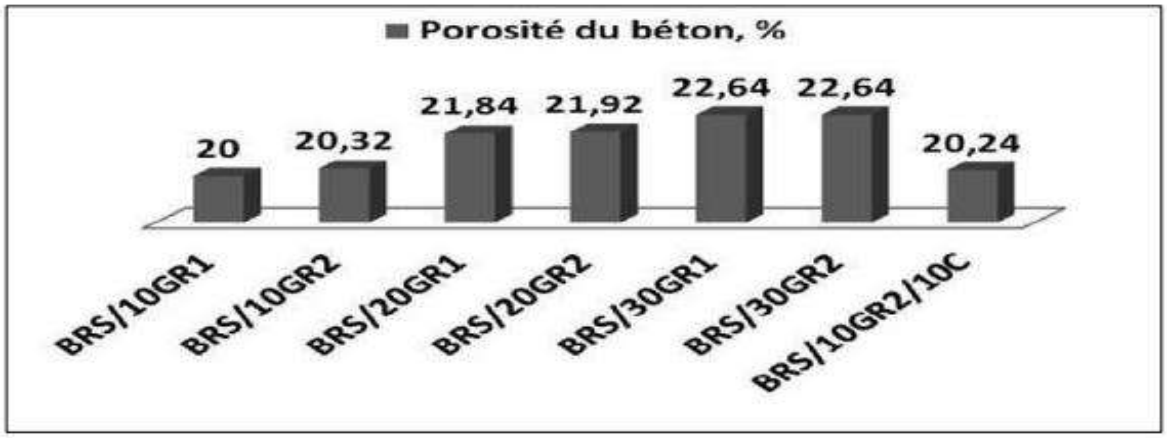


Figure I. 14. Porosité des bétons à granulats recyclés **(59)**

II.7.2.C La résistance à la compression

Bourmatte N **(58)** constaté que la résistance à la compression des bétons diminue lorsque le pourcentage en granulats recyclés augmente Figure I.15.

Ils ont lié cette diminution à la mauvaise adhérence entre la pâte cimentaire et les granulats recyclés. Ces résultats confirment les résultats de Matar et El Dalati **(59)**

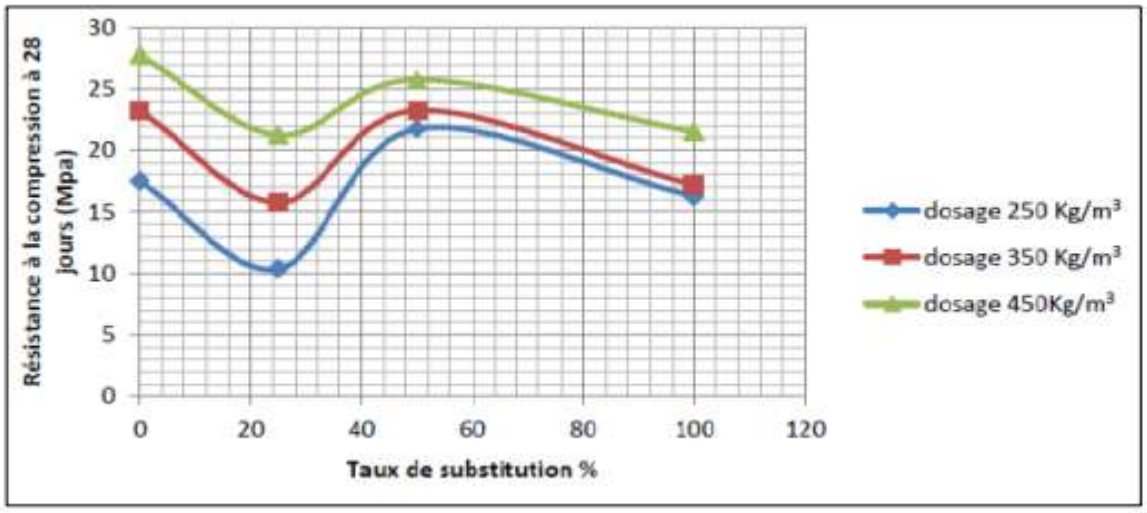


Figure I. 15. Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton Pour les trois dosages à 28j **(58)**

D'après l'étude de Berrdjeme.L et all la résistance à la compression des bétons recyclés évolue au cours du temps d'une façon similaire que le béton témoin figure I.16.

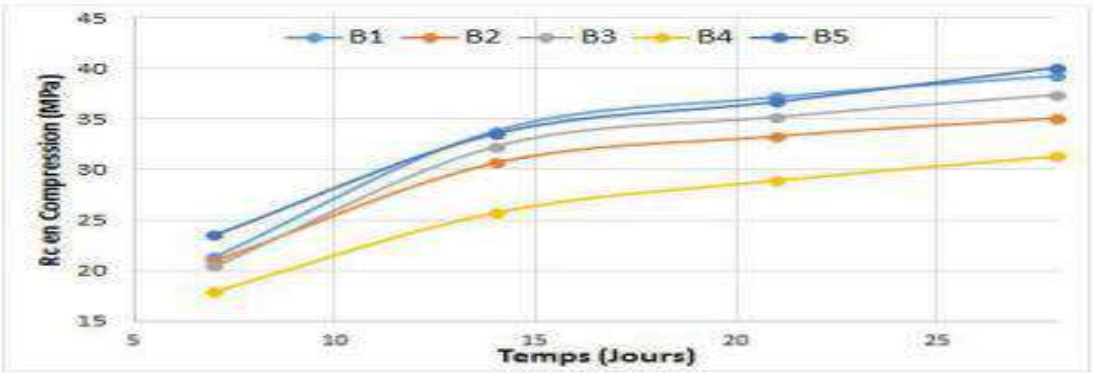


Figure I. 16. Évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps **(59)**

Cependant, elle chute en fonction du remplacement en granulats recyclés, sables B2 et gravier B3 et les deux en même temps B4. A 28 jours le béton B5, composé de 75 % de granulats naturels et 25% de granulats recyclés présente une meilleure résistance que ce soit en compression ou en traction par fendage. Pour le béton B4 constitué de 100% granulats recyclé, la chute de résistance est de l'ordre de 23% par rapport au béton B5 et 16% par rapport au béton témoin B1 100% granulats naturelles.

II.7.2.D La résistance à la traction

L'écart de résistance en traction entre les bétons naturels et recyclés est assez faible par rapport à celui observé en compression.

Il semble aussi que l'état de surface des granulats a un rôle important dans la résistance à la traction car la rugosité des granulats recyclés est très importante et par conséquent a amélioré l'adhérence pâte granulat Tableau I.5 et Figure I.17

Tableau I 5. Caractéristiques mécaniques des granulats naturels et recyclés **(62)**

Composants	*Unité*	*Types de Béton*				
		BT	*B1*	*B2*	*B3*	*B4*
CEM II 42,5	kg/m³	350	350	350	350	350
Sable Roulé	kg/m³	627	--	--	--	--
Sable Naturel		--	837	--	818	--
Sable Recyclé		--	--	667	--	588
Gravier Naturel 5/12,5	kg/m³	565	400	--	--	493
Gravier Naturel 12,5/20		630	542	--	--	720
Gravier Recyclé 5/12,5		--	--	380	317	--
Gravier Recyclé 12,5/20		--	--	620	571	--
Eau: Calculée	litres	193	163	163	193	193
Ajoutée		0	63	52	22	43
Totale		193	226	215	215	236
Affaissement au cône	cm	6,5	7,5	6,5	8,0	7,5

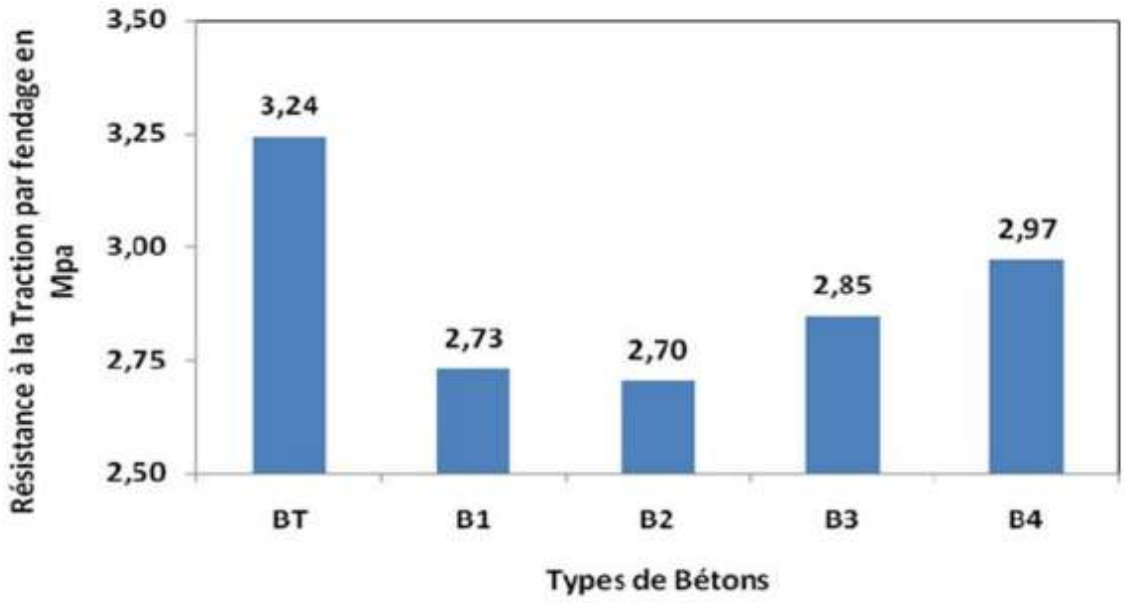


Figure I. 17. Evolution de la résistance en traction par fendage à l'âge de 28 jours pour les bétons à différentes combinaisons granulaires **(62)**

III. Effet de cure

La cure du béton est la protection mise en œuvre pour éviter une dessiccation de surface du béton, pour lui assurer une maturation satisfaisante et donc favoriser son bon durcissement**(63)**

III.1 Rôle de la cure

Lors du durcissement du béton, et particulièrement quand les conditions atmosphériques sont défavorables (vent, soleil, hygrométrie faible, temps sec), il convient d'éviter que l'eau du béton ne s'évapore avant d'avoir hydraté l'ensemble des grains de ciment, car après bétonnage, le béton doit conserver son eau pour que l'hydratation et la montée en résistance se développent dans de bonnes conditions. **(63)**

La cure, qui est obligatoire pour tous les bétons, représente l'ensemble des précautions qu'il faut prendre pour protéger le béton entre sa mise en place jusqu'au développement d'une résistance suffisante.

Elle est essentielle pour garantir la durabilité du béton car l'absence de cure est souvent une cause de fissuration de la surface du béton. **(63)**

Elle permet de protéger de la dessiccation (perturbation de l'hydratation par manque d'eau) la peau du béton au jeune âge : zone qui doit présenter une porosité minimale. **(63)**

La cure est réalisée **(63)** :

- Soit par limitation de l'évaporation
- Soit par apport d'eau à la surface du béton

Elle doit protéger le béton au jeune âge contre **(63)** :

- La dessiccation provoquée par le vent, le soleil, le faible taux d'humidité de l'air ambiant
- Les températures extrêmes : chaudes et froides, et les variations de températures
- Les aléas climatiques : intempéries
- Permet aussi de limiter le retrait plastique

La cure est particulièrement nécessaire pour les dalles et les chaussées, qui offrent une grande surface favorisant l'évaporation. **(63)**

III.2 Pathologies liées à l'absence de cure

L'absence de cure génère des effets négatifs sur le béton **(63)** :

- Des effets visibles sur la surface du béton :
  - Risque de fissuration du béton de surface dû au retrait plastique (phénomène identique au séchage d'une argile)
  - Surface résistant mal à l'abrasion et sur laquelle les revêtements adhèrent mal (poudroiement de surface, farinage...)

- Un effet non visible sur la porosité et la durabilité du béton :
  - Mauvaise hydratation du ciment en surface et donc augmentation de la porosité du béton d'enrobage.
  - Réduction des performances du béton d'enrobage des armatures et plus grande sensibilité aux agents agressifs (co2, chlorure…).

III.3 Procédés de cure

Le procédé de cure consiste à appliquer, dès la fin de la mise en place du béton, selon les caractéristiques de l'ouvrage, les méthodes suivantes **(63)** :

- Maintien du coffrage en place
- Application par pulvérisation d'un produit de cure conforme à la norme NF P 18-370 et bénéficiant de la marque NF produit de cure, à un dosage de 100 à 300 g/m2
- Apport d'eau pour maintenir la surface du béton humide : brouillard d'eau, film d'eau, arrosage léger
- Mise en place de bâches étanches à la vapeur : film polyane (fermées le long des joints ou des arêtes pour éviter les courants d'air)
- Mise en place de géotextiles (humidifiés régulièrement)

III.4 Produits de cure

Selon la norme NF p 18-370), un produit de cure est un produit dont l'application sur les surfaces des bétons (ou des mortiers) exposées aux agents atmosphériques permet de s'opposer à l'évaporation de l'eau contenue dans le béton (ou le mortier)pendant la phase de prise et de durcissement.

Le produit de cure forme un film protecteur à la surface du béton. Il est généralement composé d'un solvant organique ou d'eau (émulsion) appelé véhicule, d'un liant (résine ou polymère en général) et, éventuellement, de charges minérales (dioxyde de titane par exemple).

Les produits de cure sont de plus en plus biodégradables (en phase aqueuse) et coloré (contrôle facile de la régularité et de la continuité de l'application). Ils sont pulvérisés sur le support : pulvérisation manuelle, rampe de pulvérisation **(63)**

III.5 Début d'application et durée de la cure

Il convient de « curer » le béton **(63)** :

- Dès la fin de la mise en œuvre pour les bétons non coffrés
- Pour les bétons horizontaux : dès la fin des opérations de surfaçage
- Pour les verticaux : dès le décoffrage
- Et toujours quelles que soient les conditions climatiques
- La cure s'applique aux surfaces horizontales et aux surfaces verticales

La durée minimale de cure (variable de 1 à 15 jours) est en fonction **(63)** :

- De la formulation du béton
- De la cinétique de prise et de montée en résistance du béton
- De la température à la surface du béton (et non pas à l'extérieur du coffrage)
- Des conditions ambiantes : température ambiante, humidité relative, vitesse du vent, ensoleillement

III.6 Effet de température de cure sur la résistance

Le béton autoplaçant se distingue du béton vibré par sa grande fluidité combinée à sa capacité de passage même dans les zones les plus encombrées sans vibration ou compactage, et à son importante résistance à la ségrégation et au ressuage. Ces propriétés clés peuvent être modifiées par excès ou manque d'eau ou du superplastifiant. Les conditions de cure peuvent également affectées la qualité du BAP à l'état frais. En effet, une augmentation de la température corrélée à une baisse d'humidité relative peut mener à une évaporation de l'eau de malaxage, ce qui conduit à un béton de faible fluidité avec difficulté de mise en place sans vibration.

III.6.A La résistance à la compression

La résistance à la compression est influencée par plusieurs facteurs à savoir : le rapport E/C, la teneur en ciment, les conditions de cure et l'utilisation des matériaux d'additions. Il est connu que l'augmentation de la température ambiante est avantageuse pour accélérer le développement de la résistance aux jeunes âges. Cependant, les résistances à moyens et long terme, L'effet des conditions de cure sur la résistance des BAP a été examiné par Zhao et al. **(65)**. Dans leur travail, les auteurs ont déterminé la résistance des BAP curés dans divers environnements (PW-3, PW-7 et PW14 : cure humide partiel respectivement de 3, 7 ou 14 jours à T=20±1 °C et HR= 100%, complété par une cure dans une chambre climatique à T=28-32 °C et HR= 75-85% jusqu'à 28 jours, FW : cure humide de 28 jours à T=20±1 °C et HR= 100%, FS : cure standard de 28 jours à T=20±1°C et HR= 95-100%, et FR : cure dans une chambre à T=28-32 °C et HR= 75- 85% durant 28 jours).

Selon Soroka **(66)**, la température élevée el le possible départ d'eau par évaporation selon la valeur de l'humidité relative exercent des actions opposées sur les propriétés mécaniques du béton, dès le jeune âge. Ramezanianpour et Malhotra **(67)** ont observé que le gain de résistance initiale obtenu par les bétons durcis à 38°C et 65%d'humidité relative en comparaison avec celles des bétons durcis sous cure humide ne sont pas maintenus à long terme. Les résistances à la compression à 180 jours sont significativement plus faibles que la résistance des bétons durcis dans une cure humide. L'absence de durcissement du béton dans une cure humide affecte négativement sa résistance à la pénétration des ions de chlore et cela affecte sa résistance à la compression

Bingöl et Tohumcu **(69)** montrent que les valeurs les plus élevées de la résistance à la compression ont été mesurées sur les spécimens après 28 jours de cure

L'augmentation de la durée de cure conduit à une augmentation de la résistance à la compression. Le durcissement à l'air réduit la résistance à la compression et les valeurs de résistance les plus faibles sont obtenus à partir de spécimens conservés dans l'air

. D'autres chercheurs, ZAH **(65)** ont montré que le développement de la résistance à la compression et à la flexion des BAP dépend de la durée de cure initiale. Une durée de cure initiale de 7 jours permet de développer rapidement des résistances mécaniques. Hans et al. **(70)**, ont montré que le traitement thermique des BAP influence sur la taille des pores et la distribution des tailles de pores. Vinh-An Le **(71)** observe qu'il est possible de conserver les propriétés des BAP

à la fin du malaxage lorsque la température initiale du mélange s'accroît de 20°C à 50°C. De plus, l'augmentation de la température initiale du béton de 20°C à 50°C favorise les résistances mécaniques à la compression. La maturation du béton autoplaçant est communément admise comme le paramètre responsable du bon développement des propriétés du matériau. Dans des conditions de température élevée, la pâte de ciment subit des changements physiques et chimiques susceptibles d'affecter significativement les propriétés mécaniques et la durabilité des structures en béton. De nombreuses études ont été menées afin d'éclaircir l'influence de la période de cure initiale par temps chaud sur les différents mécanismes impliqués durant l'hydratation des bétons. Certains chercheurs LIN **(72),** ont abordé dans leur analyse de l'effet de la durée de cure initiale du béton par temps chaud. Ils ont montré que les BAP conservés dans l'eau développent mieux leur résistance mécanique en comparaison avec les BAP conservés pendant 3, 7 et 14 jours dans l'eau puis conservés dans le climat chaud. Par contre, certains auteurs ZAH **(65),** ont constaté que la période de cure de 7 jours dans l'eau suive d'un murissement dans le climat chaud permettent un meilleur développement des résistances mécaniques. A la lumière de la littérature des conclusions divergentes entre les chercheurs sur l'effet de la durée de cure de BAP et sur l'évolution de la résistance, la présente étude s'intéresse à analyser l'effet du mode et la durée de cure initiale du béton autoplaçant par temps chaud. L'objective de notre travail est d'étudier l'effet du climat chaud sur les propriétés des BAP à l'état frais et à l'état durci. **(73)**

L'étude de Abdullah et Almusallam **(74).** Montre l'effet du climat. Chaud sur les propriétés du béton exposé aux différentes conditions climatiques. L'effet de la température, le vent et l'humidité relative sur le retrait plastique. La résistance à la compression et la porosité ont été étudiés. Les principaux résultats ont montré l'effet du climat sévère et les conditions météorologiques sur la détérioration du béton et de ses propriétés {fissuration, résistance à la compression). Une température trop élevée affecte la porosité du béton

Berhane **(76)**, a étudié l'effet du climat chaud et humide sur la résistance à la compression du mortier, les variables de cette étude étaient la température de l'air, du mortier et le type de ciment. Il affirme que le climat chaud à une influence négative sur la résistance à la compression à 28 jours, cette dernière chute avec l'utilisation d'une classe cimentaire très élevée.

La variation de la résistance en compression des BAP suivant la durée de cure initiale et le mode de cure est présentée dans la figure I.18 On a constaté clairement que le mode de cure joue un rôle important sur les résistances mécaniques. La résistance en compression des BAP conservées

dans l'eau est supérieure à ceux conservés dans le climat chaud quel que soit l'âge et le rapport E/L. En outre, la durée de cure initiale contribue aussi au développement des résistances mécaniques. Nous constatons sur la figure I.18, que la durée de cure initiale de 7 jours est bénéfique au développement de la résistance à la compression en comparaison avec celle des éprouvettes conservées dans les autres milieux. Ce résultat a été également observé par ZAH **(65)**, qui ont utilisés un BAP à base d'un ciment contenant de cendre volante. Nous constatons sur la figure I.18 que les BAP avec un rapport E/L=0,44 conservés dans le climat chaud présentent de faible résistance en compression quel que soit l'âge. En revanche, les BAP avec un rapport E/L=0,32 pour une durée de cure de sept jours ont des résistances mécaniques importantes. La résistance à la compression des BAP avec du rapport E/L=0,32 à 90 jours est la plus élevée. L'augmentation maximale de la résistance est de 9,3% par rapport à celles conservés à 28 jours. De façon similaire, pour les BAP avec E/L= 0,38, la résistance augmentes de 16,5%. De même, la résistance en compression des BAP ayant un rapport E/L=0,44 à 90 jours est supérieure de 7,4%

Ces phénomènes peuvent être expliqués par le fait que, dans le cas du mode de cure avec un climat chaud, l'hydratation se fait seulement par l'eau de gâchage, d'où l'importance de la dispersion efficace des grains au début, avant l'évaporation de l'eau. Par contre, dans le cas de cure humide, la présence de l'humilité importante favorise l'hydratation continue. Cependant, en dehors du mode de durcissement dans le climat chaud, les éprouvettes conservées pendant 7 et 14 jours dans l'eau puis dans la condition de climat chaud ont des résistances à la compression à 90 jours plus élevées par rapport à celles des éprouvettes murissent complètement dans l'eau. Ceci peut être attribué à la différence d'humidité relative (HR).

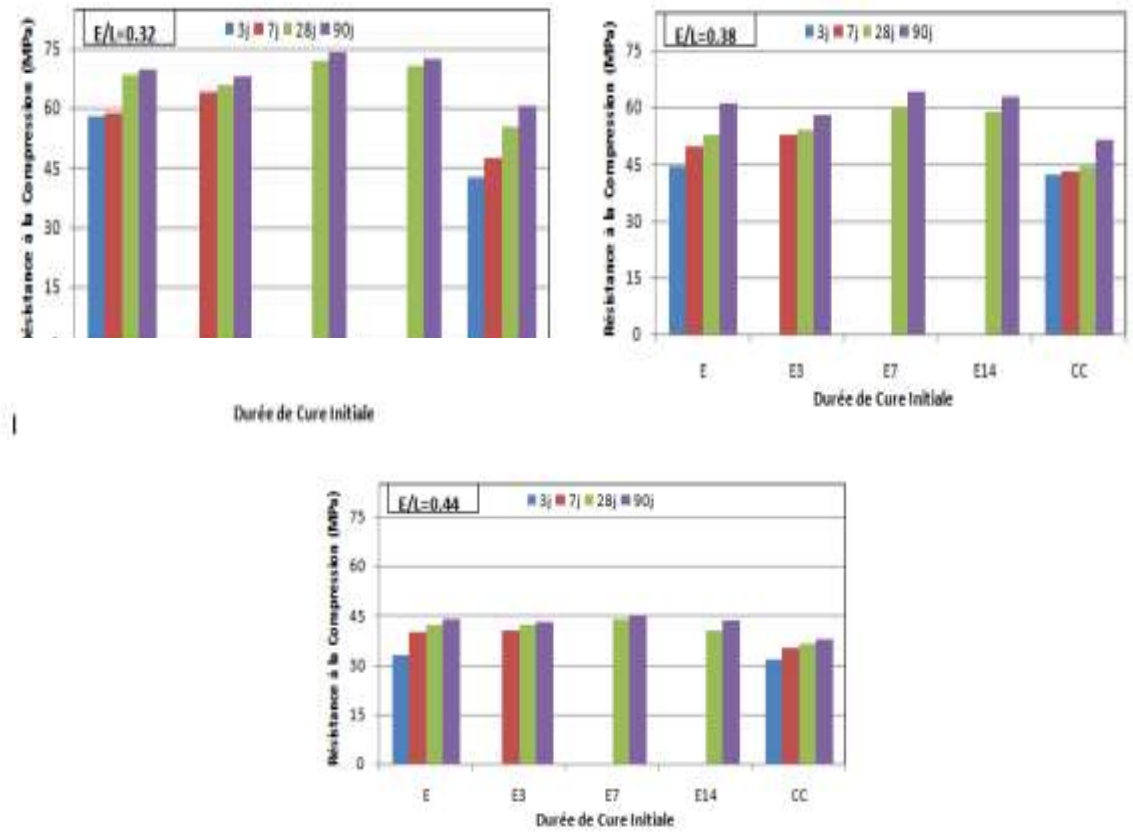


Figure I. 18. Effet de la durée et du mode de cure sur la résistance à la compression.

III.7 Effet de température de cure sur la durabilité

III.7.1 La carbonatation

La carbonatation est l'un des essais qui contrôlent la durabilité du béton armé. Ce phénomène se développe progressivement à partir de la surface extérieure du béton en raison de la disponibilité de CO2 dans l'air. Ce dernier entre en réaction avec les composants du ciment hydratés en présence de l'humidité conduisant à une réduction du pH de béton. Dans les bétons armés, les barres d'armatures sont protégées par le béton à cause de son pH élevé (12,6 à 13,5). Lorsque le béton est carbonaté, son pH descend à 8,3 induisant ainsi une oxydation des barres d'acier.

L'effet des conditions de cure sur la profondeur de carbonatation a été examiné par Zhao et al. **(65)** . La variation de la résistance de BAP en fonction de différentes périodes de cure dans l'eau (3, 7, 14 et 28 jours) est illustrée sur la figure I.19 montre l'effet de cure dans trois environnements différents (FW : cure humide de 28 jours (T=20±1 °C et HR= 100%), FS : cure standard de 28 jours (T=20±1 °C et HR= 95-100%) et FR : cure dans une chambre climatique à T=28-32 °C et HR= 75-85%). Les résultats révèlent une augmentation de la profondeur de la

carbonatation avec l'âge du béton et ce indépendamment du mode de cure. Une cure initiale de 7 jours semble être le plus efficace, car elle donne de faibles profondeurs de carbonatation Les BAP conservés dans l'environnement FR a une profondeur de carbonatation plus faible par rapport à ceux de l'environnement FW ou FS

D'après Zhao et al **(65)**, les profondeurs de carbonatation de BAP augmentent de 3 jours à 28 jours d'âge. Une faible profondeur de carbonatation a été observé à 3,7,14 et 28 jours de 0 mm ,0.6 mm, 1.4 mm et 2.9 mm respectivement (figure I.19)

L'augmentation de la température et la diminution de l'humidité (T= 28°C et HR= 85%) donne une profondeur de carbonatation inférieure à celui de l'environnement standard de (T=20°C et HR=95%) et l'environnement humide de (T=20°C et HR= 100%)

Une bonne corrélation existe entre la résistance à la compression à 28 jours et la profondeur de carbonatation à 28 jours du BAP dans des différentes conditions de cure (figure I.20)

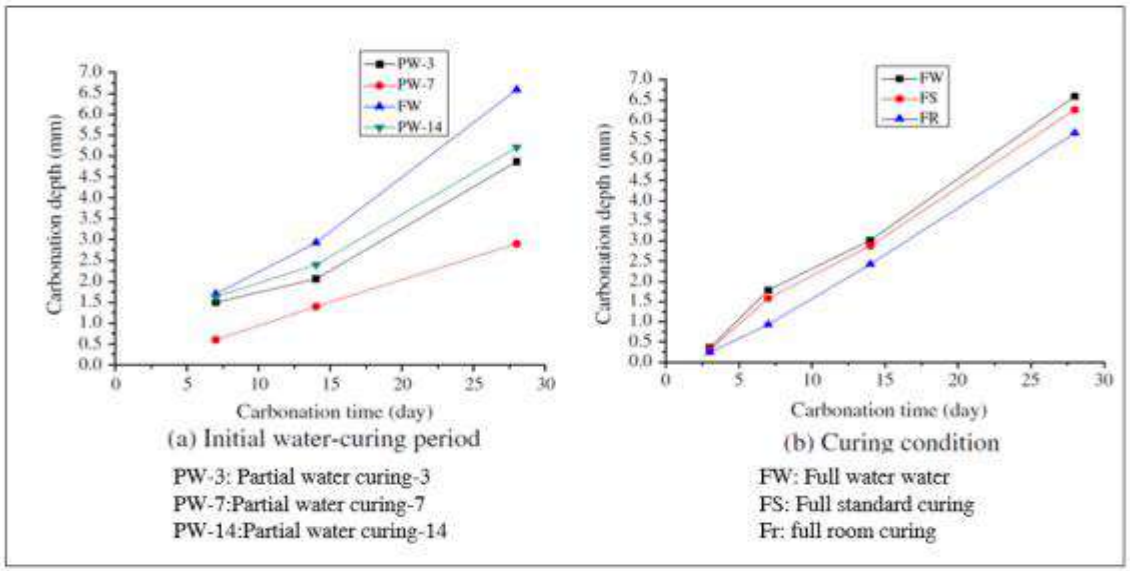


Figure I. 19. Profondeur de carbonatation dans des différentes initiale et conditions de cure **(65)**

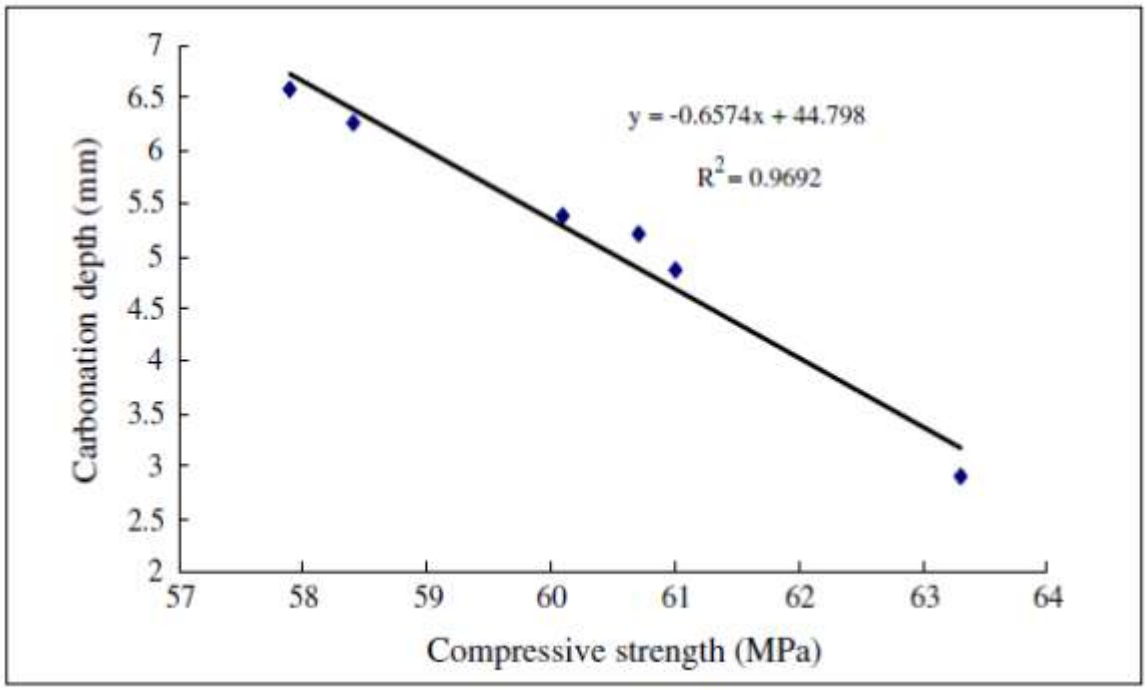


Figure I. 20. Corrélation entre la résistance à la compression et profondeur de carbonatation des BAP **(65)**

III.7.2 La diffusion des ions du chlorure

Plusieurs chercheurs ont montré que l'utilisation des bétons au laitier contribue au raffinement des pores et la diminution de la perméabilité. Mais peu d'études traitent de l'évolution de la résistance à la diffusion des ions chlore dans les BAP ayant subi des températures élevées de cure

Les résultats obtenus par Zhu et al **(77)**, révèlent que les BAP ont une meilleure résistance aux ions chlore que les BV pour une résistance donnée. Le coefficient de diffusion des ions chlorure des BAP avec durcissement en eau pendant une période initiale de cure de 3,7, et 14 jours sont respectivement de 2.08 x 10^{-12} m^2/s, 2.077 x 10^{-12} m^2/s et 4.276 x 10^{-12} m^2/s

Le BAP soumis à une durée de cure de 7 jours présente le plus faible coefficient de diffusion des ions chlorure

Zhao et al **(65)**, observent que le coefficient de diffusion d'un BAP (OPC + cendre volante + superplastifiant de type polycarboxylate) à l'âge de 28 jours n'est pas modifié même si les bétons sont soumis depuis leur confection à des températures de 28-32°C (75-85% HR)

III.7.3 L'absorption capillaire

L'eau est la principale cause de la dégradation des constructions. En fait, quand le béton est partiellement immergé dans l'eau, celle-ci pénètre à travers les pores au cœur du béton causant ainsi une corrosion des barres de ferraillage et un éclatement de béton suite aux cycles gel-dégel **(78)**. De Schutter et al **(79)**. Ont rapporté que l'absorption des BAP est très faible. Yahiaoui et al **(80)**. Ont montré que l'absorption d'eau par capillarité (I) d'un BAP à base de laitier de hauts fourneaux (LHF) est affectée non seulement par la composition du liant mais aussi par la durée initiale de cure dans l'eau.

Turkmen et Kantarci **(81)**, ont montré que le coefficient de capillarité dépend de la durée et des conditions de cure ainsi que du pourcentage de granulats légers expansé

Une bonne corrélation a été observé entre la sorptivité des BAP et la résistance à la compression

La résistance à la compression des bétons augmente en raison de l'hydratation et la sorptivité diminue en conséquence indiquant une microstructure plus dense

La porosité apparente des BAP à l'air libre augmente avec l'augmentation du rapport de granulats légers dans différentes conditions pour 28 jours de cure

III.7.4 La porosité

La porosité présente une évolution typique dans le temps, en fonction de la température de mûrissement. On distingue deux périodes : à très jeune âge, plus la température est basse, plus la porosité est élevée, ce qui s'explique par une cinétique lente de l'hydratation **(82)**

On observe une inversion des tendances avec des porosités d'autant plus fortes que la température augmente

Reinhardt et Stegmaier **(83)**, ont étudié l'influence de la température sur la porosité de BAP à maturité équivalente à 3 jours de cure isotherme à 20°C

Ils ont constaté que l'élévation de la température ne modifie pas significativement la porosité totale (figure I.21) mais qu'elle agit sur la répartition des pores en augmentant la quantité des petites tailles de pores capillaires

L'hydratation accélérée par la température diminue la porosité dans les premiers âges du béton

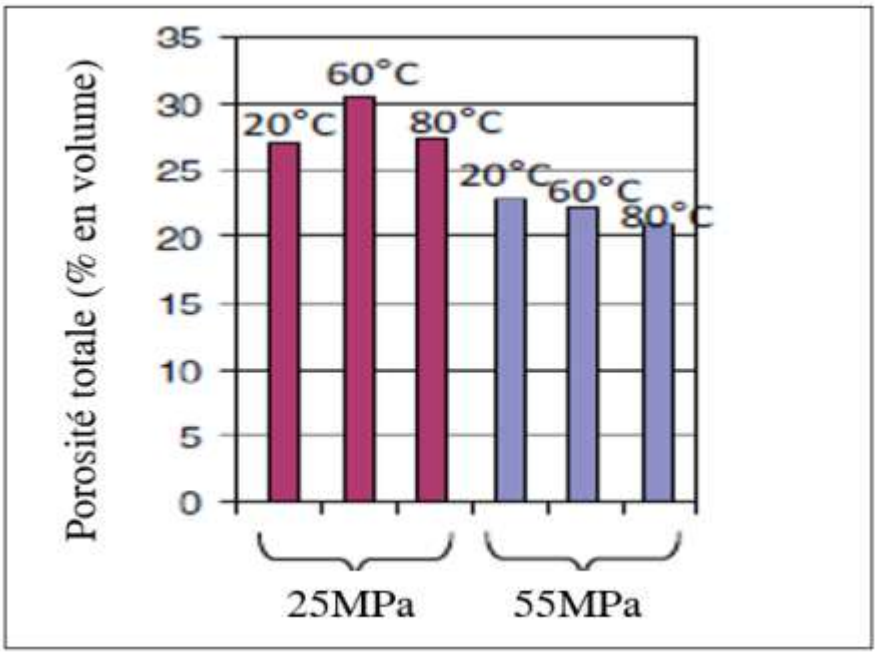


Figure I. 21. Porosité totale de BAP conservés à 20°C, 60°C et 80°C **(83)**

III.7.5 Le retrait

L'effet de cure humide sur le retrait endogène des bétons contenant des laitiers est très faible si on le compare au retrait endogène développé dans les bétons n'ayant pas subi de cure humide **(84)**

Oliveira et al **(85)**, ont focalisé leur travail principalement sur l'influence de la cure sur le retrait totale. Les résultats montrent également que la durée de cure est très bénéfique pour minimiser le retrait au jeune âge

La cure provoque une perte de masse de séchage plus faible qui a un effet de retard dans le développement du retrait

CHAPITRE 02 :

MATERIAUX ET ESSAIS

II.1 Introduction

Cet article est illustre sur une première partie de la présentation de l'ensemble des matériaux utilisés dans le cadre de ce travail, de comprendre le ciment, les granulats (sable et gravier) l'adjuvant Sur une instant partie, nous décrivons la formule pour normalisation adoptée et nous présenterons dans la poursuite les différents essais réalisés au cours pour notre analyse

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

II.2.A Ciment

Le ciment utilisé pour la préparation des différents mélanges est un ciment portland au calcaire NA 442 CEM II/B-L 42.5N provient de la cimenterie de hammam el dalaa (M'Sila). Ce ciment de couleur grise pour bétons de haute-performance destiné à la construction des ouvrages d'art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

Tableau II. 1. L'analyse chimique du ciment NA CEM II /B-L 42.5N **(86)**

ANALYSE CHIMIQUES	**VALEUR**
PERTE AU FEU (%)	8.0±2
TENEUR EN SULFATES (SO3) (%)	2.5±0.5
TENEUR EN OXYDE DE MAGNESIUM MgO (%)	1.7±0.5
TENEUR EN CHLORURES (%)	0.02-0.05

Tableau II. 2. Composition minéralogique du ciment NA CEM II /B-L 42.5N **(86)**

COMPOSITION MINERALOGIQUE	**VALEUR**
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7.5±1

Tableau II. 3. Propriétés physiques du ciment NA CEM II/ B-L 42.5N **(86)**

PROPRIETES PHYSIQUES	**VALEUR**
CONSISTANCE NORMALE (%)	26.5±2.0
FINESSE SUIVANT LA METHODE DE BLAINE (cm^2 /g)	3700-5200
RETRAIT A 28 JOURS (µm/m)	< 1000
EXPANSION (mm)	≤ 3.0

Tableau II. 4. Propriétés mécaniques du ciment NA CEM II / B-L 42.5N **(86)**

PROPRIETES MECANIQUES			
TEMPS DE PRISE A 20°C	**VALEUR**	**RESISTANCE A LA COMPRESSION**	**VALEUR**
DEBUT DE PRISE (min)	150±30	**2 JOURS (MPa)**	≥ 10.0
FIN DE PRISE (min)	230±50	**28 JOURS (MPa)**	≥ 42.5

II.2.B Granulats

II.2.B.1 Sable

Dans cette étude nous avons utilisé deux types de sable : Celui de ouedsouf et le sable recycle dont la classe granulaire est délivrées sous l'appellation commerciales sable 0/3. Les paramètres de caractérisations de ces types de sable sont dans le tableau II.4 et l'analyse granulométrique dans la figure II.1

Tableau II. 5. Caractéristiques des sables recyclé et naturel

Propriétés	**Types de sable**		**Normes**
	Naturel	**Recyclé**	
Provenance	**Oued souf**	**Béton concassé**	
Classe granulaire	0/3	0/3	-
Module de finesse	2,04	2,70	NA 2607 et EN 933-1
Mv absolue (g/cm^3)	2,632	2,474	NF EN 1097-6
Mv Apparente (g/cm^3)	1,563	1,310	NF EN 1097-3

Taux d'absorption (%)	0,5	8,63	NF P 18-554et18-555
Équivalent de sable (%)	65,57	77,98	NF P 18-598

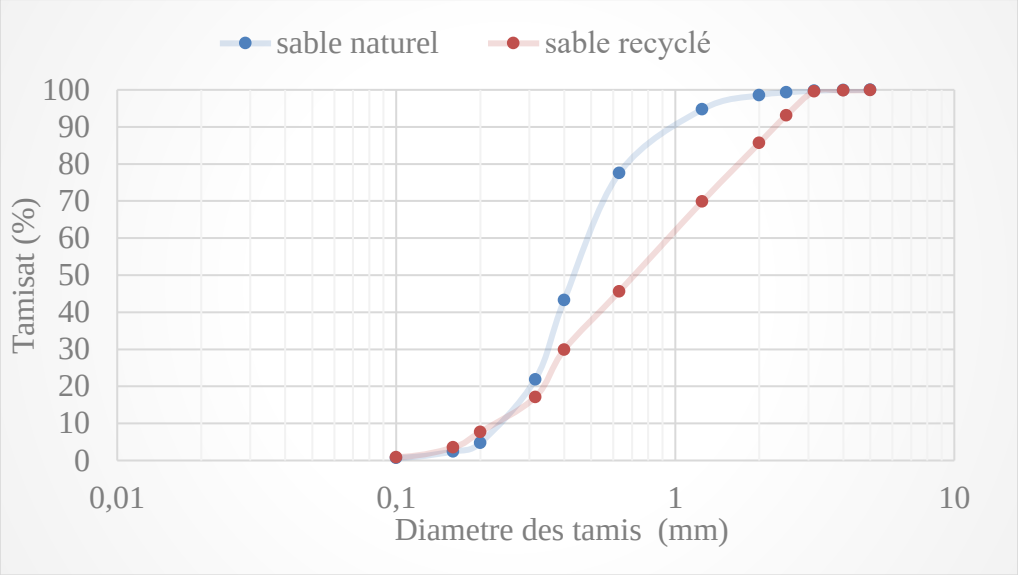


Figure II. 1. Analyse granulométrique du sable naturelle et sable recyclé

II.2.B.2 Gravier

Concernant le gravier naturel de boughzoul nous avons utilisé deux types de classe granulaire 3/8 et 8/15 pour faire un gravier 3/8 d'une classe granulaire similaire à celle du gravier recyclé qui est obtenu par le concassage des éprouvettes obtenue d'après la SETAM de la wilaya de Médéa. Les paramètres de caractérisations de ces types de sable sont dans le tableau II.5 et l'analyse granulométrique dans la figure II.2

Tableau II. 6. Caractéristiques du gravier recyclé et naturel

Caractéristiques	**Graviers naturel**		**Gravier recyclé**	**Normes**
Classe granulaire (mm)	3/8	8/15	3/15	-
Masse volumique absolue (g/cm³)	2,63	2,646	2,47	NF EN 1097-6
Masse volumique apparente (g/cm³)	1,297	1,348	1,296	NF EN 1097-3
Taux d'absorption d'eau (%)	0,5	0,5	5,315	NF EN 1097-6

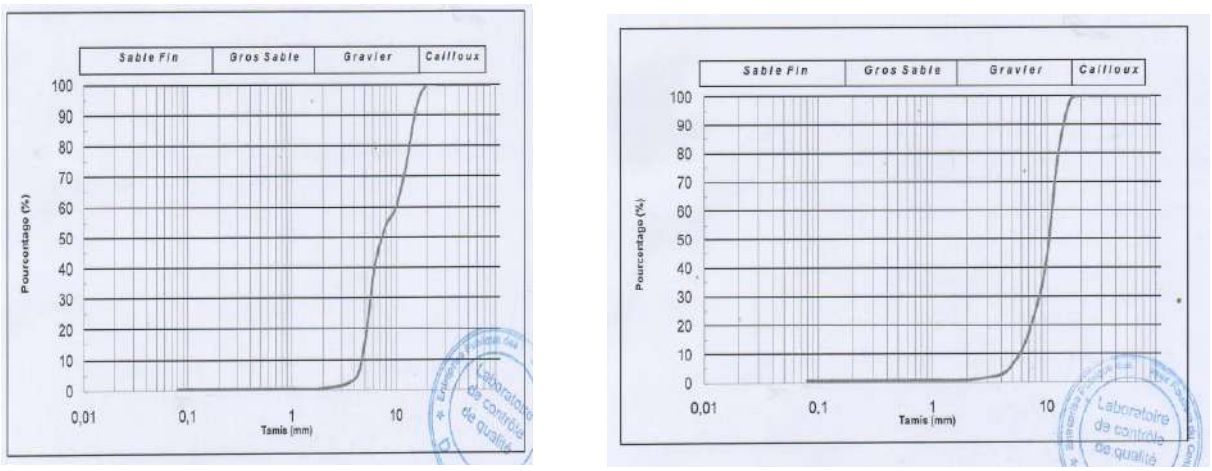


Figure II. 2. Analyse granulométrique du gravier naturel et gravier recyclé

II.2.C Le superplastifiant

Dans notre étude on a utilisé le Super plastifiant MEDAFLOW SP 30(figure II.3), produit par Granitex. Ce superplastifiant est aussi un haut réducteur d'eau. Il permet d'obtenir des bétons et mortiers de grande qualité en termes de résistance et de fluidité. En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. MEDAFLOW SP 30 permet également un maintien d'ouvrabilité sur une longue période (2heures).

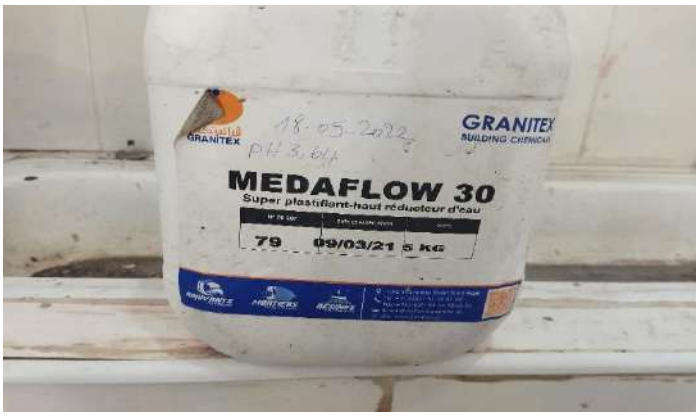


Figure II. 3. Superplastifiant MEDAFLOW SP 30

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

- Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton
- Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Tableau II. 7. Les caractéristiques de super plastifiant MEDAFLOW 30

Aspect	**Couleur**	**PH**	**Densité**	**Teneur en chlore**	**Extrait sec**
Liquide	Brun clair	6 - 6.5	1.07±0.01	< 0,1 g/l	30%

- Les domaines d'application du MEDAFLOW 30 sont **(87)** :
- Les bétons de préfabrication
- Les bétons prêts à l'emploi
- Les bétons lourds et légers
- Les bétons d'ouvrages d'art
- Les bétons de dallages industriels
- Les bétons de bâtiment
- Les bétons précontraints
- Les bétons pompés
- Les bétons pour fondations profondes
- Les bétons pour ouvrages fortement ferraillés
- Les bétons soumis à des milieux agressifs
- Les BHP, BTHP, BUHP et BFUP
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants
- Les bétons architectoniques

II.2.D Eau de gâchage

L'eau utilisée est l'eau du robinet de laboratoire

II.3 Fabrication du béton autoplaçant

Une fois le dosage en superplastifiant est optimisé à partir des essais sur mortier, on procédera aux essais sur le béton à l'état frais. La fabrication du béton a été basée sur la méthode japonaise dite la méthode générale, le calcul de dosage des différents constituant (ciment, sable, gravier, eau et superplastifiant) a été fait à l'aide d'un programme Excel basé sur cette méthode en tenant compte des caractéristiques des granulats (absorption, humidité…etc.). La méthode du malaxage adopté est celle de DOMONE et JIN **(88)**

- Malaxer le gravier (3/15) et le gravier (3/8), le gravier recyclé, le sable naturelle et le sable recyclé, le ciment pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau)
- Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau)
- Malaxer pendant 5 minutes
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes
- Malaxer pendant 30 secondes

II.4 Essai sur le béton autoplaçant

II.4.A A L'état frais

II.4.A.1Essai évaluant la fluidité (Étalement)

L'essai d'étalement est utilisé pour caractériser la fluidité des BAP. Il s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams. Cependant, l'affaissement est toujours supérieur à 25 cm, on mesure le diamètre moyen (moyenne sur deux diamètres orthogonaux) de la galette de béton obtenue au bout d'une minute **(89)**. Ce diamètre, appelé étalement D, donne une indication sur la mobilité du BAP dans un milieu non confiné. Les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 60à 85 cm. Il est possible aussi de mesurer le temps d'écoulement du béton pour atteindre un étalement de 50 cm (noté T50) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton. La figure II.4 représente schématiquement l'essai d'étalement.

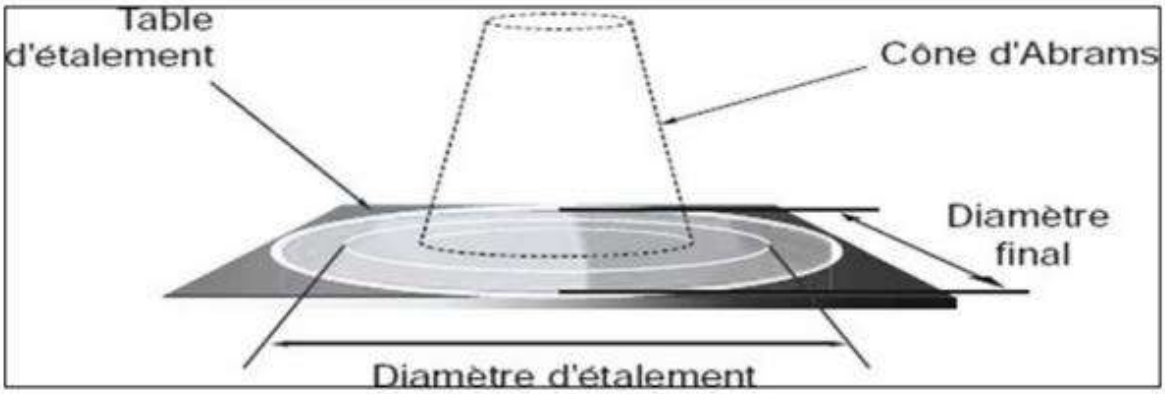


Figure II. 4. Représentation schématique de l'essai d'étalement

II.4.A.2Essai de boite en L

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. Le mode opératoire est exprimé d'après l'[AFGC] comme suit :

La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposé pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferraillage. La distance libre entre les barres est de 39 mm

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage H2/H1.Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation

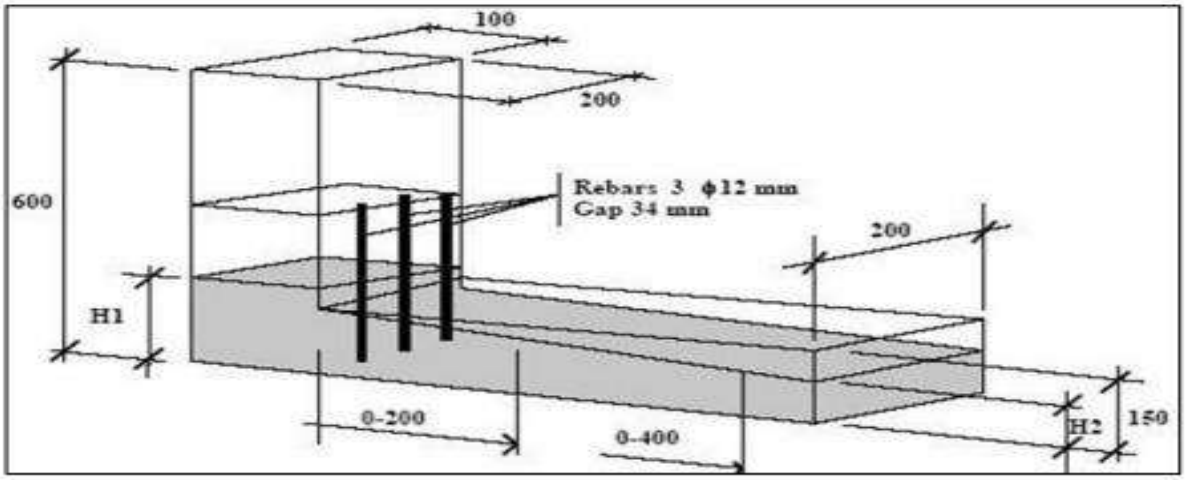


Figure II. 5. Représentation schématique de l'essai à la boite en L

II.4.A.3Essai de la boite en « U »

Cet essai sert à mesurer la capacité de remplissage du BAP dans un coffrage confiné et fortement ferraillé. La boite « U » divisé en deux parties symétriques R1 et R2 par une cloison centrale dont le fond est doté d'une trappe coulissante qui peut libérer la grille d'armatures figure II.6

L'essai de boite en « U » nécessite 16 l de béton et s'appuie sur la mesure de la hauteur H de béton dans la partie R2, après remplissage de la partie R1 et ouverture de la trappe. Dans ce cas, les auteurs estiment qu'un béton sera "autoplaçant" si la hauteur de remplissage H est supérieure à 30 cm

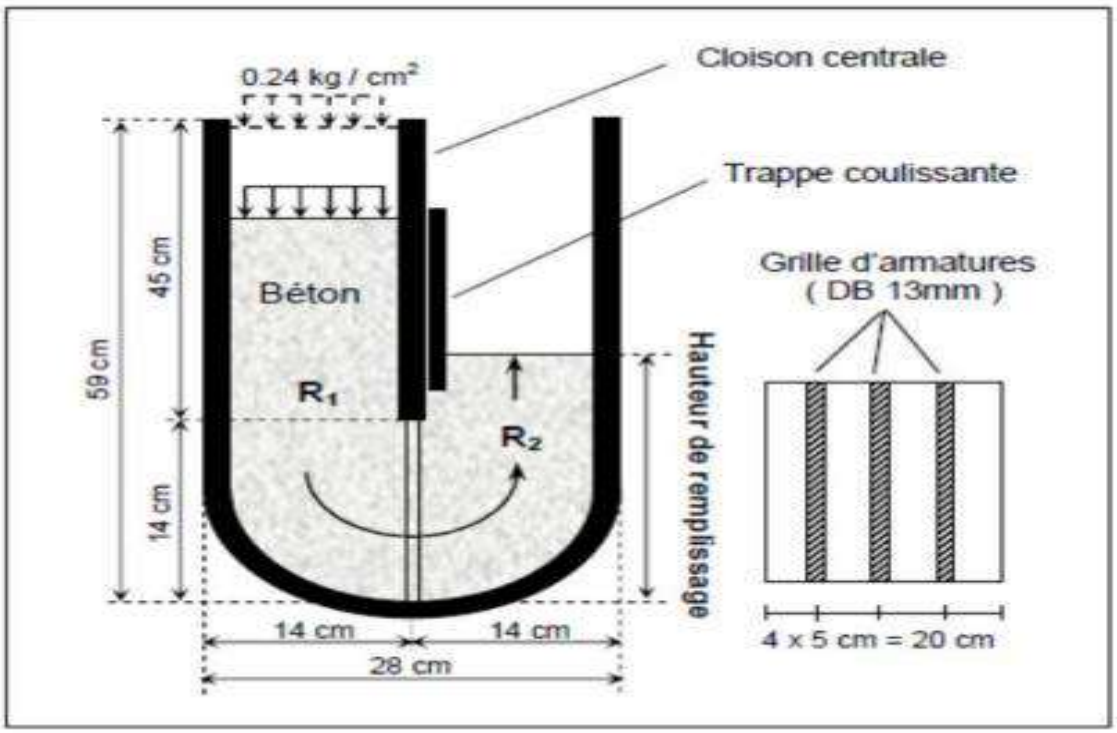


Figure II. 6. Schéma descriptif de la boite en « U » **(90***)*

II.4.A.4Essai de stabilité au tamis

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autonivelant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité [AFGC]

Cet essai consiste à l'utilisation d'un seau de 10 L avec un couvercle, un tamis de 5 mm de diamètre de 315 mm plus fond et une bascule de portée minimale de 20 kg et de précision de 20 g. Le mode opératoire d'après les recommandations de l'[AFGC] est le suivant : A la fin du malaxage, dix litres de béton sont versés dans le seau. Après quinze minutes, un échantillon de 4,8 kg est versé du seau sur le tamis, deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon donne l'indice de ségrégation, la mesure de cet indice conduit à classer les formules de BAP de la façon suivante :

- Entre 0 % et 15 % stabilité satisfaisante
- Entre15 % et 30 % stabilité critique, l'essai à refaire in situ
- 30 %stabilité très mauvaise, béton inutilisable



Figure II. 7. Essai de la stabilité au tamis

II.4.A.5 Essai à l'entonnoir en V (V-Funnel test)

Parmi les essais permettent d'évaluer la mobilité du béton en milieu confiné l'essai de l'entonnoir en forme de V (V funnel) est le plus utilisé **(91)**. Le dispositif d'essai est montré dans la figure II.8. La quantité du BAP nécessaire pour l'essai est de 15 litres, et les dimensions maximale des agrégats utilisés est de 20 mm Grâce à la mesure du temps d'écoulement à l'entonnoir, cet essai permet d'évaluer la capacité du béton à passer à travers les zones confinées. Il permet aussi de mesurer la viscosité du béton et il nous renseigne sur la stabilité du mélange Le temps d'écoulement du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes. Quelques recommandations visent un temps compris entre 5 et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante

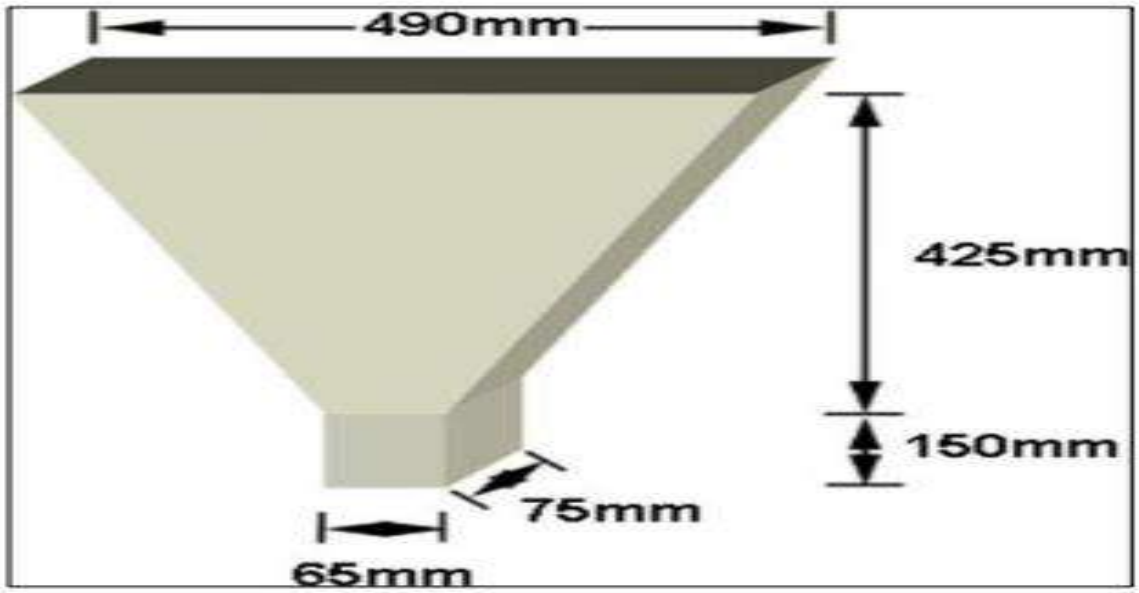


Figure II. 8. L'entonnoir en V

II.4.B À l'état durci

II.4.B.1 Essais de résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme EN 196- par compression Axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques après rompre en flexion à l'âge de 1, 3, 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN Figure II.9

La résistance à la Compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (03) Demi-prismes des trois éprouvettes.



Figure II. 9. Essais de résistance à la compression

II.4.B.2 Essai de traction par flexion

Les essais de flexion trois points sont réalisés à 28 jours de mûrissement du béton sur des éprouvettes prismatiques 7×7×28 cm.

Les échantillons sont soumis à un moment de flexion par application d'une charge constante et continue au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs en trois points sur une presse à vérin hydraulique

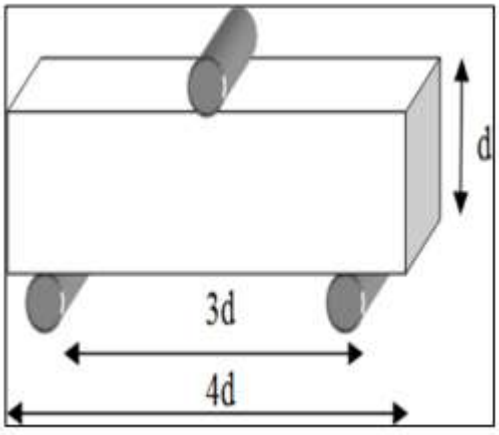


Figure II.10. 1.schéma de l'essai de traction par flexion



Figure II.10. 2.la machine de l'essai traction par flexion

Figure II. 10. Dispositif de traction par flexion

La mesure est quasi-statique et la vitesse d'asservissement du compactage est très faible, de 0,1 kN/s ±1% suivant la norme l'EN 12390-5. Les faces des éprouvettes sur lesquelles on applique la charge sont apprêtées et présentent des surfaces planes

II.4.B.3 La vitesse de propagation des ondes ultrasonique

La mesure de la vitesse de propagation d'ondes se fait moyennant un appareil d'auscultation sonique (ultrason), et conformément à la norme **(92)**

Cet appareil est constitué d'un générateur d'impulsions électriques, de plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteurs), et d'un dispositif de chronométrage

L'appareil génère des impulsions électriques traversant l'échantillon du béton à partir d'un transducteur émetteur applique sur une surface plane. L'impulsion est captée par un transducteur récepteur également appliqué sur une surface plane en opposition et parallèle au premier. Notons ici que ces surfaces doivent être préalablement lubrifiées par la vaseline pour assurer une meilleure transmission des impulsions. Lorsque l'impulsion est captée par le récepteur, l'instrument affiche le temps de propagation figure II.11

Connaissant la distance entre les deux transducteurs, la VPO est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{l}{t} \longrightarrow \text{Equation II. 1}$$

Avec :

- V : vitesse de propagation d'ondes en m/s
- l : distance entre les deux transducteurs en m
- t : temps de propagation d'ondes en s



Figure II 11. Dispositif pour mesure de la vitesse ultrasonique sue béton

II.4.B.4 Essai d'absorption par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18 **(93)**, l'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C jusqu'à poids constatant. A l'issue du sortir en étuvage, la surface latérale des éprouvettes est alors enduite de résine (ou de papier aluminium autocollant) pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai, puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à 20 ± 2°C pour permettre le durcissement complet de la résine

L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite et consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 5 mm dans de l'eau figure II.12et figure II.13

Augmentation de la masse de l'échantillon a été mesurée à intervalles de temps (0 min,

10 min,20 min, 30 min, 1h, 4h et 24h) on procède à la pesée des morceaux (mx). La différence de poids entre (mx) et (m0) est le poids de l'eau absorbée (mx- m0)

Le coefficient d'absorption capillaire ça est alors calculé par l'équation suivante :

$$C_a = \frac{(M_x - M_0)}{A} \longrightarrow \text{Equation II. 2}$$

Avec :

- C_a : Le coefficient d'absorption capillaire (Kg/m^2)
- M_X : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (Kg)
- M_0 : masse initiale de l'éprouvette (Kg)
- A : section de l'éprouvette (m^2)

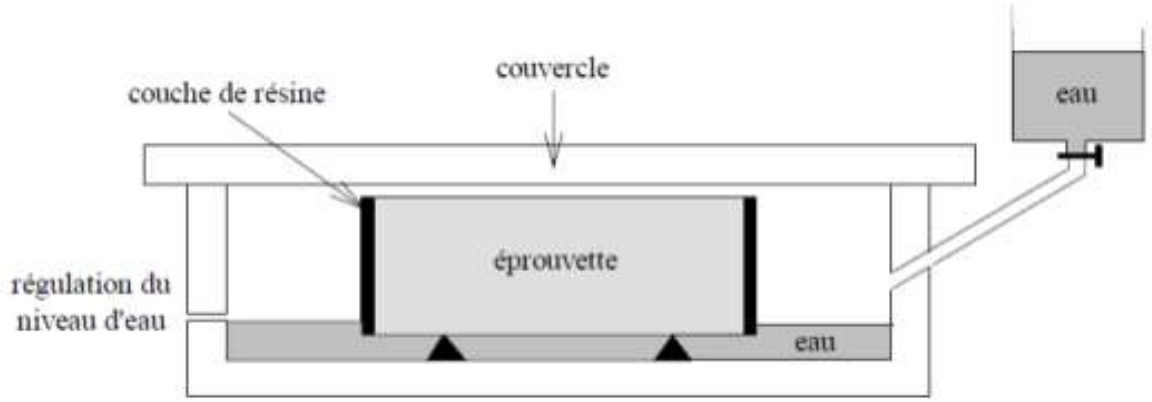


Figure II 12. Dispositif expérimental de mesure d'absorption d'eau par capillarité



Figure II 13. Essai d'absorption d'eau par capillarité

CHAPITRE 03 :

PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS

III.1 Introduction

L'utilisation des granulats recyclés influe sur les propriétés et les performances globales des BAP dont le remplacement des agrégats naturels par des agrégats recyclés affecterait habituellement la maniabilité, les résistances mécaniques et aussi la durabilité des BAP à cause de la porosité plus élevée de la densité inférieure et de la résistance inférieure des granulats recyclés

L'objet du présent chapitre est pour mettre en évidence les caractéristiques mécaniques et les propriétés de durabilité des bétons formulés. Ces propriétés sont aujourd'hui des critères incontournables afin de confirmer la valorisation d'un sous-produit ou déchets dans le secteur des matériaux de construction

III.2 Formulation des BAP

Formuler un béton, c'est pour trouver un ajustement des plusieurs constituants lequel répond à un Cahier de charge donné, pour un béton autoplaçant c'est complexe perspective l'effectif de Constituants et sa caractéristique de l'état frais laquelle garantir une grande fluidité, une viscosité Appropriée et de grande résistance à la ségrégation est nécessaire.

L'objectif pour la normalisation est pour déterminer la masse nécessaire pour chacun élément afin d'obtenir un béton autoplaçant sans ségrégation et sans ressuage et sans nuire ses caractéristiques de l'état durci et restons toujours sur un encadrement économique.

Tableau III 1. Composition des différents BAP réalisés

Pourcentage De GR	Sable Naturelle (Kg)	Sable Recyclé (Kg)	Gravier Naturelle (Kg)		Gravier Recyclé (Kg)	Ciment (Kg)	Eau (Kg)		SP	
			3/8	8/15			E1	E2	(%)	(Kg)
0%	384	334	334	334	0	630.67	192.14	82.34	0.70	4.42
25%	384	334	250.67	250.67	149.33	630.67	197.03	84.44	0.65	4.10
50%	384	334	167.33	167.33	298.67	630.67	201.92	86.55	0.60	3.78
75%	384	334	83.33	83.33	448.67	630.67	206.80	88.63	0.55	3.47
100%	384	334	0	0	598	630.67	211.70	90.72	0.50	3.15

III.2.A Résultats de caractérisation à l'état frais

Afin de ce lequel s'en suit et possibilité comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la masse d'adjuvant figure III.1 afin de détenir des caractéristiques a l'état frais comparables à celles du béton de référence (0SR0GR) Le tableau III.2 donné la fourche des résultats à l'état frais.

Tableau III 2. Les résultats du l'essai de l'étalement sur le BAP

Pourcentage de GR	Essai
	Etalement (cm)
0%	79
25%	74
50%	80
75%	76
100%	68

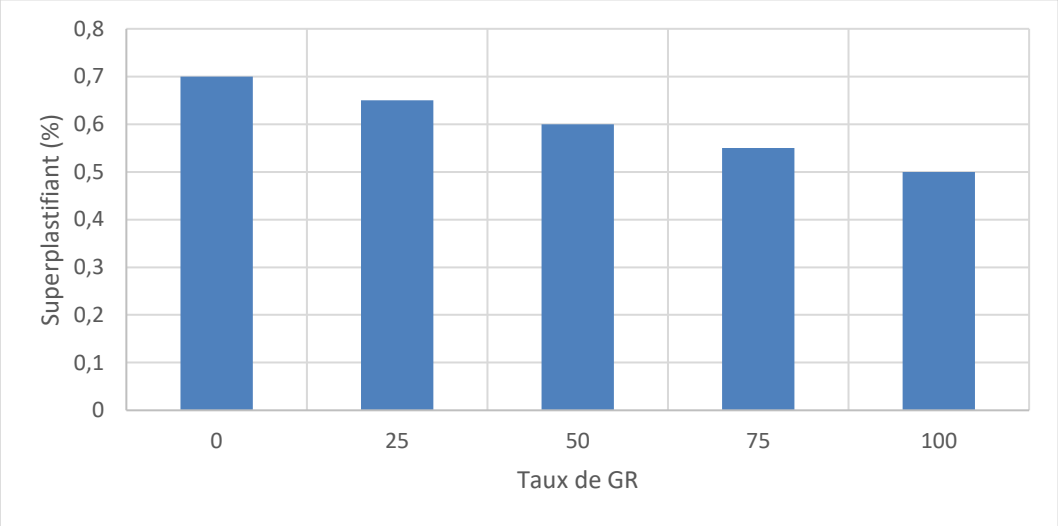


Figure III 1 . La variation du dosage de le superplastifiant

Aslani et al **(94)** ont étudié la maniabilité du BAP contenant des AR et ils ont conclu que son impact est significatif sur les résultats de j-ring plutôt que sur les résultats de l'écoulement d'affaissement. Cependant, toutes les valeurs d'affaissement des échantillons testés

satisfaisaient à la plage suggérée comprise entre 600 et 700 mm, qui est définie par les directives européennes **(95)**

Pour le de temps d'écoulement d'entonnoir en V, les mélanges à haute teneur en AR (60%) appartiennent à la classe VF2 et les autres mélanges appartiennent à la classe VF1 selon EFNARC. De plus, il a été observé que les valeurs de capacité de passage augmentaient avec l'augmentation du dosage de superplastifiant.

Singh et Singh **(96)** ont signalé que les taux de blocage de l'entonnoir en V et de la boîte L de SCC contenant un pourcentage élevé de RCA (50 à 100 %) ont donné les classes VF1 et PA2.

De plus, la déformabilité du béton frais, mesurée par le test de la boîte en U, se situait dans la plage acceptable de 0 à 30 mm **(95)**

Tuyan et al. **(97)** ont observé l'augmentation significative de la viscosité des BAP avec l'augmentation du taux des AR de 20 % à 60 %. En revanche, ils ont constaté que la capacité de passage des BAP, déterminée par le test de la boîte L, n'était pas influencée par l'augmentation du remplacement de RCA.

Les résultats de Mohseni et al. **(98)** ont démontré une homogénéité et une cohésion appropriées dans les mélanges contenant 20 % d'AR par rapport aux échantillons sans agrégats recyclés alors qu'aucun signe de ségrégation et de saignement n'a été observé.

III.3 L'effet de granulat recyclé à l'état durci

III.3.A La résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression à 1,3, 7 et 28 jours de différentes éprouvettes de BAP réalisés en fonction du pourcentage de substitution de gravier recyclé et avec une conservation à 20°C et à 40°C sont présentés successivement dans les Figures III.2 et III.3 :

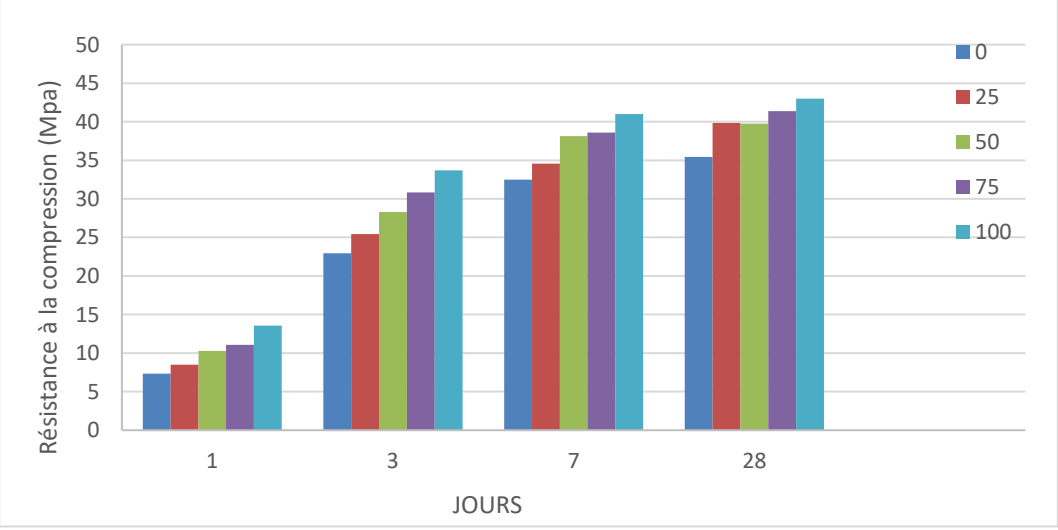


Figure III 2. Résistance à la compression en fonction du taux de granulats recyclé à 20°C

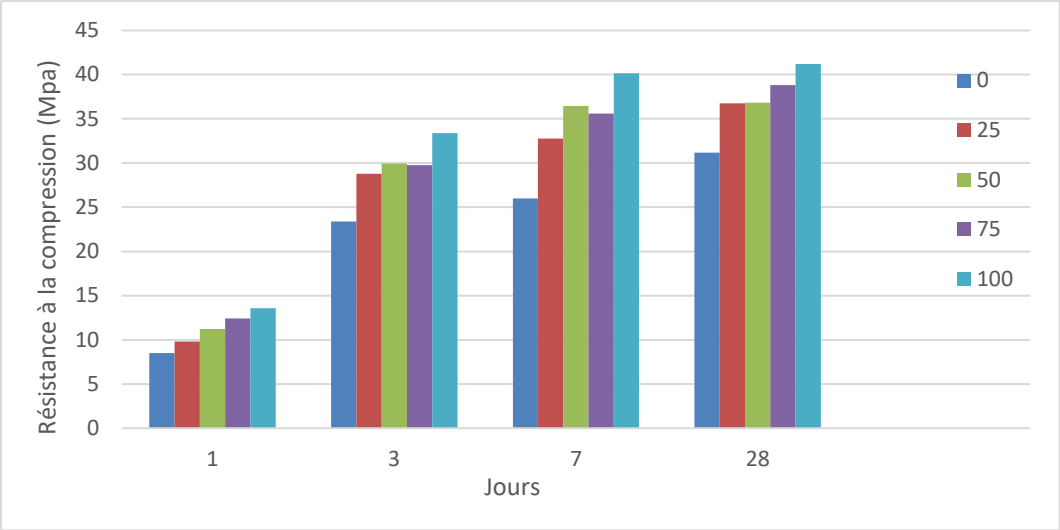


Figure III 3. Résistance à la compression en fonction du taux de granulats recyclé à 40°C

Suivant les résultats obtenus, il est clair que les granulats recyclés ont un effet sur la résistance à la compression, l'utilisation de ces derniers mène à une augmentation de la résistance à la compression avec l'augmentation du taux de GR soit à une conservation à 20°C ou à 40°C.

La substitution de 25et 100% de granulats naturels par granulats recyclés a mené à une augmentation de la résistance à la compression par 12 et 21% successivement.

Selon TANG **(99),** un faible taux pendant substitutions d'agrégat recyclé (jusqu'à 50%) n'influence pas significativement les propriétés mécaniques du SCC **(100)**, Ses résultats sont confirmés par Jiank **(101)**, dont les résistances à la compression des CCPUH avec le sable recyclé sont similaires entre celles convenable préparation par modèle de référence avec le sable naturel. Quand le pourcentage de remplacement du sable recyclé est inférieur à 50% il se effet exactement une légère augmentation de la résistance à la compression.

Alengaram et al. **(102)** ont signalé une diminution de 12,2 % et 17,7 % de la résistance à la compression et du module d'élasticité respectivement pour le BAP contenant des graviers recyclés par rapport à l'échantillon témoin.

Panda et Bal **(103)** ont aussi étudié l'effet du gravier recyclé sur les propriétés durcies des BAP. Il est indiqué que les résistances à la compression ont diminué avec une augmentation du pourcentage de remplacement de 10 % à 40 % **(104)**

Modani et Mohitkar **(105)** ont observé une corrélation inverse entre le pourcentage de gravier recyclé et la résistance mécanique. Ils ont conclu que la baisse des résistances à la compression

et à la traction était due au mortier collé à la surface des granulats. La réduction maximale d'environ 16% des résistances à la compression, Revathi et al. **(106)**

III.3.B La vitesse de propagation des ondes ultrasonique

Les résultats obtenus d'après la mensuration de la vitesse de propagation des ondes ultrasonique dans les déférents taux de GR à 28 jours sont présentés dans la figure III.4 pour une cure à 20°C et la figure III.5 dans la figure III.5.

On remarque une augmentation de la vitesse ultrasonique dans les taux de granulats recyclés de 75 et 100% pour les pourcentages inferieur La vitesse n'est pas beaucoup affecté par le taux de granulats recyclés, et cela quel que soit la température de cure.

Whitehurst **(107)**, a classifié les bétons selon leur qualité comme suit : excellente, bonne, modérée, mauvaise et très mauvaise pour des Vitesses de 4500 et plus, 3500÷4500,3000÷3500, 2000,3000 et ≤2000 m/s. A partir de cette classification on peut affirmer que toutes les compositions testées sont de bonne qualité.

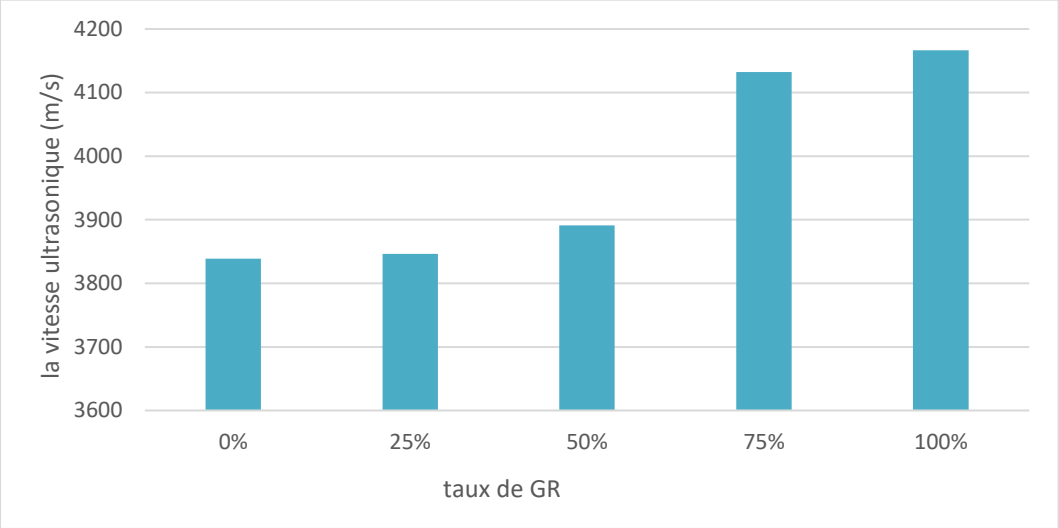


Figure III 4. la vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR à 20 °C

Les résultats qui on a obtenus d'après la mesurassions de la vitesse ultrasonique dans les éprouvettes qui on conserve dans l'eau à 40°C sont présentés dans la figure III.8

On remarque qu'il y a une relation entre la vitesse ultrasonique et le taux de GR parce que pour chaque variation du taux de GR, la vitesse ultrasonique est augmentée

Il y a aucune affectation du les granulats recyclés sur la vitesse ultrasonique

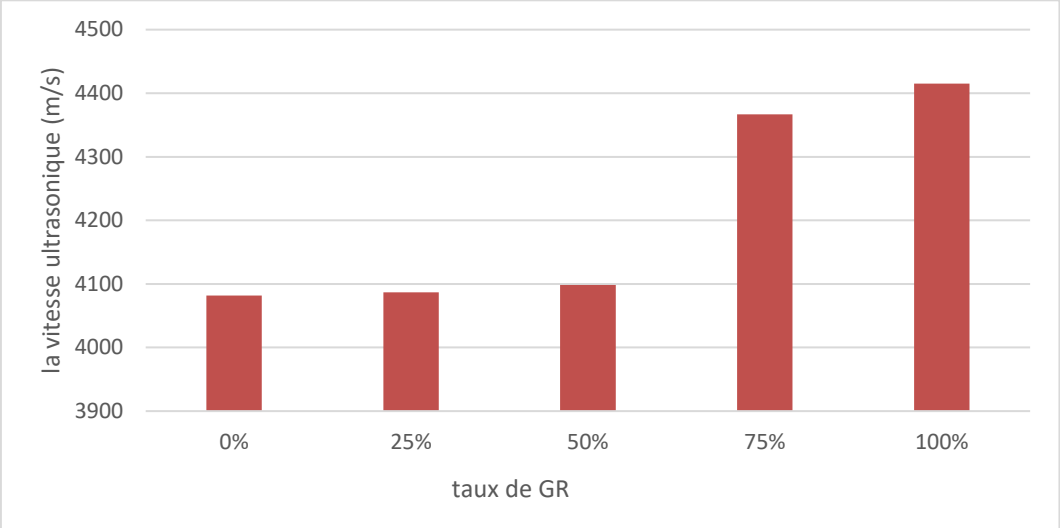


Figure III 5. la vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR à 40 °C

III.3.C L'absorption

Les résultats de la mesure des coefficients d'absorption capillaire en fonction de la racine carrée du temps des BAP après une cure de 28 jours à 20 et 40°C sont présentés aux figures III.6 et III.7 successivement.

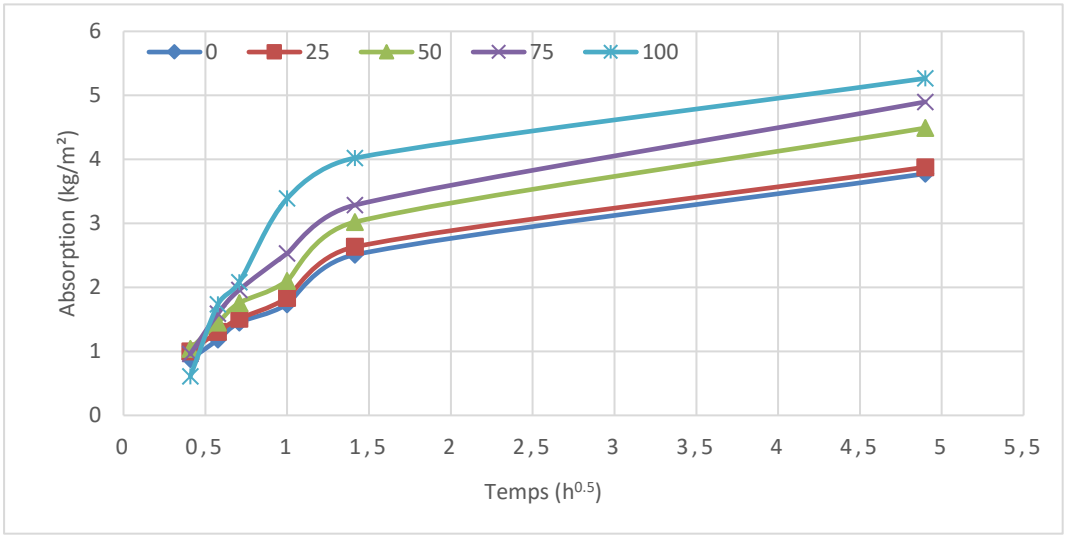


Figure III 6. Absorption des diffèrent BAP en fonction du temps à 20°C

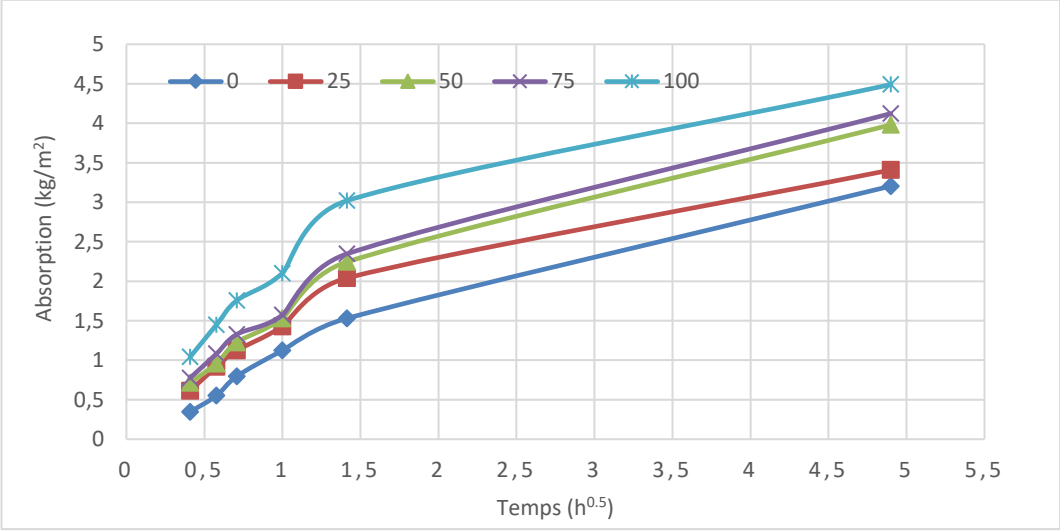


Figure III 7. Absorption des diffèrent BAP en fonction du temps à 40°C

A l'issu de ces figures, on remarque qu'à chaque température de cure, les courbes reliant le coefficient d'absorption à la racine carré du temps des différents BAP suivent la même allure. Nous remarquons aussi qu'avec chaque augmentetion du taux de granulats recyclés, il y a une augmentation de coeficient d'absorption soit à 20°C ou 40°C.

Les BAP qui contient les granulats recyclés ont dévoilé les valeurs les plus importantes d'absorption mais reste proche à celles des BAP à base de gravier recyclé.

Plusieurs chercheurs ont déterminé que l'effet du RCA sur la durabilité du béton conventionnel et il a été constaté que l'absorption d'eau, la pénétrabilité des ions chlorure, le retrait de séchage, le fluage et la profondeur de carbonatation augmentaient avec l'augmentation du RCA grossier **(108,109)**

Modani et Mohitkar **(105)**, ont constaté que le BAP préparé avec du RCA présentait des valeurs de perméabilité plus élevées associées à l'absorption d'eau élevée du RCA.

Kapoor et al. **(110)** Ont constaté que le taux d'absorption en surface du BAP contenant des AR grossier est 40 % plus élevé que celui du BAP contenant des AN. Il a été conclu que la profondeur de pénétration de l'eau du BAP augmentait avec l'augmentation des teneurs en AR grossier. Il a également été constaté que les AR grossier avaient une influence significative sur le taux d'absorption d'eau du SCC plutôt que sur l'utilisation des AR fin.

Silva et al. **(111)** Ont observé une diminution de la résistance à la pénétration et une augmentation de la porosité effective ainsi que de la perméabilité en augmentant le pourcentage de remplacement du RCA dans les mélanges SCC

III.4 L'effet de température de cure à l'état durci

III.4.A La résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression des différentes BAP réalisés à 1, 3, 7et 28 jours et avec une conservation à 20°C et 40°C dans l'eau sont présentés dans la figure III.6. Nous remarquons que la température de cure à 40°.Ça mené à une augmentation de la résistance à la compression à jeune âge (1 et 3 jours) et une légère diminution de la résistance à la compression à 7 et 28 jours.

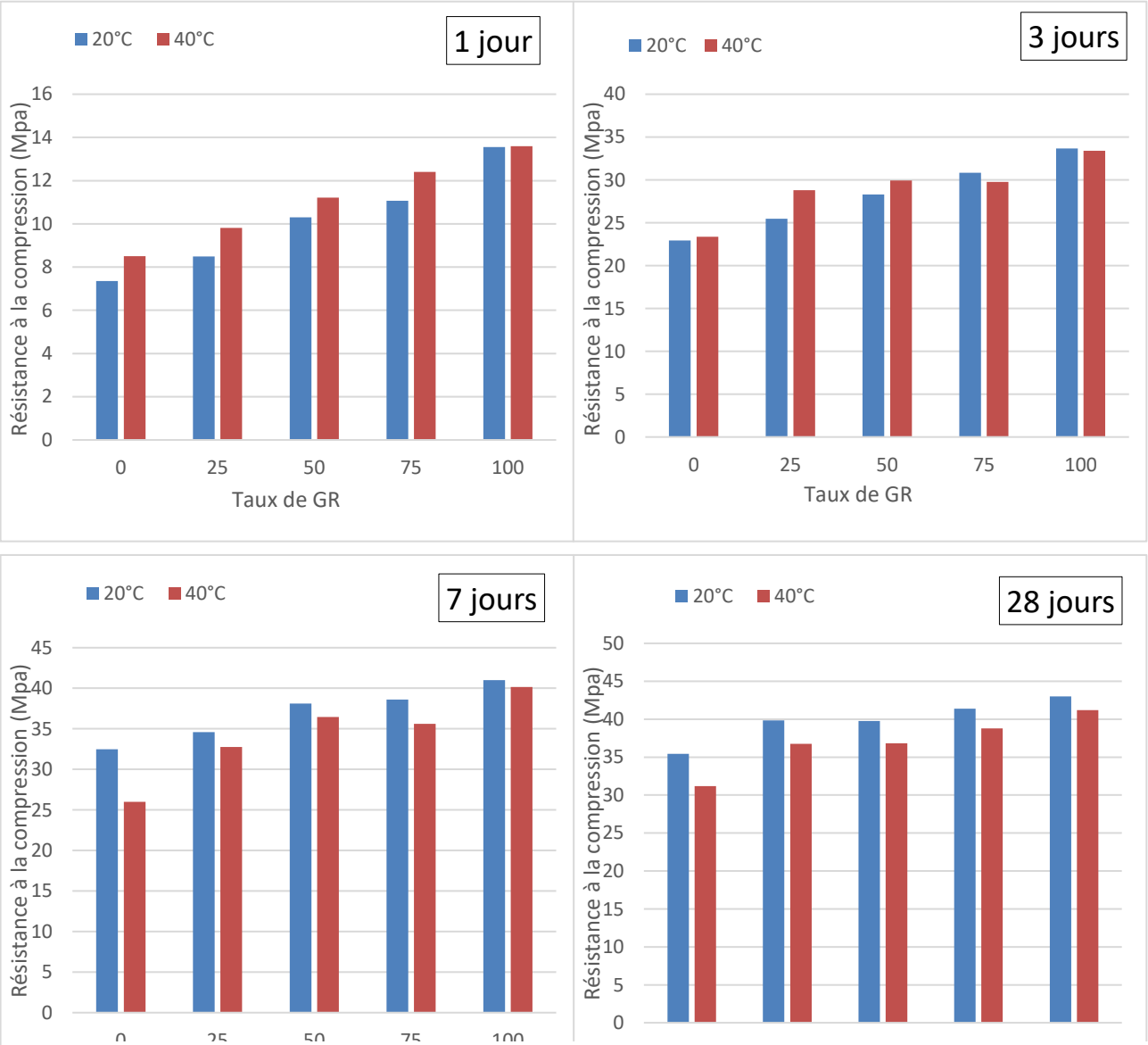


Figure III 8. Résistance à la compression à 20°C et à 40°C

Selon Rose **(112)**, l'activité ou la variation de la résistance du béton contenant du laitier change en fonction de l'élévation de la température de cure ce qui conduit à une élévation de la résistance au jeune âge et à long terme.

Kellouche **(113)**, a conclu que l'effet de la température de cure est plus prononcé sur une pâte renfermant 50% de laitier que sur une pâte témoin sans laitier ; une augmentation appréciable de la quantité d'eau non évaporable est constatée en élevant la température de cure de 20°C à 40°C et qui peut dépasser celle de la pâte témoin au-delà de 90 jours. Ce qui nous conduit à déduire que la température de cure de 40°C est la température la plus favorable pour l'hydratation des ciments au laitier et sur les résistances à la compression à 28jours.

EZZIANE **(114)**, a varié la température de cure entre 20,40 et 60°C sur les mortiers avec une substitution de 20% du ciment par la pouzzolane a une finesse similaire à celle du ciment , il a trouvé que Par rapport à une cure de 20°C, la cure à 40°C a augmenté la résistance à la compression par 22% à 3j cette augmentation diminue jusqu'à 7% à 7j par contre il a remarqué une faible diminution de résistance de 4 et3% à 28et90J respectivement, un même effet est remarqué pour une cure de 60°C mais plus apparent , à 3 et 7 jours on observe une augmentation de la résistance de 44 et 26% et à 28 et 90 jours une diminution de 6 et 13% .

III.4.B La vitesse ultra sonique

Les résultats obtenus de la vitesse ultrasonique dans des BAP à diffèrent taux de granulats recyclés conservé à 20 et 40°C sont présentés dans la figure III.8

On remarque qu'il y a une relation entre la vitesse ultrasonique et la température de cure, la vitesse ultrasonique a augmentée avec l'augmentation de la température de cure.

Gesoğlu **(115)**, a montré qu'a 1 jour les bétons traités thermiquement avaient des valeurs de vitesses de propagation des ondes (VPO) légèrement supérieures au béton durci dans les conditions normales, et à partir de 7 jours il n'y avait aucune différence remarquable dans les valeurs VPO des bétons.

Contrairement au béton autoplaçant, pour les bétons ordinaires, Abbasi **(116)** a signalé une diminution de la vitesse avec l'augmentation de la température, et cela indique l'effet nuisible de la cure chaude sur la qualité de ces bétons.

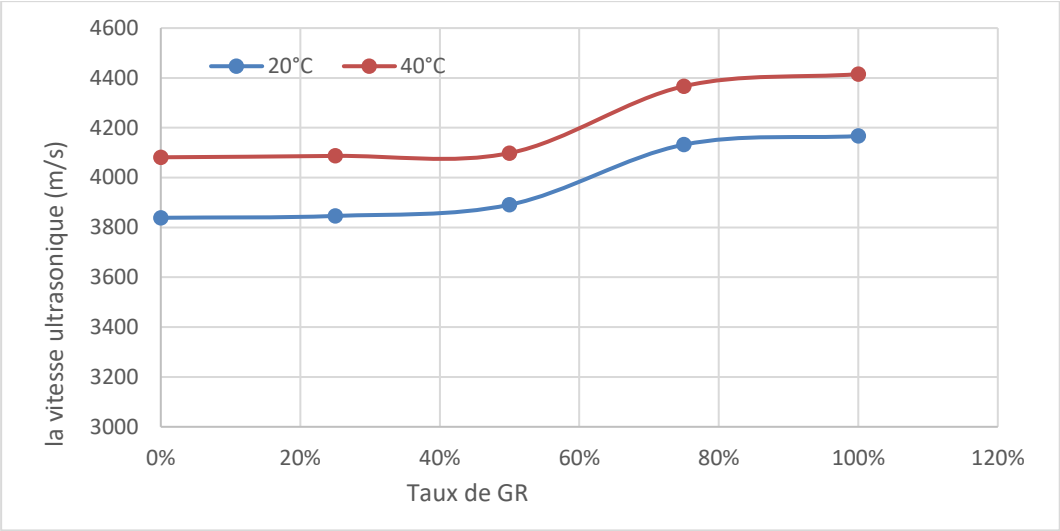


Figure III 9. La vitesse ultrasonique en fonction du taux de GR dans les different environnement de cure

III.4.C L'absorption par immersion

Les résultats obtenus d'après l'essai d'absorption par immerssion dans les diffèrent conditions de conservation sont présentés dans la figure III.8. L'étude des résultats présentés nous permet de conclure que la cure à une température de 40°C provoque une augmentation de l'absorption par immersion et cela pour tous les BAP étudiés.

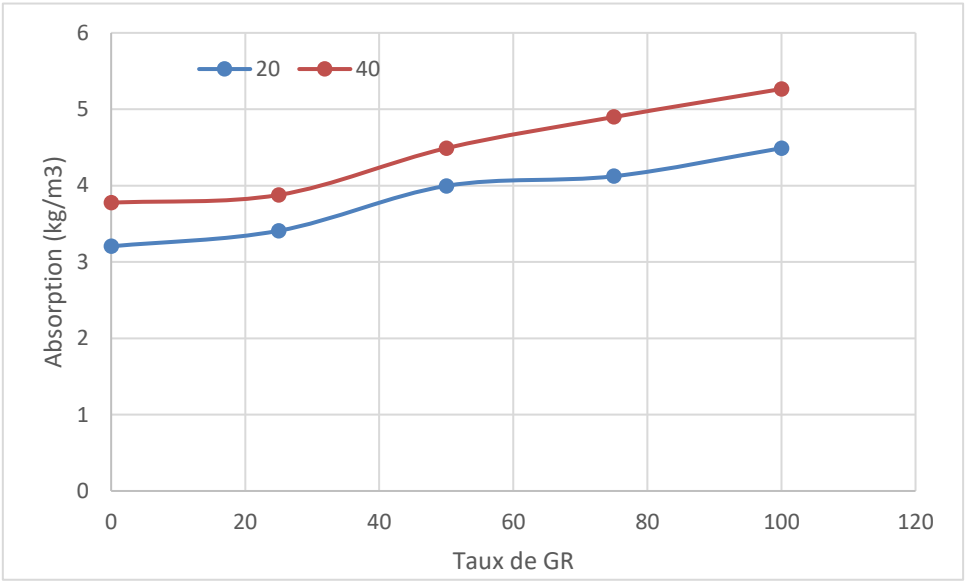


Figure III 10. L'absorption par immersion en fonction du taux de GR à 20°C et à 40°C

Reinhardt et al. **(83)** ont étudié l'influence du traitement thermique sur la distribution de la taille des pores et de la résistance à la compression de différents BAP. Il est démontré à travers cette étude que l'augmentation de la température de cure, conduit à un changement dans la

distribution de taille des pores à des pores plus grossiers sans augmenter le volume total des pores dans le béton.

Kapoor et al. **(117)** ont rapporté que la valeur d'absorption d'eau par immersion des BAP est 1% contre 2% pour les bétons vibrés. L'effet de la température ambiante et de l'humidité relative sur absorption d'eau de différents types de béton a été étudié par Caliskan **(118)**.

III.5 Conclusion

Pour le moment, l'utilisation des BAP contenant des granulats recyclés de béton de démolition est souvent limitée et plus tôt dans le cas des BAP à cause de l'absence de recherche et les résultats déférentes obtenus, et cela due à la variété des granulats étudié et alors la variation des propriétés des granulats.

Les granulats recyclés ont une densité et une résistance très faible avec une porosité et une absorption d'eau très élevé par rapport les granulats naturels, Une affectation sur le dosage du superplastifiant par le taux des granulats recyclés, l'utilisation de ce dernier dans la fabrication des BAP diminue la quantité de superplastifiant utilisé. Les BAP qui contient des granulats recyclés ont dévoilé les valeurs les très importantes d'absorption

Conclusion générale

L'utilisation du béton autoplaçant (BAP) a eu récemment une forte progression dans de nombreux pays du monde. Bien que ces avantages soient concrets et que l'intérêt qu'il suscite chez les industriels soit grandissant, les BAP demeurent en dessous de l'utilisation qui pourrait en être faite en raison de questions sans réponses posées par de nombreux maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre. Certaines des inconnues qui les concernent telle que le comportement des BAP vis-à-vis des températures élevées.

L'objet de cette étude était donc, d'étudier l'effet des diffèrent taux de substitutions de granulats naturels par granulats recyclés de béton de démolition (0, 25, 50,75 et 100%) dans diffèrent température de cure (20 et 40°C) sur les propriétés d'un béton autoplaçant.

Basant sur les résultats obtenus à travers cette étude, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Les granulats recyclés ont une densité et une résistance très faible avec une porosité et une absorption d'eau très élevé par rapport les granulats naturels
- Le dosage en superplastifiant est affecté par le taux des substitutions des granulats recyclés, l'utilisation de ce dernier dans la fabrication des BAP diminue la quantité de superplastifiant utilisé.
- Il est possible d'utiliser des granulats recyclés de béton de démolition de classe (3/15) dans la fabrication des BAP sans nuire à la résistance à la compression quel que soit à une cure à 20 ou à 40°C.
- L'augmentation du taux de substitution de granulats recyclés a engendré une légère augmentation d'absorption, ce dernier est plus élevé dans le cas de cure à 40°C.
- Les BAP conservé à 40°C ont engendré des valeurs de résistance à la compression plus faible qu'au BAP conservé à 20°C à partir de 7 jours contrairement au jeune âge.
- L'effet de cure est le même quel que soit le taux de substitutions des granulats recyclés.

Références bibliographiques

1- Mme BACHENE SARA, << EFFET COUPLÉ DE LA TEMPÉRATURE ET DES ADDITIONS MINÉRALES SUR LES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES ET LA DURABILITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS >>, MEMOIRE DE MAGISTER, UNIVERSITE YAHIA FARÈS DE MÉDÉA, Novembre 2015

2- FERGUENE HABIB, << Valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants >>, Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES, 2016

3- KATTAB.R « valorisation de sable de dune ». Thèse doctorat ENP Alger 2007

4- LIU M., 2009« Wilder application of additions in self-compacting concrete », thèse de doctorat, Université de London, UK.

5- SONEBI M., BARTOS P.J.M.,1999« Hardened SCC and its bond with reinforcement », Proceeding of First International RILEM Symposium on SelfCompacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden

6- NF EN 934-2(sept.2002), adjuvant pour béton, mortier et coulis

7- M lle HADDAD Kahina, << Les BAP à base de granulats de béton de démolition Résistances et approche de la durabilité >>, Mémoire de Master, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU,2012

8- ABDLHAMID R'MILI « Etude de formulation et de comportement des bétons autoplaçant », Thèse de doctorat de l'école Nationale d'ingénieurs de Tunis 2010.

9- CHALLAH Kaci et BEKHTAOUI Ouardai « Caractérisation rhéologique et physiquemécanique d'un béton autoplaçant renforcé de fibres de polypropylène et de fibres métalliques ». Mémoire de fin d'étude de l'Université de Boumerdes 2008-2009

10- François PERCHE « adsorption des poly carboxylates et de lignosulfates sur poudre modèle et ciments » Thèse de doctorat

11- EFNARC, 2002 « Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete ».

12- EFNARC, 2005« The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification,Production and Use ».

13- De SCHUTTER G., 2005« Guidelines for testing fresh self-compacting concrete »

14- AFGC, 2008 « Recommandation pour l'emploi des bétonsautoplaçant ».

15- NF EN 206-9,2010« Béton, Partie 9 : Règlescomplémentaires pour le béton autoplaçant ».

16- ASSIÉ S., 2004 « Durabilité des bétons autoplaçants » thèse de doctorat,Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions INSA-UPS Génie Civil, Toulouse, France.

17- OKAMURA H., OUCHI M., 2003 « Self-compacting concrete », Journal of advanced Concrete Technology, Vol. 1, N°1

18- EL BARRAK M., « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais », Thèse de Doctorat, l'Université Toulouse III,2005

19- KHAYAT K. H., 1999 « Workability, Testing, and Performance of SelfConsolidationg Concrete, ACI Materials Journal, Vol. 96, No. 3

20- Said Oussama, Lakrib aissa, << Valorisation des granulats recyclés dans la fabrication des bétons autoplaçants >>, Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA, Juin 2021

21- DOMONE P.L., CHAI H.W., JIN J., 1999 « Optimum mix proportioning of selfcompacting concrete » Proceeding on international conference on 'innovation in Concrete structures : design and construction, University of Dundee, ed. Dhir RK and Jones MR, Thomas Telford, London, pp. 277-285

22- J.C. GIBBS & W. ZHU : « Strength of hardened of self-compacting concrete». Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete. Stockholm.13-15 Septembre 1999.

23- C. HU & B. BARBIERI : « Comparaison des retraits des ban et d'un béton fluide traditionnel ». Science des matériaux et propriétés des bétons - Premières Rencontres Internationales. INSA. 1998.

24- KLUG Y., HOLSCHEMACHER K., 2003« Comparison of the hardened properties of Self-Compacting and Normal Vibrated Concrete » 3rd International Symposium on SelfCompacting Concrete, Reykjavik, Ice land

25- Mme CHIBANI Naouel, << FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS AUTOPLAÇANTS (BAP) A BASE DE GRANULATS RECYCLES : Cas des fines de marbre >>, Mémoire de magister, Université Larbi Ben M'Hidi - Oum-El-Bouaghi, 2013

26- Cimpelli C., « Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'ile de France : les bétons et produits de démolition recycléd », Décembre 1996

27- Berredjem L. et Arabi N., « Les matériaux de démolition une source de granulats pour béton : Formulation et caractérisation d'un béton à base de ces recycles », SBEIDCO –

1st International Conference of Sustainable Built Environment Infrastructure in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), Octobre 12-14, 2009

28- Douara T.H., Benhouna M. et Nezergui B., « Caractéristiques physiques et chimiques des granulats recyclés et des granulats naturels », SBEIDCO – 1st International Conference of Sustainable Built Environment Infrastructure in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), Octobre 12-14, 2009

29- SERIFOU MAMERY, << Béton à base de recyclats : influence du type de recyclats et rôle de la formulation >>, Thèse de DOCTORAT, L'"UNIVERSITE FELIX HOUPHOUET BOIGNY ET DE L'"UNIVERSITE BORDEAUX 1, 23 DECEMBRE 2013

30- Guide des déchets de chantier de bâtiment Fédération Nationale du Bâtiment, Direction de l'habitat et de la Construction, Agence De l'environnement et de la Maîtrise de l'Energie-septembre 1994. Cité dans (Raphaël, 2003)

31- Union Nationale des Producteurs de Granulats. Le marché des granulats. Cité dans (Raphaël, 2003)

32- Les déchets de démolition ou de chantier, état des lieux Observatoire Technique de l'Europe du Bâtiment-CSTB. Cité dans (Raphaël, 2003)

33- Debieb F., "Performance et durabilité du béton à base de granulats recycles contaminés par les chlorures et les sulfates", Thèse de Doctorat de l'USTHB, 2007

34- François de Larra rd, Horacio Colina, << Le béton recyclé >>, institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux - Ifsttar 14-20 boulevard Newton - Cité Descartes - Champs-sur-Marne - 77447 Marne-la-Vallée cedex 2,2018

35- Valorisation des Graves de déconstruction, Guide Rhône-Alpes d'utilisation en Travaux Publics, 24 p., 2014

36- Belin P., Habert G., Thiery M., Roussel N., Cement paste content and water absorption of recycled concrete coarse aggregates, Materials and Structures, 47, 1451-1465, 2014.

37- Haase R., Dahms J., Material cycles on the example of concrete in the northern parts of Germany, Beton, 48(6), 350-355, 1998

38- Asakura H., Watanabe Y., Ono Y., Yamada M., Inoue Y., Alfaro A.M., Characteristics of fine processed construction and demolition waste in Japan and method to obtain fines having low gypsum component and wood contents, Waste Management and Research, 28, 634-646, 2010.

39- Montero A., Tojo Y., Matsuo T., Matsut, T., Yamada M., Asakura H., Ono Y., Gypsum and organic matter distribution in a mixed construction and demolition waste sorting process and their possible removal from outputs, Journal of Hazardous Materials, 175, 747-753, 2010

40- Schouenborg B., Aurstad J., Pétursson P., Test methods adapted to alternative aggregates. In : Vázquez E, Hendriks ChF, Janssen GMT (eds) International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures, Barcelona, 1154-1162, 2004.

41- Huang W.-L., Lin D.-H., Chang N.-B., Lin K.-S., Recycling of construction and demolition waste via a mechanical sorting process, Resources, Conservation and Recycling, 37, 23-37, 2002

42- Asakura H., Watanabe Y., Ono Y., Yamada M., Inoue Y., Alfaro A.M., Characteristics of fine processed construction and demolition waste in Japan and method to obtain fines having low gypsum component and wood contents, Waste Management and Research, 28, 634-646, 2010.

43- Braymand S., Roux S., Kunwufine D., Mihalcea C., Feugeas F., Fond C., Les granulats recyclés de bétons : un matériau à fort potentiel de valorisation dans les bétons, Matériaux, Montpellier, France, 2014.

44- Sri Ravindrarajah R., Tam C.T., Recycling concrete as fine aggregate in concrete, International Journal of Cement Composite and Lightweight Concrete, 9, 1987.

45- Torgal F.P., Handbook of recycled concrete and demolition waste / edited by Pacheco-Torgal F., Tam V., Labrincha J., Ding Y., de Brito J. Woodhead Pub, Cambridge, Philadelphia, 2013.

46- De Brito J., Saikia N., Recycled Aggregate in Concrete, Use of industrial, construction and demolition wastes, Green Energy and Technology collection, Springer, London, 2013.

47- Thomas J.-J., Jennings H., Materials of Cement Science Primer TEA-21, Year 5, Final Report, 2009.

48- Douara T.H., Benhouna M. et Nezergui B., « Caractéristiques physiques et chimiques des granulats recyclés et des granulats naturels », SBEIDCO – 1st International Conference of Sustainable Built Environment Infrastructure in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), Octobre 12-14, 2009

49- Gasti T., « Caractérisations et formulation d'un béton compacté au rouleau à partir de granulats recyclés », Mémoire de Magister de l'Université Yahia Fares – Médéa

50- Hachana AK., Benaichi E., Mezguiche B. et Melles M., « Etude des bétons à base des agrégats des déchets de démolition », Université Mohamed Khider Biskra, 2008.

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

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

53- 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 reinforcement."Cement and Concrete Research, volume 41, N° 10, p. 1037-1049.cité par Boulay-vincent-MScA-2014.pdf

54- TARN, V, W, Y, GAO, X. F. TARN, C. M. et CHAN, C. H. (2008)." New approach in measuring water absorption of recycled aggregates."Construction and building materials, volume 22, N°3, cité par boulay-vincent-MScA-2014.pdf

55- TAM, V. W. Y., GAO, X. F. et TAM, C. M. (2005). "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach". Cement and Concrete Research, volume 35, numéro 6

56- CHAKRADHARAR M., BHATTACHARYYA, S. K. et BARAI, S. V. (2011)."Influence of field recycled coarseaggregate on properties of concrete."Materials and Structures/ Matériaux et Constructions, volume 44, numéro 1, p. 205-220.cité par Boulay-vincent-MScA-2014.pdf

57- 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

58- BOURMATTE Nadjoua, << GRANULATS RECYCLES DE SUBSTITUTION POUR BETONS HYDRAULIQUES >>, Thèse de DOCTORAT, UNIVERSITE DES FRERES METOURI CONSTANTINE, 12 Mars 2017

59- Pierre MATAR, Rouba EL DALATI, << CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON À BASE DE GRANULATS RECYCLÉS ÉTUDE EXPÉRIMENTALE >>, Laboratoire de Génie Civil, Faculté de Génie, Branche 2 Université Libanaise Roumieh, Rue Principale, Laboratoire de Génie Civil, Faculté de Génie, Branche 1 Université Libanaise Tripoli, Rue Arz,2012

60- C Medina, W Zhu, T Howind, MIS de Rojas, Journal of Cleaner, 2014 – Elsevier

61- González- Fonteboa et al. 2008

62- Berredjem L. et Arabi N., « Les matériaux de démolition une source de granulats pour béton : Formulation et caractérisation d'un béton à base de ces recycles », SBEIDCO – 1st International Conference of Sustainable Built Environment Infrastructure in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), Octobre 12-14, 2009

63- https://www.infociments.fr/betons/cure-du-beton

64- Mr. BOUKHELKHAL Aboubakeur, << COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE ET DURABILITE EN CLIMAT CHAUD DES MORTIERS AUTOPLAÇANTS A BASE D'AJOUTS BINAIRES ET TERNAIRES >>, Thèse De Doctorat, UNIVERSITÉ AMMAR TELIDJI DE LAGHOUAT,2019

65- Zhao H, Sun W, Xiaoming W, Gao B. Effect of initial water-curing period and curing condition on the properties of self-compacting concrete. Materials and Design 2012

66- Sokora I et Ravina D, Hot weather concerting with admixtures, cement and concrete composites 20 ,1998

67- Ramezanianpour A.A et Malhotra V.M,effect of curing on the compressive strength , resistance to chloride – ion penetration and porosity of concretes incorporating slag,fly ash or silica fume, cement & concrete composites, vol 17,1995

68- Yahiaoui Walid, << durabilité du béton autoplaçant en climat chaud >>, thèse de doctorat, université de blida 01,2018

69- Bingöl A.F and Ilhan Tohumcu I, Effects of differnt curing regimes on the compressive strength properties of self compacting concrete incorporating fly ash and silica fume, Materials and Design, vol51,2013

70- Hans-Wolf Reinhardt, Michael Stegmaier. Influence of heat curing on the pore structure and compressive strength of self-compacting concrete (SCC). Cement and Concrete Research, 2006

71- Vinh-An Le, << comportement des bétons autoplaçants par temps chaud >>, thèse de doctorat, université de Toulouse,28 janvier2014

72- I.H. Ling, D.C.L. Teo. Properties of EPS RHA light weight concrete bricks sous different curing conditions.Construction and Building Materials 25 ,2011

73- Mohamed SALHI, Alex Li, Mohamed GHRICI, << Effets du mode de cure sur le comportement des bétons autoplaçants >>, Université de Relizane, Bourmadia, Algérie, Université de Reims Champagne Ardenne, France, université de Chlef, BP 151 Hay-es-Salam, Chlef, Algérie

74- A. A. Almusallam, "Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete," Cement and Concrete composites, vol. 23, 2001.

75- Yakoubi Ishaq, << LA RELATION DU RESSUAGE AVEC LA FISSURATION DUE AU RETRAIT PLASTIQUE DES BETONS AUTOPLAÇANTS, EN PARTI CU LI ER PAR TEMPS CHAUD >>, Thèse De Doctorat, UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZl-OUZOU

76- Z. Berhane, "Compressive strength of mortar in hot-hum id environment," Cement and Concrete Research, vol. 13, 1983.

77- Zhu W et Gibbs J.C, Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete,cement and concrete research, vol 35,2005

78- Hanzic L, Ilic R. Relationship liquid sorptivity and capillarity in concrete. Cement Concrete Research 2003

79- De Schutter G, Audenaert K, Boel V, Vandewalle L, Dupont D, Heirman G, Vantomme J, D'hemricourt J. Transport properties in self-compacting concrete and relation with durability: Overview of a Belgian research project. Proceedings of the Third International Symposium on SelfCompacting Concrete Wallevik and N elsson I (Editors) Reykjavik Island ;2003

80- Yahiaoui W, Kenai S, Menadi B, Kadri EH. Durability of self-compacted concrete containing slag in hot climate. Advanced in Concrete Construction ,2017

81- Turkmen I, et Kantarci A, Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete, Indian journal of engineering & Materials, Vol 3,2006

82- Gallucci E, Zhang X, Scrivener K, Influence de la température sur le développement microstructural des bétons, Septième édition des journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation dur le béton (RF) 2 B, Toulouse, France,2006

83- Reinhardt H.W, Stegmaier M, Influence of heat curing on the pore structure and compressive strength of SCC, cement and concrete Research, Vol 36,2006

84- Saric-Coric M, Interactions superplastifiant-laitier dans les ciments au laitier. Propriétés des bétons, thèse de doctorat de l'université de Sherbrooke ,2001

85- Oliveira M.J, Ribeiro A.B, Branco F.G, curing effect in the shrinkage of a lower strength self-compacting concrete, construction and building Materials, Vol 93,15 september 2015

86- Fiche technique du ciment matine, Lafarge Algérie

87- Fiche technique du suprer plastidiant MEDAFLOW 30, Granitex Algérie

88- Domone P.L.J. and Jin J., « Properties of mortar for self-compacting concrete », Proceedings of International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 07), 1999

89- Zhao, Z., Remond, S., Damidot, D., Xu, W., 2015. Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. Constr. Build. Mater. 81

90- M. HAYAKAWA, Y. MATSUOKA & T. SHINDOH : « Development and application of super workable concrete ». Special Concretes : Workability and Mixing. RILEM Proceedings. N° 24. 1994.

91- Assié S., « Durabilité des bétons autoplaçants », Thèse de Doctorat de l'Institut National Des Science Appliquées de Toulouse, Octobre 2004

92- NF EN 12504-4, 2005, « Essais pour béton dans les structures. Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son », AFNOR.

93- Norme européenne décrit une méthode de détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité des mortiers durcis à base de liants minéraux et de granulats courants et légers

94- Aslani, F., Ma, G., Wan, D.L.Y., Muselin, G., 2018. Development of high-performance Self compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules.

95- EFNARC, 2005. Specification Guidelines for Self-Compacting Concrete. European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures.

96- Singh, R.B., Singh, B., 2018. Rheological behaviour of different grades of self-compacting concrete containing recycled aggregates. Constr. Build. Mater. 161

97- Tuyan, M., Mardani-Aghabaglou, A., Ramyar, K., 2014. Freeze–thaw resistance, mechanical and transport properties of self-consolidating concrete incorporating coarse recycled concrete aggregate. Mater. Des. 53

98- Mohseni, E., Saadati, R., Kordbacheh, N., Parpinchi, Z.S., Tang, W., 2017. Engineering and microstructural assessment of fibre-reinforced self-compacting concrete containing recycled coarse aggregate. J. Clean. Prod. 168

99- Tang, W., Wang, Z., Liu, Y., Cui, H., 2018. Influence of red mud on fresh and hardened properties.

100- Omrane, M., Kenai, S., Kadri, E.H., Aıt-Mokhtar, A., 2017. Performance and durability of self-compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan. J. Clean. Prod. 165

101- Jiank ,2018 « Feasibility of manufacturing ultra-high performance cement-based composites (UHPCCs) with recycled sand: A preliminary study» Waste Management 83 (2019)

102- Alengaram, U.J., Salam, A., Jumaat, M.Z., Jaafar, F.F., Saad, H.B., 2011. Properties of high workability concrete with recycled concrete aggregate. Mater. Res. 14

103- Panda, K.C., Bal, P.K., 2013. Properties of self-compacting concrete using recycled coarseaggregate. Procedia Eng. 51

104- Waiching Tang, Mehrnoush Khavarian, Ali Yousefi, Hongzhi Cui, Properties of selfcompacting concrete with recycled concrete aggregates, Novel Technologies and Applications for Construction Materials 2020

105- Modani, P.O., Mohitkar, V.M., 2014. Self-compacting concrete with recycled aggregate : à solution for sustainable development. Int. J. Civ. Struct. Eng. 4

106- Revathi, P., Selvi, R., Velin, S., 2013. Investigations on fresh and hardened properties of recycled aggregate self-compacting concrete. J. Inst. Eng. (India) Ser. A 94

107- Whitehurst, E.A, 1951 « Soniscope tests concrete structures », Journal of the ACI ; 47

108- Kou, S.C., Poon, C.S., 2012. Enhancing the durability properties of concrete prepared withcoarse recycled aggregate. Constr. Build. Mater. 35

109- Sagoe-Crentsil, K.K., Brown, T., Taylor, A.H., 2001. Performance of concrete made with commerciallyproduced coarse recycled concrete aggregate. Cem. Concr. Res. 31

110- Kapoor, K., Singh, S., Singh, B., 2016. Durability of self-compacting concrete made withRecycled Concrete Aggregates and mineral admixtures. Constr. Build. Mater. 128

111- Silva, T., Vicente, R., Soares, N., Ferreira, V., 2012. Experimental testing and numerical modeling of masonry wall solution with PCM incorporation : a passive construction solution. Energy Build. 49

112- ROSE J.H. « The influence of curing temperature on the strength of concrete containing granulated blast furnace slag », Ref 4

113- KELLOUCHEY., BOUGARA A., 2014« Effet de la température de cure sur la réactivité d'unciment au laitier », 1st International Conference on Pouzzolanic Construction Materials, ICPCM, Oran, Algérie.

114- EZZIANE K., 2007, « Etude des Modifications Physico-Mécaniques apportées par les Ajouts Minéraux aux Bétons ». Thèse de Doctorat, Université Hassiba Ben-Bouali Chlef, Algérie

115- GESOĞLU M., 2010 « Influence of steam curing on the properties of concretesincorporating metakaolin and silica fume », Materials and Structures J., Vol.43

116- ABBASI A. F., 1990 « Effect of hot weather on pulse velocity and modulus of elasticityof concrete », Materials and StructuresJ., Vol. 23

117- Kapoor Y, Munn C, Charif K. Self-Compacting concrete – an economic approach. Proceedings of Seventh International Conference on Concrete in Hot and Aggressive Environments, Manama, Bahrain, 2003

118- Caliskan S. Influence of curing conditions on the sorptivity and weight change characteristics of self-compacting concrete. The Arabian Journal for Science and Engineering 2006

119- BENAICHI El hadj, << Durabilité des bétons à base du sable de démolition et ajouts minéraux actifs >>, thèse de doctorat, Université Mohamed Khider – Biskra,2018

120- BERREDJEM Layachi, ARABI Nourredine, MOLEZ Laurent, JAUBERTHIE Raoul, << Propriétés mécaniques et durabilité des bétons à base de graviers et sables recyclés issus de béton de démolition >>, Deuxième Conférence Internationale Francophone Nouveaux Matériaux et Durabilité (Nomad 2015), Nov. 2015, Douai, France

121- BOUDALI Sara ;<< DURABILITÉ DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À BASE DE GRANULATS RECYCLES >>, thèse de doctorat, Université des sciences et technologies d'Oran Mohamed Boudiaf,2018

122- Debbih Amina, << Performances d'un béton autoplaçant a base de granulats recyclés, laitier et la pouzzolane naturelle >>, mémoire de magister, université Saad dahlab de blida, avril 2012

123- Ben Abdelkader Zineb, Merdaci Abir, << FORMULATION ET CARACTERISATION D'UN BETON AUTOPLAÇANT A BASE DE GRANULATS RECYCLÉS >>, Mémoire de fin d'études de Master, UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA,2020

124- D.L. KANTRO, « Influence des superplastifiants réducteurs d'eau sur les propriétés de la pâte de ciment – unslump test miniature », cement and concrete aggregate Vol 2, pp 95-102, 1980.

125- Naliett Karina SANTAMARIA DIAZ, << VALORISATION DES GRANULATS RECYCLÉS DANS LE BÉTON POUR LES PAVAGES ET TROTTOIRS >>, Mémoire de maîtrise, UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Juin 2018

126- Thang Le, << influence de l'humidité des granulats de béton recyclé sur le comportement à l'état frais et durcissant des mortiers >>, thèse de doctorat, université de Lille 1, école des mines de douai,2015

127- Zitouni Kheira, << Effet des granulats recyclés sur le développement de la microstructure des bétons autoplaçants (BAP) >>, Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie, IFSTTAR, Marne La Vallée, France

128- EL BARRAK M., « Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais », Thèse de Doctorat, l'Université Toulouse III,2005

129- BETHMONT S., « Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des interactions granulaires », Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France,2005

130- Assié S., « Durabilité des bétons autoplaçants », Thèse de Doctorat de l'Institut National Des Science Appliquées de Toulouse, Octobre 2004

131- Bourmatte Nadjoua, Granulats recycles de substitution pour bétons hydrauliques, Thèse de doctorat en sciences, Université des frères metouri Constantine, 2017

132- KANSTAD T., HAMMER T.A., BJONTEGAARD O., SELLEVOLD E.J., 2013 « Mechanical properties of young concrete : Part I : Experimental results related to test methods and temperature effects », Materials and Structures J., Vol. 36, N°4

133- .

134- SHOUKRYS. N., GERGIS W. W., DOWNIE B., RIAD M. Y., 2011, « Effect of moisture and temperature on the mechanical properties of concrete », Construction and Building Materials J., Vol. 25

135- YAZICI H., YARDIMCI M. Y., AYDIN S., KARABULUT A. S., 2009 « Mechanical properties of reactive powder concrete containing mineral admixtures under different curing regimes », Construction and Building Materials J., Vol.23 2009

136- KEJIN W., ZHI G., 2013, « Evaluating properties of blended cements for concrete pavements. Final report », Center for Portland Cement Concrete Pavement Technology : Iowa State University, 2003.