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

L'effet des conditions de fabrication sur les propriétés des BAP à faible impact environnemental

---

Présenté par

Bieda Razika

Nadjaoui Raounek

Proposé et Dirigé par

M^me^ BACHENE Sara

P^r^ BOUKENDAKDJI Othman

Promotion Juin 2022

Remerciements

Toute ma gratitude, grâce et remerciement vont en premier lieu à ALLAH le tout puissant très Miséricordieux, qui m'a donné la force, la patience, le courage et la volonté d'accomplir ce Modeste travail.

Tout d'abord, je tiens à remercier mon cher père et ma chère mère

Qui m'a soutenu et encouragé avec une patience infinie pendant un moment années d'études. Tu as été mon soutien et tu seras toujours ma source de force, la source qui me fera toujours avancer.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à mon directeur de thèse, Dr BOUKENDAKDJI Otmane, d'avoir accepté d'encadrer mon travail de recherches et de m'avoir confié ce sujet de recherche intéressant.

Le présent travail s'est déroulé au Laboratoire de Recherches de Génie Civil de l'Université de Yahia FARES de Médéa, sous la direction de Melle Bachen , Je tiens à la remercier pour ses aides efficaces, sa disponibilité, et ses conseils précieux.

Ma gratitude va à tous les enseignants qui ont participé à ma formation durant l'année théorique.

Je remercie très chaleureusement ma famille élargie (Farah), en particulier ma chère grand-mère Khaira, ma sœur Fatima et sa fille Ghefran .

Et bien sûr mes frères Walid et Mohammad .

Merci à mon cher ami NADJAOUI RAOUNEK .

Je remercie également le professeur ABU DAQQA ABDULHAMID .

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué directement ou indirectement à la accomplir ce travail.

BIEDA RAZIKA

Remerciements

Le premier mot par lequel je commence est de remercier Dieu, le Très Miséricordieux, le Très Miséricordieux, qui m'a donné la force et la volonté d'accomplir cet humble travail.

Je termine ici ma thèse de fin d'études avec enthousiasme et vigueur et je suis reconnaissant à ceux qui ont été crédités de ce voyage de ma vie.

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à mon directeur de thèse, le Pr BOUKENDAKDJI.O, et M^{elle} BACHENE SARA d'avoir accepté de diriger mon travail de recherche et de me confier cet intéressant sujet de recherche. Et pour leur patience et pour tous les conseils et informations précieuses qu'ils nous ont donnés et qui ont contribué à notre thèse, et pour leur patience et la confiance qu'ils nous ont accordée.

Nous tenons également à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail. Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les enseignants du département de génie civil de l'université et du laboratoire de recherche (Université YAHYA FARES A MEDEA).

• Je dédie aussi le fruit de mes efforts à la chose la plus chère et la plus précieuse que je possède dans mon monde, que Dieu Tout-Puissant a placé le Paradis sous ses pieds (ma chère mère).

• Je dédie ceci à l'âme pure de mon père, que Dieu ait pitié de lui, qui a été le premier soutien dans tout mon parcours académique.

• Sans oublier mon lien et mon affiliation (ma chère sœur)

A mon ami et compagnon Razika de cette graduation

" Nadjaoui Raounek"

الملخص

الشعور بالحاجة للحفاظ على الموارد وحماية البيئة واستخدام الطاقة بشكل اقتصادي في مجال التكنولوجيا . اجتذبت إعادة تدوير نفايات الهدم كمصدر للركام لإنتاج الخرسانة اهتمامًا متزايدًا في بناية المنشآت ، ولهذا الغرض فإن تقييم الركام المعاد تدويره يشكل مورد جديد، لتلبية الاحتياجات المتزايدة للبناء .

الهدف من هذا العمل هو المساهم في دراسة وصياغة الخرسانة ذاتية القولبة باستعمال الحصى المعاد تدويره، عن طريق تغيير معدل استبدال الركام الطبيعي بالركام المعاد تدويره في درجة حرارة مختلفة .

أظهرت النتائج أن استعمال الركام المعاد تدويره تنتج اقل مقاومة من الركام الطبيعي في الخرسانة ذاتية القولبة .

في الواقع، تم الحصول على مقاومة أقوى عند استعمال 0٪ من الركام المعاد تدويره بعكس ما أظهرته الخرسانة التي تحتوي على نسب من الركام المعاد تدويره كما أن درجة الحرارة العالية كان تأثيرها بإعطاء مقاومة أعلى من درجة الحرارة العادية في الأيام الأولى 1، 3و7 أيام بعكس في اليوم 28 تكون المقاومة في درجة الحرارة العادية هي الأقوى

الكلمات الرئيسية:حصى المعاد تدويره، حصى طبيعي، الخرسانة ذاتية القولبة، معدل الاستبدال، الخصائص, درجة الحرارة ,مقاومة , الاستدامة .

RESUME

Ressentir le besoin de conserver les ressources, de protéger l'environnement et d'utiliser l'énergie de manière économique dans le domaine de la technologie. Le recyclage des déchets de démolition comme source de granulats pour la production de béton a suscité un intérêt croissant dans la construction d'installations, à cet effet, l'évaluation des granulats recyclés constitue une nouvelle ressource, pour répondre aux besoins croissants de la construction.

L'objectif de ce travail est de contribuer à l'étude et à la formulation de béton autoplaçant à partir de graviers recyclés, en modifiant le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés à différentes températures.

Les résultats ont montré que l'utilisation de granulats recyclés produit moins de résistance que les granulats naturels dans le béton autoplaçant . Les résultats ont montré que l'utilisation de granulats recyclés produit moins de résistance que les granulats naturels dans le béton autoplaçant

En fait, une résistance plus forte a été obtenue en utilisant 0% de granulats recyclés, contrairement à ce qui a été montré par le béton qui contient des proportions de granulats recyclés, et la température élevée a eu son effet en donnant une résistance supérieure à la température normale dans le premier jours, 1 jours contrairement à un jour 28 La résistance à température normale est la plus forte.

Mots-clés: gravier recyclé, gravier naturel, béton autoplaçant , taux de remplacement, propriétés ,Température, résistance, durabilité.

ABSTRACT

Feeling the need to conserve resources, protect the environment, and use energy economically in the field of technology. Recycling of demolition waste as a source of aggregate for concrete production has attracted increasing interest in facility building, for this purpose the evaluation of recycled aggregate constitutes a new resource, to meet the growing needs of construction.

The aim of this work is to contribute to the study and formulation of self-forming concrete using recycled gravel, by changing the rate of replacement of natural aggregate with recycled aggregate at different temperature.

The results showed that the use of recycled aggregates produces less resistance than natural aggregates in self-forming concrete.

In fact, a stronger resistance was obtained when using 0% of recycled aggregates, in contrast to what was shown by concrete that contains proportions of recycled aggregates, and the high temperature had its effect by giving a higher resistance than the normal temperature in the first days, 1 days in contrast to a day 28 The resistance at normal temperature is the strongest

Keywords: recycled gravel, natural gravel, self-casting concrete, replacement rate, properties, Temperature, resistance, sustainability.

TABLE DES MATIERES

Remerciement

Résumé

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et des notations

Introduction générale……..1

CHAPITRE 1 : ANALYSE BIBLOIGRAPHIQUE

1.1. introduction.....2

1.2. definition des betons autoplaçants.....3

1.3.particularites de la composition des betons autoplaçants.....3

1.3.1.les granulats.....3

1 .3.2.la poudre.....4

1.3.3.le ciment.....5

1.3.4.les adjuvants.....5

1.4.proprietes du beton autoplaçant a l'etat frais.....7

1.4.1. caracteristiques rheologiques des betons autoplaçants.....7

1.4.2.la capacite de passage.....9

1.4.3.la capacite de remplissage.....10

1.4.4.stabilite.....10

1.5. propriete des betons autoplaçants a l'etat durci.....11

1.5.1. resistance mecanique.....11

1.5.2.la resistance a la traction.....12

1.5.3. durabilite.....12

CHAPITRE 2:

LES GRANULATS RECYCLE ET L'EFFET DE L'ENVIRONEMMENT CLIMATIQE SUR QUALITE DE BETON

2.1.introduction....14

2.2. interet du recyclage dans le genie civil....14

2.3.dechets utilises comme granulats du beton....15

2.3.1. dechet de faïence....15

2.3.2. dechets de pneus....16

2.3.3. les dechets de brique....17

2.3.4. dechets de verre....17

2.3.5. les dechets de chantier....18

2.3.6. les dechets plastiques....19

2.3.7. dechets de bois....20

2.4.le recyclage de beton de demolition (statistique)....20

2.5.les principes du recyclage....21

2.6. elaboration des granulats recycles....22

2.7.impacts du recyclage sur l'environnement....23

2.8.caracteristiques des granulats recycles....24

2.8.1.caracteristiques geometriques des granulats (forme, zone de transition, mf,..)....24

2.8.2.masse volumique....25

2.8.3.la porosite....26

2.8.4. densite....26

2.8.5. absorption d'eau....26

2.8.6.durete....27

2.9.l'effet des granulats recycles sur les caracteristiques des bap....27

2.9.1. l'etat frais 27
2.9.1.1.ouvrabilite 27
2.9.1.2.l'air occlus 29
2.9.1.3.densite 29
2.9.2. etat durcis 30
2.9.2.1. absorption du beton durci 30
2.9.2.2.la porosite 31
2.9.2.3 la resistance a la compression 31
2.9.2.4. la resistance a la traction 33
2.10. l'effet de l'environnement climatique sur la qualite de beton 34
2.10.1. introduction 34
2.10.2.le climat chaud 34
2.11. effet de climat chaud sur le beton 35
2.11.1. beton a l'etat frais 35
2.11.1.1. ouvrabilite du beton 35
2.11.1.2.temps de pries 36
2.11.1.3.chaleur d'hydratation 37
2.11.2.beton a l'etat durci 38
2.11.2.1. resistance a la compression 38
2.11.2.2. la durabilite des betons 38
2.11.2.3. porosite 39
2.11.2.4. permeabilite 39

CHAPITRE 03 : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

3.1. introduction 41
3.1.1. granulats 41
3.1.2. methode de recyclage du gravier et du sable 42

3.1.3 essai de la masse volumique 43
3.1.4 coefficient d'absorption d'eau 45
3.1.5.essai de l'équivalent de sable 48
3.1.6 module de finesse des sables 49
3.1.7 l'essai de granularite (l'analyse granulometrique par tamisage) 51
3.1.8.coefficient d aplatissement 53
3.2.le ciment 54
3.3.eau utilisee 56
3.4.caracterisation de l'adjuvant 56
3.5. essais realises sur le beton 58
3.6. procedure de malaxage 58
3.7.methode d'essai 60
3.7.1.essais a l'etat frais 60
3.7.1.1.essai d'etalement (slump flow) 60
3.7.1.2. essai de la boite en l (l-box) 61
3.7.1.3. essai d'etalement en v(v-funnel test) 63
3.7.1.4. essai a la couronne (j-ring test) 64
3.7.1.5. essai de stabilite au tamis 64
3.8. prepare et confection les eprouvette 65
3.8.1.prepare les eprouvette 65
3.8.2.confection et cure des eprouvettes 65
3.9.les essais a l'etat durci 66
3.9.1.resistances a la compression 66
3.9.2. resistances a la traction 67

CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSION

4.1.introduction 70

4.2. formulation du beton autoplaçant 70
4.2.1besoin en superplastifiants 71
4.2.2.effet de la temperature de cure sur l'ouvrabilite des bap 73
4.2.3. effet de la temperature de cure sur la perte d'ouvrabilite des bap 74
4.2.4.etalement et temps t50 au cone d'abrams 75
4.2.5.temps d'ecoulement par l'essai d'entonnoir en v (v-funnel) 76
4.2.6.rapport h_2/h_1 de l'essai de la boite en l (l-box) 76
4.2.7.resistance a la segregation par tamisage 77
4.3.resultats de caracterisation des bap a l'etat durci 78
4.3.1.resistance a la compression 78
4.3.2.resistance a la traction 80
conclusion 80
conclusion generale 84

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1 :

Figure.1. 1:Action des superplastifiants- Défloculation des grains de ciment. 6

Figure.1. 2:Etalement et viscosité en fonction du dosage en superplastifiant. 6

Figure.1. 3:modèles rhéologiques. 8

CHAPITRE 2 :

Figure.2. 1:Déchet de faïence. 16

Figure.2. 2:Déchet de Pneus. 16

Figure.2. 3:Déchets de brique 17

Figure.2. 4:déchets de verre. 18

Figure.2. 5:Déchets de chantier 19

Figure.2. 6:différent types de déchets plastique. 20

Figure.2. 7:déférents types de déchets de bois]. 20

Figure.2. 8:Le recyclage de béton de démolition (statistique) 21

Figure.2. 9:Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite) 25

Figure.2. 10:Variation de la demande en eau en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton 28

Figure.2. 11:Rapport E/C des bétons à base de granulats recyclés 28

Figure.2. 12:Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton 29

Figure.2. 13:Variation de la densité du béton frais en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton 30

Figure.2. 14:Porosité des bétons à granulats recyclés 31

Figure.2. 15:Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton Pour les trois dosages à 28j 31

Figure.2. 16:Résistance à la compression des bétons à granulats recyclés. 32

Figure.2. 17:évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps. 32

Figure.2. 18:Evolution de la résistance en traction par fendage à l'âge de 28 jours pour les bétons à différentes combinaisons granulaires 33

Figure.2. 19:Perte d'ouvrabilité du béton frais à 35°C présentant différentes teneurs en eau .35

Figure.2. 20:Effet de la température sur l'ouvrabilité avec des différents teneurs en eau 36

Figure.2. 21:Influence de la température sur le début et fin de prise 37

Figure.2. 22:Flux de chaleur d'hydratation d'un ciment. 38

Figure.2. 23:Effet de la température sur la résistance à la compression du béton 38

CHAPITRE 3 :

Figure.3. 1:procédé pour l'obtention des granulats recyclés. 42

Figure.3. 2:Sable Naturel.....43

Figure.3. 3:Gravier naturel (3/8) (8/15).....43

Figure.3. 4:Formes de granulats recyclés 43

Figure.3. 5:Essai de Pycnomètre. 44

Figure.3. 6:Méthode de pycnomètre. 44

Figure.3. 7:Méthode de La masse volumique apparente. 45

Figure.3. 8:Essai d'absorption des granulats utilisés.....47

Figure.3. 9:Essai d'absorption des granulats utilisés. 47

Figure.3. 10:Essai d'absorption des granulats utilisés. 48

Figure.3. 11:Essai de l'équivalant de Sable. 49

Figure.3. 12:Analyse granulométrique. 50

Figure.3. 13:analyse granulométrique des sables naturel et recyclé. 50

Figure.3. 14:Analyse granulométrique des granulats naturel 52

Figure.3. 15:Analyse granulométrique des granulats recyclé. 53

Figure.3. 16:Ciment utilise. 56

Figure.3. 17:le MEDAFLOW 30.....57

Figure.3. 18:Le malaxage.....58

Figure.3. 19:Mise en œuvre des BAP ordinaires et recyclés.....59

Figure.3. 20:Essai d'étalement au cône.....60

Figure.3. 21:Essai de la boîte en L.....62

Figure.3. 22:Essai d'étalement en V(V-funnel test) 63

Figure.3. 23:Mesure du diamètre à l'essai à la couronne J (J–Ring test).....64

Figure.3. 24:Essai de stabilité au tamis.....65

Figure.3. 25:Prépare les éprouvettes.....65

Figure.3. 26:cure des éprouvettes.....66

Figure.3. 27:Eprouvettes cubiques (10 x 10 x 10) cm3.....66

Figure.3. 28:Essais de résistance à la compression.....67

Figure.3. 29:Eprouvettes prismatiques (7x7x28) cm3.....67

Figure.3. 30:Dispositif de traction par flexion 68

CHAPITRE 4 :

Figure.4. 1:variation du dosage SP en fonction de taux de granulat recyclé et température de malaxage.....72

Figure.4. 2:L'étalement des différents BAP en fonction du temps à 20°C.....73

Figure.4. 3:L'étalement des différents BAP en fonction du temps à 50°C.....73

Figure.4. 4:La perte d'ouvrabilité des BAP en fonction du temps à 20°C.....74

Figure.4. 5:L'ouvrabilité des BAP en fonction du temps à 50°C.....75

Figure.4. 6:Temps d'Ecoulement T50 en fonction de taux de granulat recycle à 20°C.....75

Figure.4. 7:Temps d'Ecoulement T50 en fonction de taux de granulat recycle à 50°C.....75

Figure.4. 8:Temps d'écoulement par l'essai d'Entonnoir en V (V-Funnel).....76

Figure.4. 9:rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de granulat recycle.....76

Figure.4. 10:pourcentages de ségrégation des mélanges en fonction des granulats recyclés...77

Figure.4. 11:La résistance à la compression à 3,7, 28 et 56 jours à 20° et 50° 79

Figure.4. 12:la résistance à la traction à 28 jour.....80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau.1 1Les propriétés et les essais essentiels des BAP à l'état frais 7

Tableau2.1 Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés 30

Tableau2.2 Caractéristiques mécaniques des granulats naturels et recyclés 33

Tableau3. 1 Masses volumiques des différents granulats.....45

Tableau3.2 Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés 46

Tableau3.3 Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés 47

Tableau3.4 Equivalent de Sable 49

Tableau3. 5 Module de finesse des sables.....50

Tableau3.6 Analyse granulométrique des granulats naturel.....51

Tableau3.7 Analyse granulométrique des granulats recyclé 52

Tableau3. 8 Coefficient d aplatissement.....53

Tableau3.9 Coefficient d aplatissement.....54

Tableau3.10 Analyses chimiques du ciment 54

Tableau3.11 Composition minéralogique du clinker 55

Tableau3.12 Propriétés physiques du ciment 55

Tableau3.13 Résistance à la compression 55

Tableau3.14 les caractéristiques de superplastifiant MEDAFLOW 30 57

Tableau3.15 Classification des BAP selon domaine d'application Classe 61

Tableau3.16 classes d'aptitude à l'écoulement - boite en L.....63

Tableau4. 1 Composition des BAP testés.....71

LISTE D'ABREVIATION

µm	Micromètre
Ab	Absorption
BAN	Béton autonivelant
BAP	Béton autoplaçant
BO	Béton Ordinaire
Cm	Centimètre
CPJ CEM II 42.5	Ciment Portland composé
E/C	Eau/Ciment
E/P	Eau / poudre
EN	Norme Européenne définitive
Es	Equivalent de Sable
g	Gramme
g/l	Gramme /litre
G/S	Gravier/Sable
GN	Gravier naturelle
GR	Gravier recycle
H	Hauteur
HF	Haut Fourneau
HR	Humidité relative
J	Jours
m/s	Mètre / second
m^2/s	Mètre carré / second
Mf	Module de finesse

ml/cm2	Millilitre / centimètre carré
MPR	Matière première de recyclage
Mv_a	la masse volumique apparente
NF	Norme Française
P	la porosité
PVC	Polychlorure de Vinyle
REP	filières à Responsabilité élargie du producteur
S	Second
SCC	self compacting concrète
SN	Sable naturelle
SP	Superplastifiant
SR	Sable recycle
T	Température
t	Temps
τ	Taux de cisaillement
$\tau_0 A$	Seuil de cisaillement initial

INTRODUCTION GENERALE

Le granulat naturel est considéré comme l'une des priorités de la construction en génie civil, il y est en premier lieu de sorte qu'il représente environ 80% du poids total du béton, et les statistiques indiquent que la construction et les prix généraux nécessitent 560 millions de tonnes de granulats et matériaux similaires chaque année, mais ce dernier a un impact négatif sur l'environnement, les matières animales et végétales. Par conséquent, il est nécessaire de rechercher de nouvelles sources pour se débarrasser des déchets de gravats, et de les recycler, car c'est l'une des solutions proposées pour réduire ces déchets.

L'utilisation de ce granulat doit également être généralisée à tous les types de bétons généraux, et aux bétons autoplaçants en particulier.

Ce type peut être utilisé par simple coulée pour annuler les vibrations des machines à l'origine du bruit.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier les granulats recyclés, qui seront dans l'une des trois méthodes:

Réduire l'utilisation du béton. Réutiliser le même béton et enfin recycler le béton.

Les résultats obtenus ont montré que le mode de maintien d'une température initiale plus élevée n'a pas d'effet significatif sur la compressibilité du béton, cela se traduit par des propriétés dans des conditions de cure égales ou meilleures que celles mesurées à 20°C, le stockage des échantillons à une la température n'a pas changé Lors du malaxage initial où la température des matériaux a atteint 50°C, une analyse plus détaillée des propriétés de mouillage (même quantité de matériau avec différence de température) peut émerger dans cette optique. L'intérêt d'utiliser des matrices à fort taux de charges issues de granulats recyclés.

Enfin, les résultats de la littérature confirment que la haute température n'affecte pas autant les performances du BAP que celles du béton vibré classique. Cependant, les recommandations actuelles pour l'utilisation du béton par temps chaud doivent toujours être suivies ;

Le respecter évite les déformations excessives après chargement, ainsi que la synthèse et le traitement du BAP à des températures élevées à l'aide de liants tels que les granulats recyclés, dont nous avons parlé dans notre sujet.

CHAPITRE 1 :

ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Introduction

L'idée du béton autoplaçant était proposée en 1986 par le professeur Hajime Okamura (1997), mais le prototype a été la première fois développé en 1988 au japon, par le professeur Ozawa (1989) à L'université de Tokyo.

Sa première utilisation pratique intervient deux années plus tard pour la construction d'un pont.

Les bétons autoplaçants (BAP) se distinguent donc des bétons dits ordinaires (BO), ou bétons à vibrer, par leurs propriétés à l'état frais, il est capable de se compacter sous son propre poids, sans vibration extérieure. Par ailleurs, le matériau doit être stable pour assurer l'homogénéité de la structure finale.

Les avantages d'un tel béton sont les suivants:

- pour la mise en œuvre :
  - diminution du temps de coulée.
  - suppression de la vibration et donc diminution notoire des nuisances sonores et de l'usure des moules métalliques et des coffrages.
  - meilleures conditions de travail, ce qui permet d'attirer une main d'œuvre qui n'appréciait pas toujours les conditions de travail « bruyantes ».
  - possibilité de couler des bétons dans des endroits inaccessibles.
  - possibilité de couler des voiles de grande hauteur en une seule opération.
- sur la qualité du béton :
  - parfait remplissage des éléments fortement ferraillés.
  - obtention d'une bonne qualité de parement (surface de béton lisse et donc moins de pores en surface) .
  - et d'une manière générale, obtention d'une meilleure qualité du béton, in situ, pratiquement indépendante du savoir-faire des ouvriers durant la réalisation cela va dans le sens d'une durabilité accrue des ouvrages.
- durabilité accrue des ouvrages :

- permet d'envisager de nouveaux types d'éléments en béton .
- possibilité d'intégrer des réservations dans le coffrage**[1] .**

1.2. Définition des bétons autoplaçants

Le béton autoplaçant «self compacting concrete SCC » on désigne des bétons très fluides, homogènes et stables, caractérisés par une mise en place sans vibration (la compaction des BAP s'effectuant par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en place par vibration**[2] .**

Ces propriétés sont caractérisées par différents essais et les critères de résultats permettent de donner une définition quantitative pour les BAP :

- Les valeurs cibles d'étalement au cône d'Abrams sont généralement fixées dans l'intervalle de 60÷75cm selon l'AFGC et 50 à 60 cm selon la norme japonaise (et pas de ségrégation visible en fin d'essai : auréoles de laitance ou amoncellement de gros granulats au centre).

- Le taux de remplissage à la boite en L doit être supérieur à 0.8.Pour les ouvrages de génie civil fortement ferraillés on adoptera le ferraillage mais pour des configurations plus simples on pourra utilisé un dispositif allégé du ferraillage dans la boite en L.

- Le béton doit être stable sous l'effet de la gravité (pas de ségrégation) et présenter une capacité de ressuage limitée, l'absence de ségrégation visuelle lors de l'essai d'étalement au cône d'Abrams n'est pas suffisante. Il sera contrôlé en utilisant l'essai de stabilité au tamis.

1.3.Particularités de la composition des bétons autoplaçants

1.3.1.Les granulats

Il est possible d'utiliser des granulats concassés ou roulés pour la formulation des BAP. Toutefois, comme les gravillons sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée, il faut en limiter le volume.

D'un autre côté, la présence de gravillons permet d'augmenter la compacité du squelette granulaire du béton et donc de limiter la quantité de liant nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité et la résistance souhaitées. En général, ces considérations conduisent à adopter un rapport gravillon/sable de l'ordre de 1 dans les BAP.

Le mélange granulaire pour béton autoplaçant est caractérisé par une teneur élevée en sable et en éléments fins. Le passant au tamis de 2 mm devrait être idéalement compris entre 38 et 42%. De même, la proportion de farines (<0,125 mm²) ne devrait pas être trop faible, l'optimum tant situ entre 4 et 8% **[3].** Le choix d'une granularité continue appropriée est très important étant donné la forte incidence du volume des vides sur la quantité nécessaire de pâte de ciment. Afin d'assurer une bonne stabilité du BAP (éviter toute ségrégation), il est recommandé de choisir un sable spécialement optimisé, au besoin recomposé partir de plusieurs fractions.

Toutou et Roussel en, 2006ont montré que d'une manière générale la fluidité des bétons de type autoplaçant augmente lorsque le volume des inclusions granulaires diminue car les contacts granulaires ont diminué**[2].**

1 .3.2.La poudre

La poudre est la composante clé du BAP. En plus de sa fonction principale de relier les différents constituants du béton en présence de l'eau, la poudre occupe les vides inter granulaires en rendant le matériau plus dense. L'augmentation de son volume a pour but d'améliorer les propriétés du béton aussi bien à l'état frais (déformabilité, capacité de passage et résistance à la ségrégation), qu'à l'état durci (résistance et durabilité) **[4] .**La finesse de la poudre joue un rôle important dans l'amélioration des caractéristiques des BAP.

L'augmentation de la finesse de la poudre contribue à l'amélioration de la déformabilité, de l'ouvrabilité, de la résistance à la ségrégation et de la compacité du béton **[5,6].** Ozawa et al **[7].**ont rapporté que des BAP contenant des poudres fines (de grande finesse) présentent des grandes résistances à la ségrégation en raison de la grande quantité d'eau retenue par les grains de la poudre fine. Cependant, l'utilisation des poudres contenant beaucoup des particules fines inferieures à 20µm nécessite un dosage élevé en superplastifiant SP pour les disperser **[8]**. Noumowe et al **[9].**

ont montré que la quantité des particules fines inferieures à 100µma un effet significatif sur la capacité de remplissage et la résistance à la ségrégation.

En général, la poudre est composée d'un ciment Portland seul. Toute fois, pour économiser le cout de production des BAP et éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation, la poudre est souvent un composé binaire voire ternaire, ciment Portland mélangé avec fumée de silice, laitier de haut fourneau, cendres volantes, filler calcaire….etc**. [1]**

1.3.3.Le ciment

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les BAP contiennent une quantité de fines de l'ordre de 500 kg/m^3 supérieure à celle des bétons conventionnels. Ces fines proviennent du ciment, des additions minérales et des granulats. **[10]** La quantité de pâte joue un rôle important dans la fluidité car l'ajout de fines réduit les interactions entre les plus gros grains. Il est donc nécessaire dans le cas des BAP de remplacer une partie du ciment par des additions minérales. Le choix des additions et leur teneur respective dans les BAP est réalisé pour répondre aux exigences de résistance à la compression à 28 jours et aux exigences de durabilité . **[11]**

1.3.4.Les adjuvants

Les superplastifiants

Les superplastifiants sont des produits organiques souvent de synthèse. Ce sont des composés solides ou sous forme de solutions aqueuses à base de polymère formaldéhyde naphtalène sulfonate , polymère formaldéhyde mélamine sulfonate, carboxylates, polysaccharides **[12].**Le mode d'action des superplastifiants est extrêmement complexe. Il peut être expliqué comme suit :

Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.**[2]**

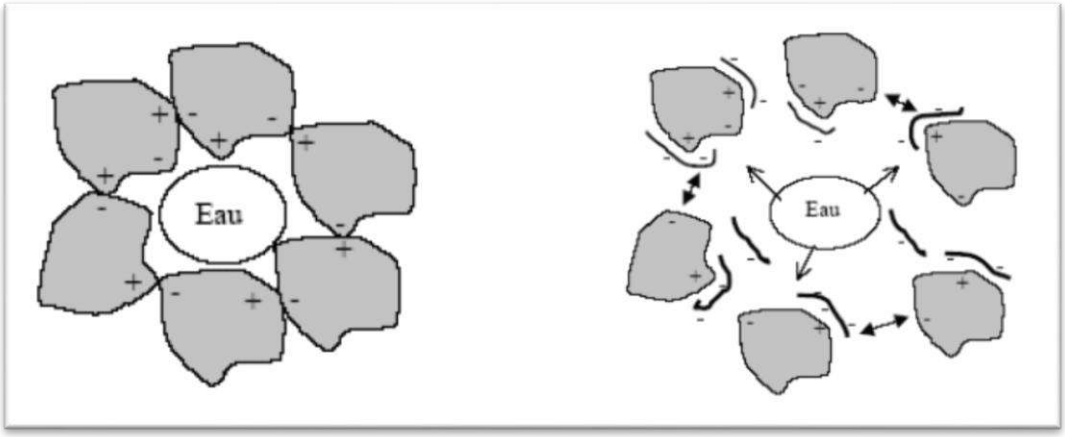


Figure.1. 1: Action des superplastifiants- Défloculation des grains de ciment. **[13]**

dans le cas des BAP, l'utilisation des superplastifiants a pour objet d'améliorer l'ouvrabilité du béton, en diminuant son seuil de cisaillement et sa viscosité **[14]**.

La est un exemple représentatif de l'effet d'introduction d'un superplastifiant sur l'ouvrabilité du béton ; plus le dosage en superplastifiant est grand plus le béton devient fluide jusqu'à une certaine valeur où l'augmentation du dosage en superplastifiant n'a plus d'effets sur l'étalement. De la même manière, la viscosité du BAP change faiblement jusqu'à un dosage à partir elle commence à baisser d'une manière significative.

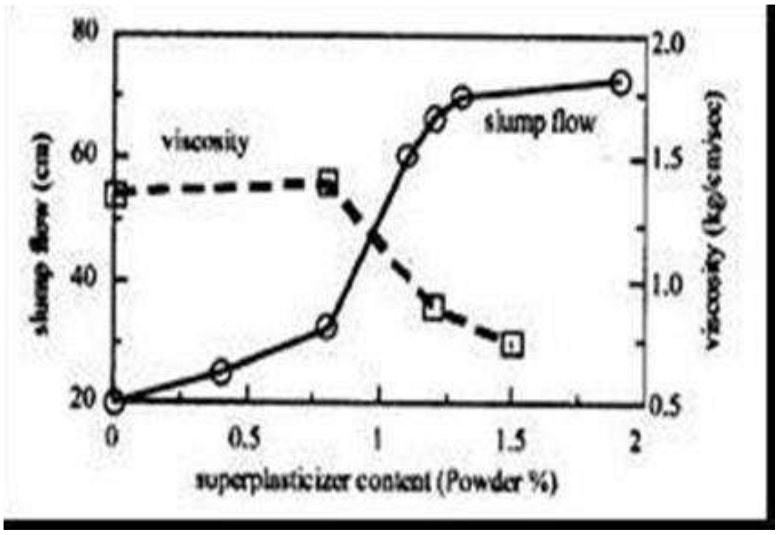


Figure.1. 2:Etalement et viscosité en fonction du dosage en superplastifiant. **[15]**

1.4.Propriétés du béton autoplaçant à l'état frais

Un béton est qualifié d'autoplaçant s'il satisfait les propriétés citées ci-dessus, pour avoir toutes ces propriétés presque contradictoires, il faut bien choisir les matériaux et trouvées la bonne composition en suite vérifier le béton par les essais nécessaires, Le tableau 1.1 résume ces étapes.

Tableau.1 1 Les propriétés et les essais essentiels des BAP à l'état frais **[16]**

	Moyen d'obtention	Les précisions dans la formulation	Les essais à réalisé
Capacités au remplissage	Réduction des frictions intergranulaires	Augmentation du volume de pate (diminution de volume de gros granulat)	• Etalement au Cône d'Abrams • Temps à T50 au cône d'Abrams • Temps d'écoulement à l'entonnoir en V • Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars • Etalement au Tube Orimet • Essai du caisson
		Utilisation d'un liant de granularité continu	
		Optimisation du rapport G/S	
	Augmentation de la fluidité de la pate	Utilisation d'un superplastifiant	
		Optimisation du rapport E /C, S/M.	
Capacités de passage	Réduction de blocage des granulats	Réduction de volume de gravier	• Etalement au J-Ring • Temps à T50 au J-Ring • Différence d'Hauteurs au J-Ring • Essai de la Boite en L Mesure de H2/H1 • Essai de la boite en U
		Réduction la taille maximal des granulats	
	Accroitre la cohésion pour réduire le tassement des granulats	Adoption d'un petit rapport Eau/Liant	
		Utilisation d'un agent de viscosité	
Stabilité	Réduction de la séparation de phases	Réduction de rapport E/C	• Essai de stabilité au tamis de 5 mm • Essai de tassement
		Utilisation d'agent de viscosité	
		Réduction de la taille maximale des granulats	
		Limitation de la teneur en granulat	
	Minimisation de ressuage	Réduction de rapport E/C	• Essai à l'aéromètre modifié
		Utilisation de matériaux de grandes surfaces spécifique	
		Utilisation d'agent de viscosité	

1.4.1. Caractéristiques Rhéologiques des bétons autoplaçants

La caractérisation du béton à l'état frais peut se faire grâce à l'étude des propriétés rhéologiques fondamentales telles que le seuil de cisaillement ou la viscosité plastique.

La rhéologie donne les relations entre contraintes et déformations d'un élément de volume, en tenant compte éventuellement de leur histoire et des valeurs actuelles de leur

dérivée par rapport au temps. Ces relations, dites de comportement, font correspondre les déformations d'un élément de volume aux contraintes qui lui sont imposées.

Le comportement rhéologique d'un matériau (Figure 1.3) est dit viscoplastique si son écoulement ne se produit qu'au-delà d'une certaine valeur des contraintes appliquées, appelée seuil de cisaillement τ_0.

Différents modèles peuvent être utilisés pour décrire le comportement rhéologique des bétons. Dans la pratique, deux modèles sont couramment utilisés pour les BAP : le modèle de Bingham et le modèle de Herschel-Bulkley représentés sur la Figure 1 .3.

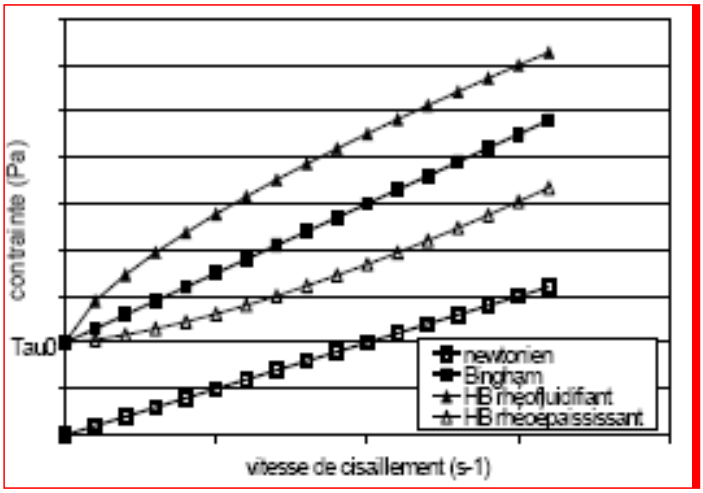


Figure.1. 3:modèles rhéologiques. **[17]**

Le fluide est considéré comme binghamien si la courbe d'écoulement est une droite, qui a pour équation :

$$\tau = \tau_0 + \eta_b \gamma$$

Avec

τ : la contrainte de cisaillement (Pa) et

τ_0:le seuil de cisaillement (Pa)

η_p : la viscosité plastique (P.A.S.$^{-1}$) et

γ : la vitesse de déformation (s^{-1}).

En ce qui concerne les bétons autoplaçants , selon De Larrard **[18]** a montré que l'équation de leur comportement suit le modèle de Herschel-Bulkley, l'équation du comportement est la suivante :

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \begin{cases} n\rangle 1 \text{ fluide rhéoépaississant} \\ n = 1 \text{ fluide de bingham} \\ n\langle 1 \text{ fluide rhéofluidifiant} \end{cases}$$

Avec : K : coefficient de viscosité,

n : indice.

Toute fois, ce modèle est plus exigeant que celui de Bingham car il nécessite la détermination d'un paramètre supplémentaire.

Ces grandeurs (seuil de cisaillement, viscosité plastique) permettant de définir le comportement d'un béton lors de sa mise en place sont quantifiables à partir d'appareils appelés rhéomètres. A ce jour, les principaux dispositifs expérimentaux utilisés pour des mesures sur béton frais sont **[18]**.

- le viscosimètre à plaque parallèle BML (utilisé en Islande [Wallevik 90]).
- le rhéomètre coaxial BTRhéom (employé en France [De Larrard 96 b]).
- le rhéomètre coaxial CEMAGREF-IMG (utilisé en France [Hu 95]).
- le rhéomètre coaxial Rhéo CAD (mis au point par la société CAD Instrumentation avec l'aide de M. Vernet, ingénieur au CTG, et employé au LMDC [Mouret 03])

Tous ces appareils mesurent le couple résistant du béton en fonction de la vitesse d'écoulement imposée (par mise en rotation de divers mobiles ou palettes). Ces deux données permettent ensuite d'obtenir, par différents calibrages, les grandeurs caractéristiques de l'écoulement du béton, à savoir le seuil de cisaillement et la viscosité plastique.

Cependant, la présence de granulats de tailles variées dans le béton ne permet pas de définir un matériau type pour tous ces rhéomètres, qui servirait de référence à toutes les mesures. Par conséquent, étant donné les caractéristiques inhérentes à chaque rhéomètre, les comparaisons des résultats d'un appareil à l'autre ne sont pas forcément évidentes. **[20]**

1.4.2.La capacité de passage

La Capacité de passage définie comme la capacité du béton à s'écouler à travers et autour de l'espace confiné, telles que les ouvertures étroites entre les barres d'armature sans ségrégation ou bloquant **[21]**. Même si l'élargissement de la capacité de remplissage augmente généralement capacité de passage, une capacité de remplissage plus élevée ne garantit pas la capacité de passage **[22]**.

Semblable à la capacité de remplissage, le passage du BAP change largement en fonction de son application.

De plus, il n'est pas nécessaire de déterminer la capacité de passage des éléments non renforcés ou légèrement renforcés **[22]**. La diminution de la taille maximale de l'agrégat peut améliorer la capacité de passage ; cependant, ces avantages devraient être évalués par rapport à toute augmentation nécessaire du de pâte et aux effets directs ou secondaires connexes sur les caractéristiques durcies **[23]**.

1.4.3.La capacité de remplissage

La capacité de remplissage définit la capacité du béton à s'écouler sous son propre poids et à se remplir complètement le coffrage **[24]**. La capacité de remplissage est une propriété critique d'un BAP de qualité car le béton ne s'intégrerait pas suffisamment sans lui **[22]**. Avoir une capacité de remplissage optimale est essentiel pour les membres avec des espaces proches tels quel rageurs étroites ou renfort surchargé. Au-dessus et au-delà ; applications où le béton doit couler sur de longues distances horizontales peut nécessiter une capacité de remplissage plus élevée.

D'autre part, une énergie de placement plus élevée étant générée par pompage ou par gravité. Ils agissant sur une masse démesurée de béton peut diminuer la demande de capacité de remplissage. Globalement le flux d'affaissement et le débit décrivent la capacité de remplissage du béton qui sont con-lié aux constantes de Bingham de la limite d'élasticité et de la viscosité plastique, en conséquence **[25]**.

1.4.4.Stabilité

La stabilité d'un BAP à 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. Plus un BAP est stable plus le degré du tassement et de la ségrégation sont faible. Une bonne compacité du squelette granulaire d'un BAP diminue la quantité d'eau libre d'où la nécessité de bien choisir les granulométries et les formes des différents constituants.

La ségrégation des constituants du béton n'est pas seulement due à la différence des densités spécifiques, mais est grandement influencé par les collisions et les frictions inter granulaires directement liées à la viscosité du mortier **[26]**.
Le ressuage est un phénomène de montée d'eau à la surface juste âpre le coulage du béton.

La cause est dans la formulation d'un mélange, où la quantité d'eau est plus élevée que celle nécessaire pour créer un lien stable dans l'ensemble avec d'autres constituants de ce mélange de béton, donc il faut réduire la quantité d'eau libre dans le béton en réduisant le rapport E/C du béton.

L'eau libre dans Le béton est généralement mobile et peut trouver son chemin vers la surface du béton par effet de gravité et de densité indépendamment des solides dans le mélange.

Ceci à l'extrême se traduit par une couche de laitance en surface libre du béton.

Pour éviter la ségrégation, Des matériaux de surface granulaire plus élevée, peuvent par absorption et adsorption retenir une quantité 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 à l'aéromètre modifié (développé par le LCPC).**[1]**

1.5. Propriété des bétons autoplaçants à l'état durci

Vue que la composition des bétons autoplaçants est exceptionnelle, il est important d'étudier les différentes propriétés mécaniques et module d'élasticité de ces bétons et plus particulièrement les déformations instantanées et différées, supposées différentes de celles des bétons ordinaires. **[20]**

1.5.1. Résistance mécanique

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 **[27]**..

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 .Domaine **[28]** 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).

1.5.2.La 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 **[29]**. 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 **[30,31]**.

Contrairement Kluge **[32]** 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.

1.5.3. Durabilité

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]**

.

CHAPITRE 2:

LES GRANULATS RECYCLÈ ET L'EFFET DE L'ENVIRONEMMENT CLIMATIQE SUR LA QUALITE DE BETON

2.1.Introduction

Depuis le début des années 90, la gestion des déchets est en pleine révolution afin de limiter ces impacts sur l'environnement. Malgré des évolutions très fortes en termes de prévention et de valorisation, il reste et restera toujours des déchets ne pouvant pas être valorisés selon les conditions techniques et économiques du moment.

Les bétons de recyclage contiennent différentes proportions de granulats provenant de la déconstruction de bâtiments qui se substituent aux granulats naturels. La réutilisation de matériaux recyclés boucle le cycle des matériaux et contribue considérablement à la durabilité dans le secteur de la construction **[32].**

2.2. 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 . 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 **[33]** . En 2001, la quantité réelle issue du recyclage n'était cependant que de 5 millions de tonnes **[34]**

Face aux 400 millions de tonnes de granulats naturels produits en 2001 **[34]** ,le Granulat recyclé de déchets de démolition ne peut pas être considéré à ce jour comme un matériau de remplacement qui permettrait d'éviter ou de limiter de façon significative l'exploitation des gisements naturels.

Selon **[35]** 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.).

Par exemple, la Belgique produit annuelle environ 72 millions de tonnes par an de granulats tous types confondus **[36] .**

La répartition des différents types de granulats s'effectue de la manière suivante :

- Granulats naturels environ 43 millions de tonnes par an (+/- 58 %), la fabrication des bétons consomme à elle seule 15 millions de tonnes.
- Granulats marins environ 4 millions de tonnes par an (+/- 5, 5 %).
- Granulats artificiels environ 2 millions de tonnes par an (+/- 2, 25 %).
- Sables/Graves environ 11 millions de tonnes par an (+/- 14, 75 %).
- Granulats recyclés 14 millions de tonnes par an (+/- 19, 5 %).

Recycler des déchets dans une utilisation comme granulats pour les routes ou la construction permet:

- Une économie de la ressource naturelle.
- Une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consummation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre.
- une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitant
- La réduction des quantités de matériaux mis en décharge. Au niveau environnemental, le recyclage complet du béton contribue à minimiser l'impact CO2 du fait que :
- Pour les grandes agglomérations, l'utilisation des granulats recyclés permettra de diminuer une partie du CO2 attribuée au transport de granulats.
- Le béton concassé est susceptible de piéger le CO2 en se carbonatant **[37]** La récupération des fines potentiellement utilisables, après traitement, dans la production d'un nouveau ciment ou autre liant hydraulique, a un impact sur la réduction de la production de CO2 des cimenteries.

2.3.Déchets utilisés comme granulats du béton

2.3.1. Déchet de faïence

Les faïences peuvent être définies comme des produits céramiques dont la pâte poreuse. Et pas conséquent perméable. Et recouverte d'une composition vitrifiable destinée à remédier à cette perméabilité.

Les déchets de faïence sont des matériaux inertes ou résidus qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, ne se décomposent pas, ne brûlent pas, et ne produisent aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entrainer une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchet sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de travaux publics ou d'industries fabrication de matériaux de construction **[38]** .



Figure.2. 1:Déchet de faïence.

2.3.2. Déchets de Pneus

L'incorporation de granulats en caoutchouc issus du broyage de pneus usagés dans un mortier confère au composite obtenu une plus grande capacité de déformation avant localisation de la macro fissure. Il en résulte que le composite cimentaire incorporant des granulats en caoutchouc a une grande résistance à la fissuration de retrait malgré une amplitude plus élevée de ses variations dimensionnelles de retrait. Malgré les limites en termes de résistance en compression, le composite incorporant des granulats en caoutchouc est donc d'un intérêt évident dans toutes les applications où la lutte contre la fissuration due aux déformations est une priorité. **[39]**



Figure.2. 2:Déchet de Pneus.**[38]**

2.3.3. Les déchets de brique

Selon la méthode utilisée pour la fabrication et la manipulation des briques, il y a toujours un certain pourcentage de briques cassées, trop cuites ou mal cuites. Les briques concassées et bien cuites conviennent bien à la fabrication des blocs de béton. Le béton contenant de tels granulats est plus perméable et si les briques contiennent des sels solubles, il peut y avoir corrosion et efflorescence dans le béton. Le béton contenant de l'argile cuite comporte une résistance au feu beaucoup plus élevée que celle du béton à base de gravier naturel **[40].**



Figure.2. 3:Déchets de brique

2.3.4. Déchets de Verre

Des millions de tonnes de verre sont récupérées chaque année. En général, la résistance du béton contenant du verre est inférieure à celle du béton contenant du gravier. La résistance est particulièrement faible lorsque du ciment à teneur alcaline élevée est utilisé. Le verre de récupération réagit en présence de granules alcalins. Une dilatation élevée est produite lorsqu'il est en contact avec du ciment à teneur alcaline élevée, ce qui explique la faible résistance des bétons à base de verre. Par exemple, pour une période de 12 mois, la dilatation du béton contenant du gravier est de 0,018%, alors que celle du béton contenant du verre est d'environ 0,3%. Le verre de récupération peut aussi servir à la fabrication de granulats légers. La production des granules légers expansés d'une masse volumique de 528 kg/m³ par pelletisation d'un mélange de verre de récupération broyé, d'argile et de silicate de sodium chauffé à une température de 850°C. Le béton ainsi obtenu présente une résistance à la compression d'environ 17 MPa après une période de cure à la vapeur de 28 jours. Le verre récupéré est de composition variée et est souvent contaminé par de la saleté ou d'autres substances qui doivent être éliminées. Une fois broyé, le verre se présente sous forme de

particules allongées et sa surface, tant des points de vue chimique que physique, le rend impropre à être utilisé comme granulat pour le béton. Les additifs font varier les propriétés physiques et mécaniques du verre. Néanmoins, il garde tout de même des caractéristiques générales : isolant (très faible conductivité thermique et électrique), dur (difficile à percer et à rayer), étanche aux gaz, aux liquides, résistant à la chaleur, facilement stérilisable, inerte chimiquement, transparent. **[41]**



Figure.2. 4:déchets de verre.**[38]**

2.3.5. Les déchets de chantier

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine **[42]**. Les déchets admissibles sont :

les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé **[43].**



Figure.2. 5:Déchets de chantier **.[38]**

2.3.6. Les déchets plastiques

On entend par déchet plastique, les résidus de processus de production, de transformation et de consommation, ou encore les produits plastiques destinés à l'abandon. Il existe plusieurs types des déchets plastiques :

- Les déchets plastiques industriels : il s'agit de l'ensemble des déchets issus des processus de production résines (essentiellement trouvés dans les sites pétrochimiques) et de transformation des résines en objets fins (principalement trouvé dans la filière de la plasturgie).
- Les déchets de production : ils proviennent des arrêts de réacteur de polymérisions, des purges de réacteurs et des lots déclassés. ils sont homogènes et présentent la particularité d'avoir un degré de pollution faible, voire inexistant. On y retrouve, en très grand majorité, les polymères de grande diffusion (PE, PS, PVC).
- Les déchets de transformation : ils proviennent de toutes les opérations de plasturgie permettant l'obtention de produits finis (extrusion, injection, soufflage, calandrage,…).

On y retrouve, précisément, les carottes, lisières et bordures de ces opération de thermoformage, les pièces présentant des défauts, ou encore, les chutes de démarrage et d'arrêt de machine. **[44]**



Figure.2. 6:différent types de déchets plastique. **[38]**

2.3.7. Déchets de bois

Le bois manufacturé représente la plus grande partie du bois que nous utilisons et qui se termine toujours en déchets. Il n'est pas réutilisable principalement en raison des produits de protection, de conservation ou d'habillage (peinture et vernis…..) et il est utilisé pendant toute sa vie. Les seules réutilisations, de façon marginale, sont les panneaux de particules que l'on obtient la aussi avec de la colle et des produits injectés. Le bois en fin de vie devrait être pour destruction, en centrale spécifique comme le demande certains textes officiels, mais ce n'est qu'un rêve de le croire. Il est très souvent brulé soit dans vos cheminées soit dans les centrales ou les produits nocifs sont soit éjectés dans l'atmosphère, soit stockés sans réutilisation en décharge (sauvage …) et cela rarement pour le bien de notre santé. **[38]**



Figure.2. 7:déférents types de déchets de bois **[38].**

2.4.Le recyclage de béton de démolition (statistique)

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts favorise la pollution de l'environnement et puisque les réserves en granulats alluvionnaires vont s'épuiser, il est donc nécessaire de trouver un moyen

pour valoriser ces produits et les réutiliser de nouveau comme granulats dans les bétons et les mortiers. Le béton recyclé est simplement du vieux béton broyé pour produire des granulats. Il peut être4tilisé dans les couches de fondation comme dans du béton maigre et comme seule source de granulats ou remplacement partiel des granulats dans du béton neuf. Les granulats de béton recyclé sont généralement plus absorbants et moins denses que les granulats ordinaires. La forme des particules est semblable à celle de la pierre concassée. Le béton fabriqué avec des granulats provenant du recyclage, présente généralement de bonnes qualités du maniabilité, durabilité et résistance à l'action du gel-dégel. La résistance en compression varie selon la résistance du béton initial et le rapport eau/liants du nouveau béton **[38]**



Figure.2. 8: Le recyclage de béton de démolition (statistique)

2.5.Les principes du recyclage

Le recyclage permet d'éviter le gaspillage de ressources naturelles et d'énergie, de sécuriser l'approvisionnement de l'industrie en matières premières, de diminuer ses impacts environnementaux.

L'incorporation d'une Matière première de recyclage (MPR) vierge permet :

- une moindre consommation d'énergie, d'eau ;
- une moindre émission de CO2.

Le recyclage permet d'éviter chaque année en France l'équivalent de 20 millions de tonnes d'éq C02.

Il constitue une vraie réponse face à :

- la production industrielle du fait des politiques de gestion des déchets : objectifs de recyclage, développement des filières à Responsabilité élargie du producteur (REP) ;
- la demande croissante de matière ;

- les contraintes environnementales et économiques.

Cette évolution a conduit à l'industrialisation du recyclage telle que nous la connaissons aujourd'hui dans une dynamique poussée par l'économie circulaire.

Le recyclage, un répit dans un monde qui étouffe à la poubelle

Le recyclage est le processus de transformation des matériaux qui ont été utilisés comme matière première dans les nouveaux processus de production. De nombreux pays ont mis en œuvre des projets gouvernementaux pour promouvoir le recyclage et le traitement ultérieur des ordures auprès de leurs habitants. Certains d'entre eux, comme le Danemark et la Norvège, ont été reconnus comme les pays les plus verts du monde.

Le recyclage contribue à la réduction des gaz à effet de serre, responsables du changement climatique. En outre, en transformant les déchets en nouveaux produits, nous préservons des ressources d'une grande valeur pour la planète. Par exemple, le recyclage des boîtes de conserve, de l'acier et de l'aluminium permet d'économiser 60 % à 74 % de la consommation de ces matériaux ; le recyclage du papier permet d'économiser environ 60 %; le recyclage du plastique et du verre permet de réaliser presque un tiers des économies d'énergie en comparaison avec la fabrication de ces produits à partir de matériaux vierges. tout le plastique utilisé dans le monde en un an, soit environ 300 millions de tonnes, et de tout cela, seulement 14% sont actuellement collectés pour le recyclage. 86 % du plastique utilisé finit par polluer l'air, l'eau et le sol lorsqu'il est brûlé ou jeté dans des décharges ouvertes ou dans un affluent **[45]** .

2.6. Elaboration des granulats recyclés

Les granulats de béton recyclé (GBR) produits industriellement proviennent généralement d'ouvrages démolis. Ils contiennent de ce fait une large variété de bétons de composition et de propriétés différentes associés à une plus ou moins grande proportion de corps étrangers (par exemple, de la brique en terre cuite, des enrobés bitumineux, du verre, du plâtre, etc.). Il est relativement facile de séparer les constituants tels le plastique, le bois, le métal, le papier et les matériaux de couverture. C'est moins évident pour la céramique, les enrobés et la pierre. Ces constituants sont presque toujours présents dans les différents granulats recyclés, indiquant qu'ils sont mal éliminés en pratique. La plupart des GBR contiennent donc une variété de composants minéraux (pierre, mortier, brique, plâtre… et autres matériaux de médiocre qualité). Pour pouvoir valoriser au mieux les GBR, il est alors nécessaire d'améliorer leur

uniformité et de réduire au maximum les contaminants. Toutefois, le niveau d'homogénéité et de pureté requis dépend directement de leur réutilisation. En effet, dans les sous-couches des chaussées, les GBR peuvent se substituer aux granulats naturels même s'ils contiennent des fragments de briques en quantité importante **[45]**. En revanche, pour être réutilisés dans de nouveaux bétons, la présence de mortier adhérent aux granulats naturels **[46]**, de débris de briques **[47]** et d'autres éléments tels le verre ou le bois **[48]** sont des contaminants qui altèrent la qualité du béton et en augmentent la variabilité. C'est pourquoi la composition des GBR destinés à être recyclés dans le béton a été précisée par les normes. Ainsi, ils doivent contenir au moins 90 ou 95 % de béton ou de granulats naturels, et avoir un taux de contaminant généralement inférieur à 1 % de la masse totale du produit. Afin d'éviter tout problème d'expansion différée et d'altération de la microstructure des nouveaux bétons **[49],** la teneur admissible en gypse est aussi, généralement, très limitée. Enfin, jusqu'ici, la plupart des applications ne permettent que l'utilisation des gravillons de GBR, car les caractéristiques requises sont difficilement atteintes avec les sables de GBR. Actuellement, si l'on veut éviter le mélange des différents matériaux, la démolition doit se faire de façon très sélective voire, dans certains cas, manuellement. Comme ces pratiques sont exceptionnelles, il en résulte que la plupart des GBR sont de mauvaise qualité, en témoigne leur réutilisation marginale dans les bétons de structure. Étant donné les seuils de composition exigés et les difficultés à éliminer certains constituants, le recours à des systèmes de séparation efficaces devient alors une nécessité. Ces systèmes comprennent le tri automatisé et l'élimination des phases de moindre qualité. À ce stade, les similitudes avec les technologies déployées dans l'industrie minérale sont évidentes. Leur transfert potentiel vers le recyclage des DCD ouvre la voie d'une réutilisation plus rationnelle des GBR, dans des conditions plus respectueuses de l'environnement**.**

2.7.Impacts du recyclage sur l'environnement

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

Le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;

- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'alu donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu).
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 11 d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois. Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables : il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières. **[40]**

2.8.Caractéristiques des granulats recyclés

2.8.1.Caractéristiques géométriques des granulats (forme, zone de transition, MF,..)

Les granulats peuvent avoir des formes sphériques, cubiques, nodulaires, plates ou allongées. Ces caractéristiques, ainsi que l'état de surface des grains influent sur l'aptitude à la mise en place du béton frais, la résistance mécanique et la durabilité du béton durci.

- **La forme**

Une bonne forme des granulats est essentielle pour éviter des chutes de résistance des bétons par suite du risque d'apparition et des glissements potentiels. La forme d'un élément granulométrique est définie par ses trois caractéristiques dimensionnelles principales. Une forme assez ramassée des granulats est très recommandée pour une utilisation dans le béton

- **Zone de transition inter facile**

En particulier dans le béton de granulat recyclé, il y a plus d'une zone de transition par rapport au béton de granulat naturel. La Figure 2.9 (gauche) montre une vue en coupe d'un granulat recyclé. Cette figure indique la vieille zone de transition entre le granulat d'origine et le mortier résiduel, ainsi que la zone de transition entre le mortier résiduel et la nouvelle matrice de mortier.

Par ailleurs, Figure 2.9 (droite) présente aussi la zone de transition pour un granulat naturel conventionnel. La configuration dans ce cas ne dispose que d'une seule zone de transition entre le granulat et le nouveau mortier **[41]**.

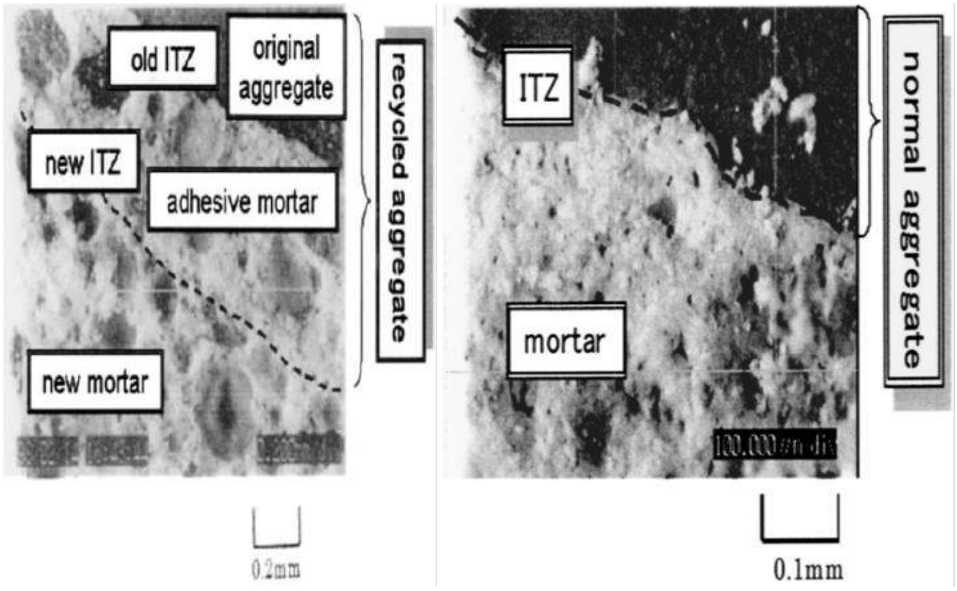


Figure.2. 9: Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite) **[41].**

En tenant compte des études consultées, les caractéristiques spécifiques de la zone de transition sont influencées par la qualité de mortier autour de cette zone. Cependant, l'épaisseur (ou quantité) du mortier résiduel ne semble pas avoir une influence déterminante sur les caractéristiques de la zone de transition **[41].**

- **Module de finesse (MF)**

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat suivant la norme (XP P 18- 540, EN 12-620) **[42]**,**[43,44] [45].** Il est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur une série de tamis. Un bon sable pour béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 et 2,8. Au-dessous, le sable est à majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau, au-dessus, le sable manque de fins et le béton y perd en ouvrabilité**[44].**

2.8.2.Masse volumique

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

Cette réduction de densité est fonction de la teneur en mortier résiduel **[42]**

2.8.3.La porosité

. La porosité des granulats est généralement corrélée à leur capacité d'absorption.

La forte capacité d'absorption des granulats recyclés est liée une forte porosité de ce matériau.

Le taux de ciment dans le béton parent influe également sur la porosité des granulats recyclés. Celle-ci augmente significativement avec l'augmentation de la quantité de pâte de ciment **[46] .**

Grâce à des analyses microscopiques, Tam et al. ont décrit la géométrie de la porosité de granulats recyclés. Des pores sont présents entre les granulats naturels et la pâte de ciment selon eux. Ces pores fragilisent le matériau et limitent l'emploi de ces granulats recyclés dans la fabrication des bétons. **[47]**

Ces pores engendrent une forte porosité des bétons de granulats recyclés **[47]**. L'absorption des bétons recyclés augmente proportionnellement avec le taux de granulats recyclés, tandis que la densité des bétons décroît légèrement. **[48]**

2.8.4. Densité

La densité est le paramètre de classification le plus fondamental. Le densité plus faible des granulats recycles est due à l'existence des morceaux ou des particules résiduels poreux et moins denses de mortier adhérant à la surface des plus grandes particules du grain.

La densité de granulat constitue un paramètre très important pour la conception en un mélange de béton, qui est influencée par des variations de la composition des matériaux recyclés Normalement, la classification s'identifie de diverses intervalles de densité de 2100 a 1600 et peux être jusqu'à 1000 kg/m^3 pour les granulats légers.

2.8.5. Absorption d'eau

L'absorption d'eau des granulats recyclés se range entre 3÷12%. Cette caractéristique dépend de la matière première. Il est a noté que ces valeurs sont plus grandes en comparaison aux valeurs des granulats naturels qui sont rangées entre 0.5÷2 %. La forte porosité des

granulats recyclés peut être attribué à la présence de la pâte de ciment qui adhère aux granulats originaux.

Ce critère influe considérablement sur le comportement rhéologique des bétons frais. Les compositions des bétons recyclés nécessitent une quantité d'eau supplémentaire pour l'obtention d'une ouvrabilité plastique similaire à celle d'une composition de béton de granulats naturels.

En effet, les bétons recyclés requièrent approximativement 15% d'eau supplémentaire pour un même affaissement qu'un béton classique **[49]**.

Cette absorption est bien évidemment la conséquence de la présence de la pâte de ciment, mais plus particulièrement de sa structure alvéolaire **[49]**. En effet, la pâte de ciment est reconnue pour être un matériau poreux. Les interstices ont tendances à capter l'eau et à la retenir. Il n'y a donc pas suffisamment d'eau libre pour hydrater les grains de ciment.

2.8.6.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. 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. La résistance à l'abrasion est donc directement liée à la quantité du mortier résiduel.

2.9.L'effet des granulats recyclés sur les caractéristiques des BAP

2.9.1. l'état frais

2.9.1.1.Ouvrabilité

Bourmatte N. **[50]** a étudié l'influence de substitution de granulats naturels par des granulats recyclés sur l'ouvrabilité de béton ordinaire (Figure 2.10). 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.

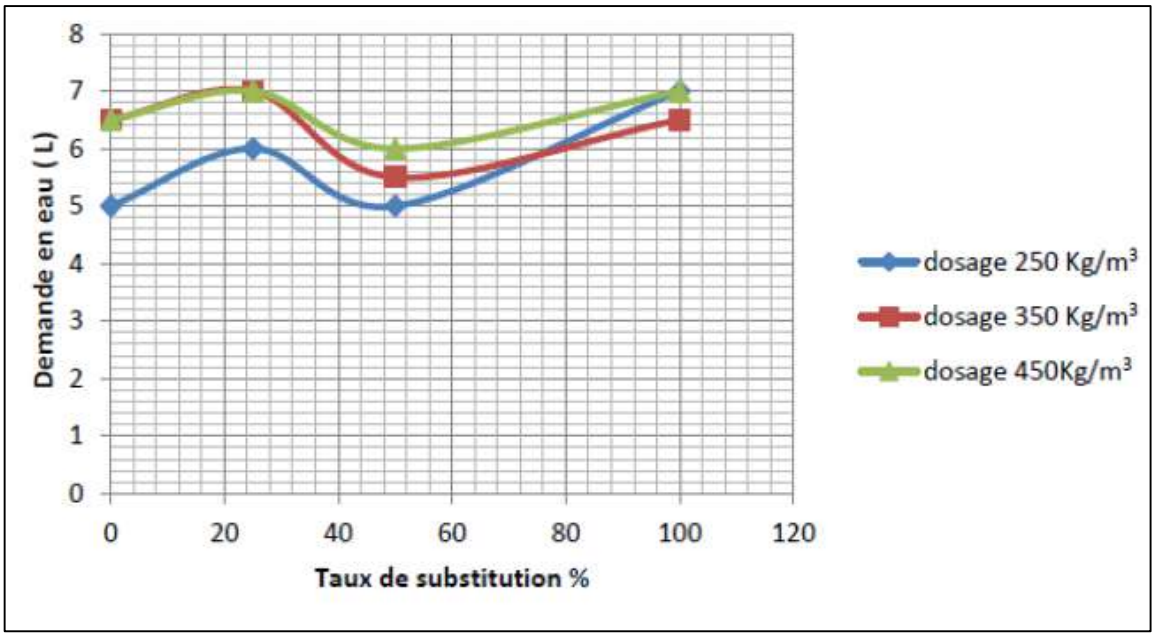


Figure.2. 10: Variation de la demande en eau en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **[50].**

Matar et El Dalati **[51]** 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 2.11). 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.

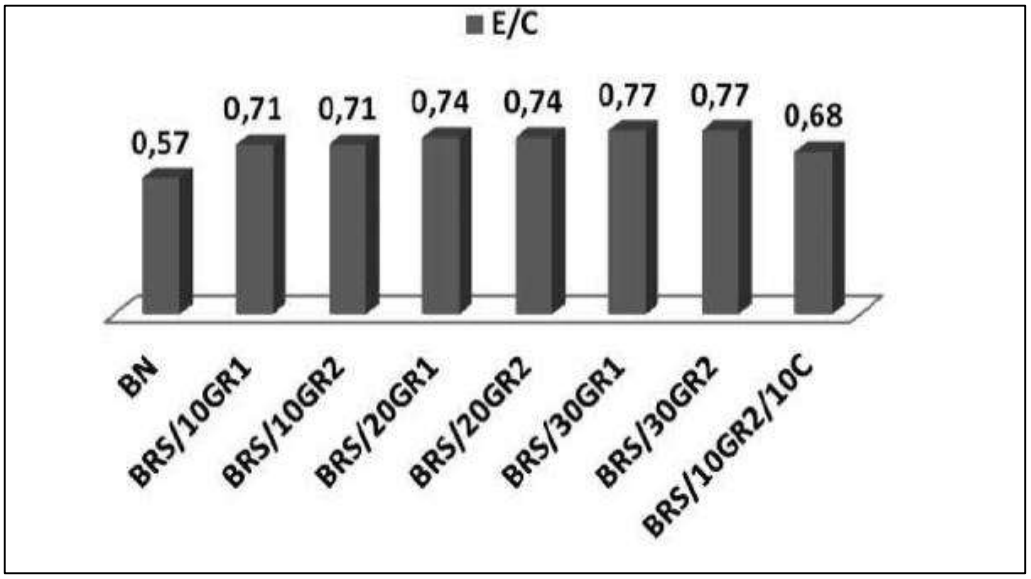


Figure.2. 11: Rapport E/C des bétons à base de granulats recyclés **[51].**

2.9.1.2.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. **[50]** est présentée dans la Figure 2 .12

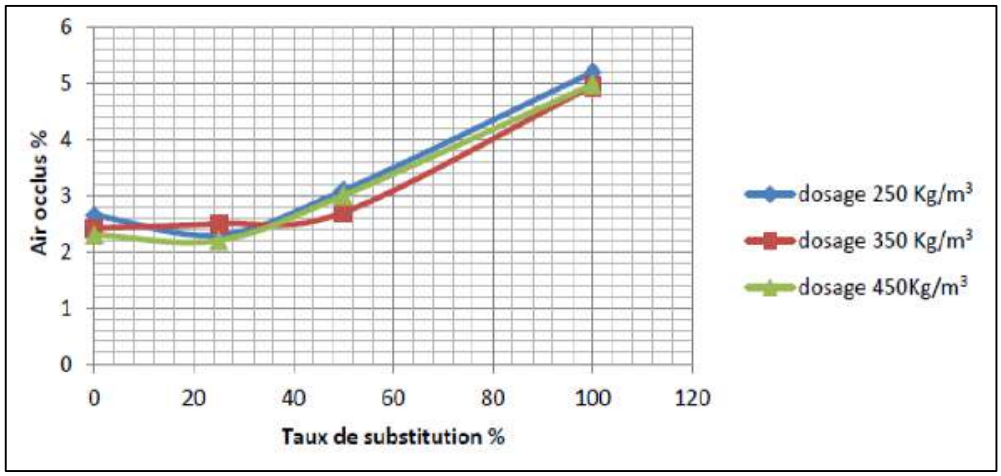


Figure.2. 12: Variation de l'air occlus en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **[50].**

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. **[50]** 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.

2.9.1.3.Densité

Bourmatte N **[50]** a étudié l'influence du remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés sur la densité de béton ordinaire Figure 2.13. 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.

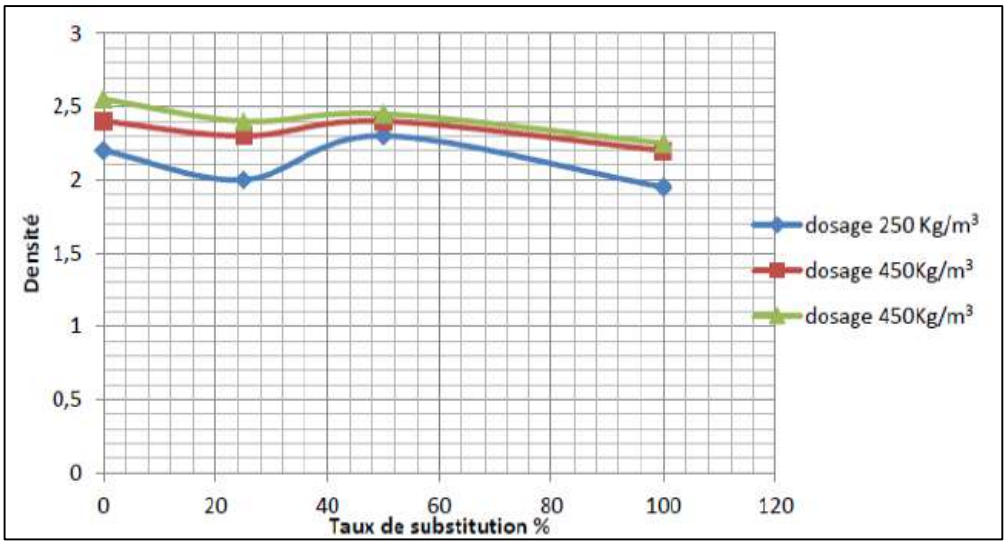


Figure.2. 13: Variation de la densité du béton frais en fonction du taux de substitution en granulats recyclés de béton **[50].**

2.9.2. Etat durcis

2.9.2.1. 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 2.1 présente les résultats d'absorption d'eau obtenus par **[52]** 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 **[53].**

Tableau2.1 Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés **[53]**

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

2.9.2.2.La porosité

Matar et El Dalati **[51]** ont trouvé que la porosité de béton ordinaire augmente avec l'augmentation d'incorporation de granulats recyclés (Figure 2.14). Ils ont expliqué cette augmentation par la porosité des granulats recyclés et elle augmente avec l'augmentation du rapport E/C.

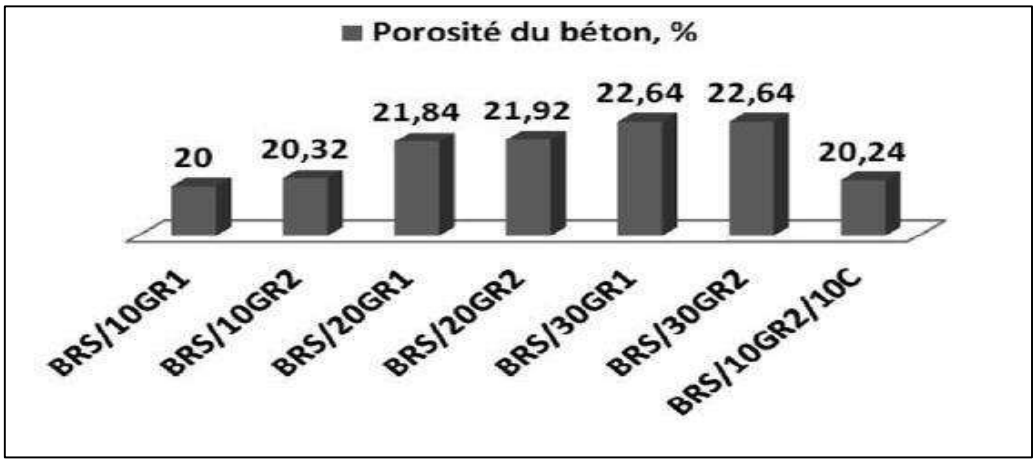


Figure.2. 14: Porosité des bétons à granulats recyclés **[51].**

2.9.2.3 La résistance à la compression

Bourmatte N. **[50]** constaté que la résistance à la compression des bétons diminue lorsque le pourcentage en granulats recyclés augmente Figure 2.15 . 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 **[51]** Figure 2.16

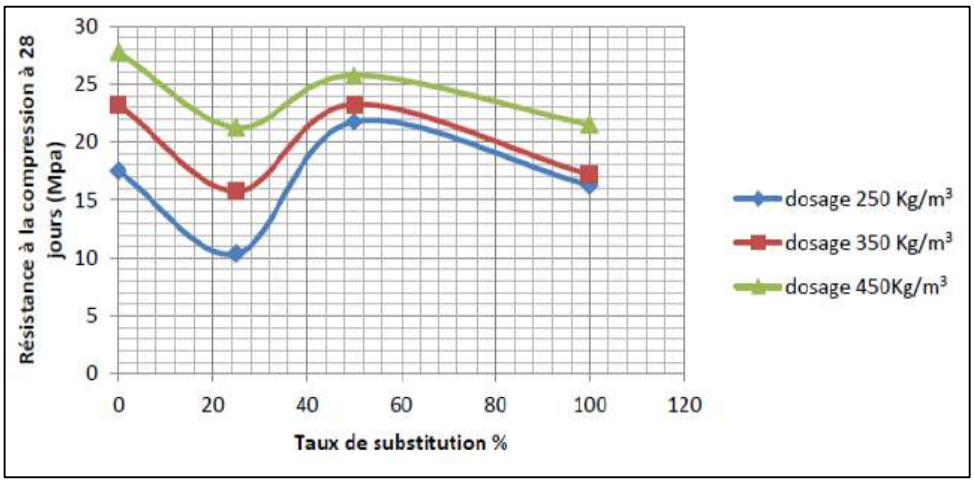


Figure.2. 15:Résistance à la compression du béton à base de granulats recyclés de béton Pour les trois dosages à 28j **[50].**

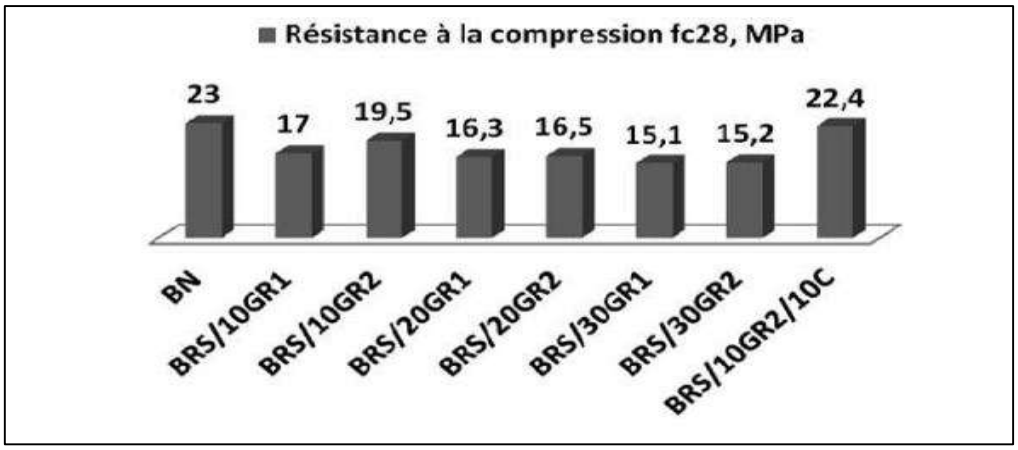


Figure.2. 16:Résistance à la compression des bétons à granulats recyclés **[51].**

D'après l'étude de Berrdjeme .L et all **[54]** la résistance à la compression des bétons recyclés évolue au cours du temps d'une façon similaire que le béton témoin (Figure.17). 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.

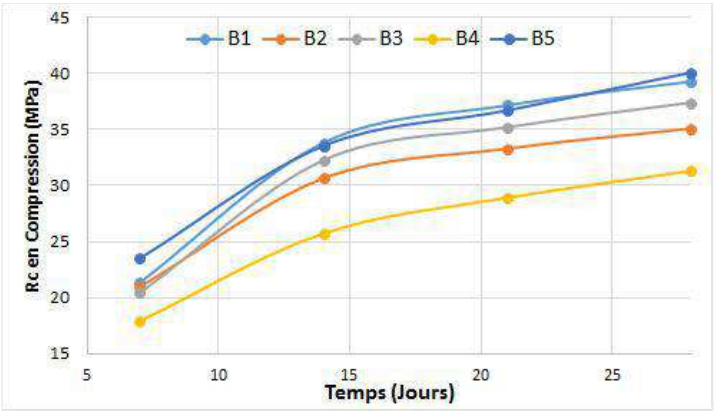


Figure.2. 17:évaluation de la résistance à la compression en fonction de temps.

2.9.2.4. 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 2.2 et Figure 2.18)

Tableau2.2 Caractéristiques mécaniques des granulats naturels et recyclés **[55]**

Composants	*Unité*	*Types de Béton*				
		BT	*B1*	*B2*	*B3*	*B4*
CEM II 42,5	kg/m^3	350	350	350	350	350
Sable Roulé	kg/m^3	627	--	--	--	--
Sable Naturel		--	837	--	818	--
Sable Recyclé		--	--	667	--	588
Gravier Naturel 5/12,5	kg/m^3	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

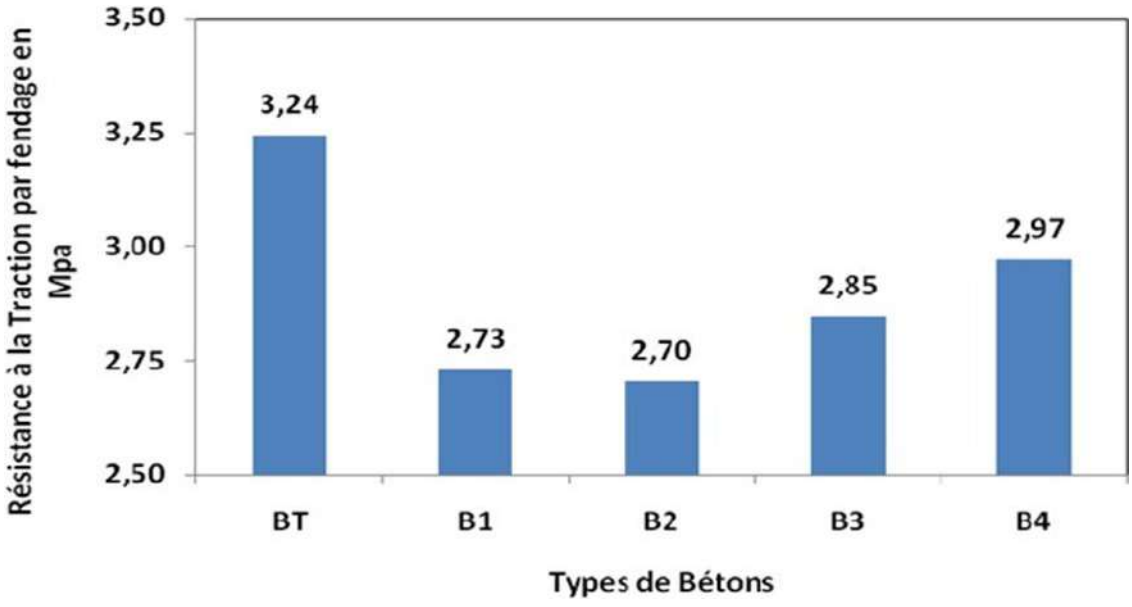


Figure.2. 18: Evolution de la résistance en traction par fendage à l'âge de 28 jours pour les bétons à différentes combinaisons granulaires **[55].**

2.10. L'effet de l'environnement climatique sur la qualité de béton

2.10.1. Introduction

L'industrie cimentaire fait un effort considérable pour fabriquer un ciment aux ajouts afin d'améliorer certaines caractéristiques physico-chimiques que ne pourrait permettre les ciments courants. Ces ajouts peuvent être naturels (pouzzolanes, calcaires, méta kaolin) ou bien des déchets industriels (laitiers de haut fourneaux, cendres volantes, fumées de silices et cendre d'écorces de riz) **[56]** .

Les ajouts cimentaires sont nécessaires pour des raisons technico-économiques : économie d'énergie, amélioration de certaines caractéristiques mécaniques et diminution de CO_2 libérer a l'atmosphère car la production du clinker est responsable d'environ 7% des émissions total de CO_2 **[57]** .

L'industrie cimentaire en Algérie a connu un essor considérable dans la promotion et la production des ouvrages en béton armé notamment dans le domaine de l'habitat et des constructions, néanmoins la production annuelle de ciment reste au deçà de la demande accrue, donc l'utilisation des ajouts cimentaires peut contribuer à l'augmentation de la production du ciment

2.10.2.Le climat chaud

L'Algérie est caractérisé par un climat chaud et sec particulièrement à son sud, le climat chaud représente un grand problème sur la qualité du béton par ces facteurs influents qui sont : les hautes températures, les faibles l'humidités relatives, la grande vitesse du vent et les radiations solaires **[58]** . Ces facteurs font grandement accélérer la perte de l'eau de gâchage dans le béton, elle intervient au niveau de la surface du béton, cette perte d'eau est surtout aux jeunes âges provoque plusieurs problèmes tel que l'arrêt de l'hydratation de ciment, ceci a une grande influence sur les résistances mécaniques, et par la suite sur la durabilité du béton. Les paramètres caractérisants le climat chaud jouent un rôle très important dans l'accélération de la cinétique des réactions chimiques de l'hydratation du béton, et en même temps sur l'accélération de l'évaporation de l'eau de béton, en effet on peut donner une explication sur la vulnérabilité et la mauvaise qualité des bétons coulés en climats chaud.

2.11. Effet de climat chaud sur le béton

2.11.1. Béton à l'état frais

L'augmentation de la température a une influence directe sur le béton frais, l'hydratation et sur le taux d'évaporation et donc sur les caractéristiques du bétons ultérieurement. Le béton à l'état frais est représenté comme une pâte dont ses constituants (eau, ciment…) ne sont pas encore liés. Le climat chaud affecte directement l'eau du béton en augmentant la vitesse de son évaporation, ceci produit plusieurs problèmes incluant:

- une perte de slump conduisant à une forte demande en eau pour ouvrabilité constante;
- une accélération de la vitesse de prise et de durcissement.

2.11.1.1. Ouvrabilité du béton

L'ouvrabilité est une propriété fondamentale du béton, elle dépend des matériaux utilisés, du malaxage, de la température, de l'hygrométrie, du vent et des rayonnements solaires, Ces facteurs conduisent à l'évaporation de l'eau du béton, et par conséquent à une perte d'ouvrabilité plus aggravée Figure 2.19.

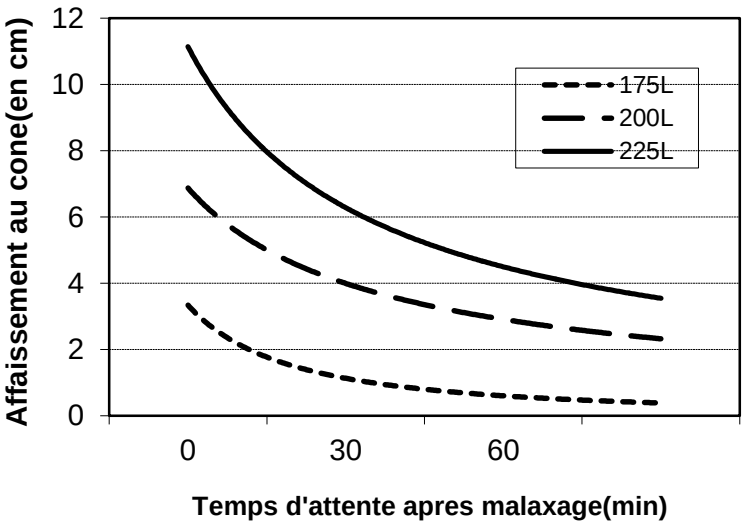


Figure.2. 19: Perte d'ouvrabilité du béton frais à 35°C présentant différentes teneurs en eau **[59] .**

Cette ouvrabilité diminuant avec le temps, ce taux devient plus accentué si l'évaporation est excessive **[59] .**

Donc, l'élévation de la température provoque une baisse d'ouvrabilité ce qui nécessite une augmentation de la demande en eau du béton pour remplacer l'eau évaporée et pour remédier à la baisse de l'ouvrabilité (Figure 2.20) **[59, 60]** . Ce surplus d'eau fait intervenir d'autres inconvénients. A cet égard une grande porosité capillaire induit à une diminution de la résistance et affecte la durabilité du béton

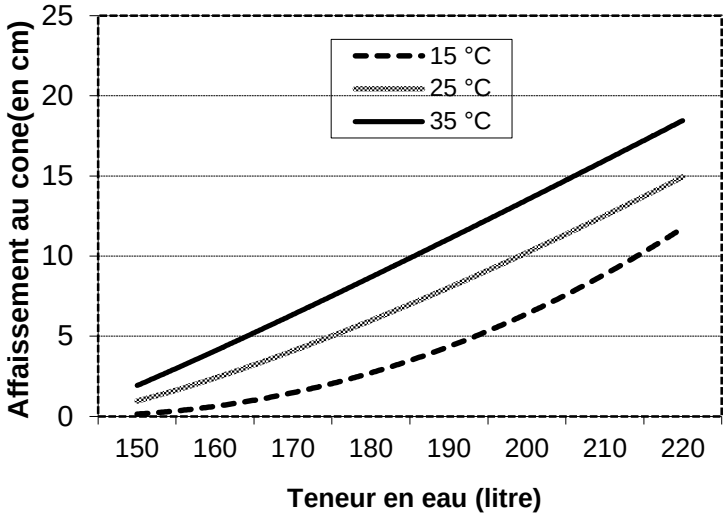


Figure.2. 20: Effet de la température sur l'ouvrabilité avec des différents teneurs en eau **[59]** .

2.11.1.2.Temps de pries

La prise du ciment est définit comme le début de rigidité dans le béton frais. La prise précède le durcissement et elle est définit comme le temps de transition entre l'état frais et l'état rigide du béton **[59, 61].** Le temps de prise dans un climat chaud est un problème significatif car les réactions d'hydratation sont accélérées par l'élévation de la température, et l'on constate que les temps de début et fin de prise sont diminués lorsque la température augmente et l'humidité s'abaisse. Au delà de 40°C la prise est non seulement assez rapide mais aussi irrégulière, on constate parfois même une sorte de raidissement prématuré du béton **[59]** .

La Figure 2.21 donne un exemple de la variation du temps de prise en fonction de la température. Le temps de prise peut être divisé par deux et parfois par trois en passant de 20°C à 40°C.

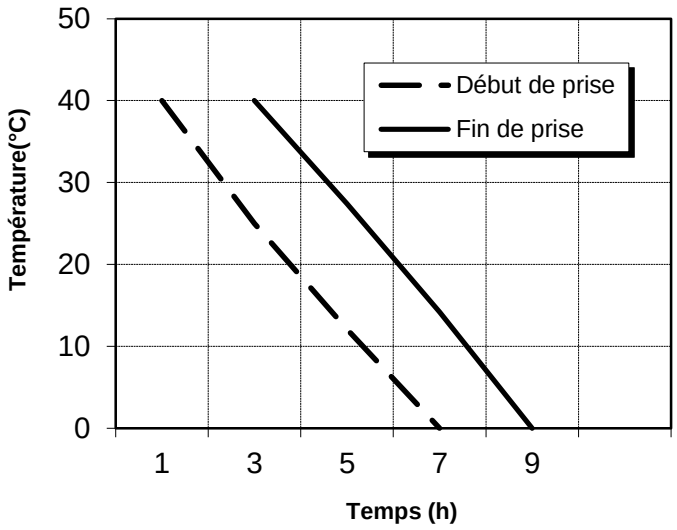


Figure.2. 21: Influence de la température sur le début et fin de prise **[61].**

2.11.1.3.Chaleur d'hydratation

L'hydratation du ciment s'effectue avec un dégagement de chaleur qui débute pratiquement dès la prise, car sa réaction chimique avec l'eau de gâchages est exothermique **[62]**. Lorsque la température s'élève les réactions chimiques sont accélérées d'ou un accroissement très intense du flux de chaleur. La plus grande partie de la chaleur libérée au cours des tous premiers jours (50% de la chaleur sera dissipée en 24 heurs) **[59]**. Il faut également savoir que lorsque la température initiale du béton est élevée, l'hydratation est plus rapide et la chaleur se dégage en un temps plus court. Le flux de chaleur est maximum et d'autant plus intense et a lieu d'autant plus tôt que la température initiale du béton est plus forte. Ce dernier atteint un maximum puis décroît lentement du fait de la faible conductivité thermique du béton comme montre la Figure 2.22 **[59].**

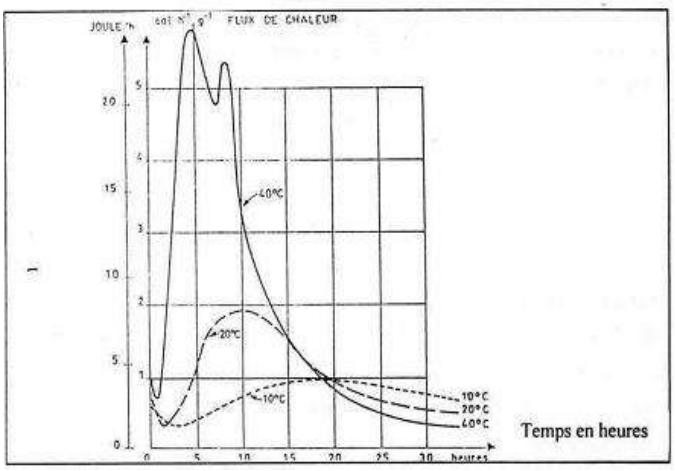


Figure.2. 22: Flux de chaleur d'hydratation d'un ciment.

CPA 400 à 10°, 20°, 40°C **[62]** .

2.11.2.Béton a l'état durci

2.11.2.1. Résistance à la compression

Quand la température ambiante augmente les résistances mécaniques initiales augmentent mais les résistances finales diminuent **[62]**. La Figure 2.23 montre que la résistance à 1 jours passe du simple au double quand la température passe de 20 à 50°C. Inversement pour les mêmes températures, la résistances à la compression à 28 jours diminuent de 26% **[63].**

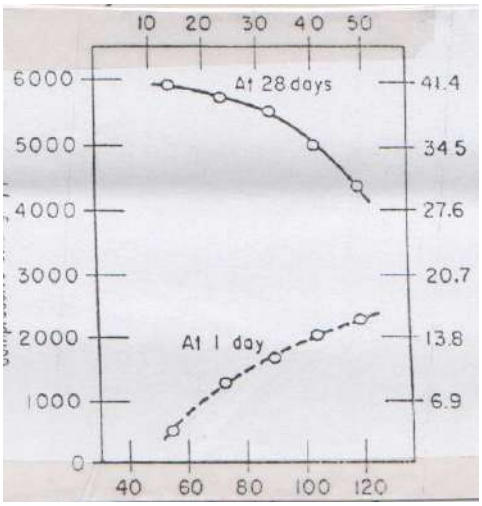


Figure.2. 23: Effet de la température sur la résistance à la compression du béton **[64].**

Cette baisse de résistance à long terme provient principalement du fait que lorsque la température augmente, il faut augmenter le dosage en eau pour conserver au béton une même maniabilité. Elle provient également de l'augmentation importante de l'évaporation de l'eau qui est fonction des paramètres des climats chauds **[62]**.

2.11.2.2. La durabilité des bétons

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le béton. Cette propriété est définie par la capacité du matériau à maintenir ces caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de service existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité **[65]**. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

2.11.2.3. Porosité

La durabilité du béton s'explique en grande partie par la difficulté qu'ont les agents agressifs à pénétrer dans le réseau poreux du béton. Les pores remplis d'air, et la géométrie de cet espace poreux est très complexe.

La porosité est le paramètre du premier ordre de la durabilité, le béton coulé en climat chaud va subir sans doute un taux d'évaporation important à son état initial en laissant des vides dans la structure du béton. Comme le bétonnage en climat chaud nécessite un rapport E/C plus élevée, le volume de pores et leurs dimensions seront plus importants que ceux d'un béton coulé à climat tempéré

2.11.2.4. Perméabilité

La perméabilité du béton détermine sa capacité de permettre la pénétration agressive des sels, et des acides. Elle dépend étroitement de la porosité. La vitesse de perméabilité ou d'écoulement est proportionnelle des dimensions pores et de leurs distributions. K est défini par la relation de Darcy qui exprime le débit volumique Q d'un fluide de viscosité μ qui traverse une épaisseur dz de matériau de section A sous la différence de pression dp

$Q = -(K/\mu) A. dP/dz$ **[65]**

La température joue un rôle très important sur l'accélération de la cinétique des réactions chimique qui ont lieu dans le béton. En effet la vulnérabilité du béton en climat chaud est en surface. Les pertes d'eau au jeunes âges, empêchent l'hydratation à aller à son terme et conduisant à un accroissement de la porosité de la couche externe qui est altéré par les éléments agressifs et les réactions chimiques qui s'y provoquent, rendant le béton plus perméable.

Conclusion

L'enjeu de cette étude n'est donc pas de subvenir à un manque actuel de granulats naturels

mais plutôt de contribuer à la diminution de l'épuisement des ressources naturelles pour

l'avenir, point fort du grenelle de l'environnement.

La valorisation de ces granulats issus du recyclage présente un intérêt d'ordre économique, technique et environnemental. Le réemploi de ces matériaux dans la fabrication des bétons contribuerait à la prolongation de la durée de vie des carrières existantes et au même temps à l'élimination des déchets dans les décharges. Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci permet de résoudre dans l'avenir le manque de granulats naturels.

Néanmoins, il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur les propriétés de ces déchets

(granulats recyclés) destinés pour bétons ou mortiers en fonction de leur origine, ce qui facilitera leur valorisation.

CHAPITRE 03 : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

3.1. Introduction

Avec le développement rapide de l'industrie de la construction, beaucoup de déchets de construction et de démolition sont générés chaque année dans le monde **[66]**. Jusqu'à présent, seule une petite fraction de ces déchets de béton est réutilisée sous forme de granulats recyclés pour la fabrication de béton. Afin de faire bon usage des granulats recyclés (GR) dans le béton, il est très important d'étudier les possibilités d'amélioration de leurs propriétés. Les granulats recyclés (GR) sont composés d'un mélange intime de granulats naturels et de pâte de ciment durcie. Cette dernière est généralement beaucoup plus poreuse que les granulats naturels et il n'existe aucune méthode pratique pour séparer les mortiers à partir des particules GR avec les granulats naturels dans une usine de recyclage.

La teneur en pâte du ciment durcie et ses propriétés ont donc une influence déterminante sur les propriétés des granulats recyclés **[67]**.

Les propriétés des (GR) dépendent de beaucoup de facteurs d'influence tels que le béton d'origine, les contaminants, la méthode de broyage pour la production, le vieillissement (notamment la carbonatation) et les conditions de stockage. La porosité des (GR) constitue un frein majeur à leur réutilisation dans la mesure où l'absorption de l'eau au moment du malaxage diminue l'ouvrabilité des bétons **[68]**.

Pour cela les chercheurs pensent à trouver une solution pour diminuer cette absorption d'eau et la porosité, en trouvant des moyens pour améliorer les propriétés des granulats recyclés. Dans ce chapitre seront présentés des exemples sur les différents traitements qui existent (inspirés de la littérature) pour diminuer cette absorption excessive, a fin de les rendre aussi efficace que les granulats naturels.

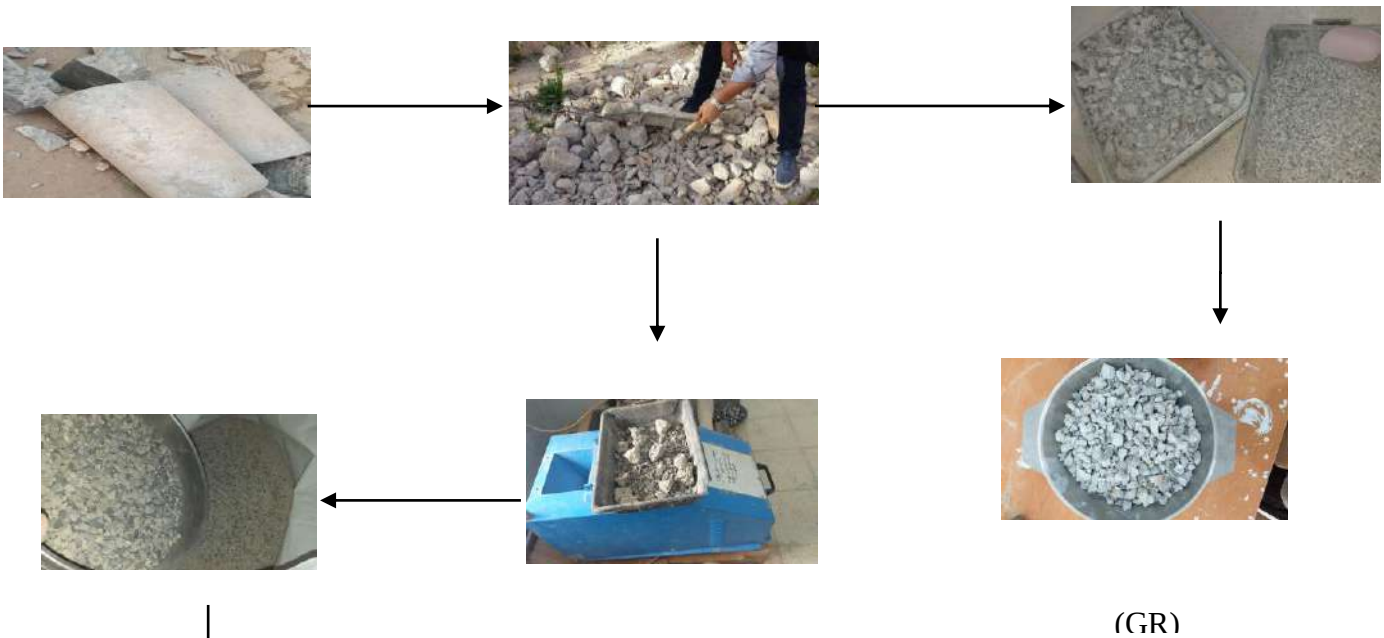
3.1.1. Granulats

Nous avons utilisé deux types des granulats, granulats naturels (gravier de bougazoul) et granulats recyclés, chaque type est composé de deux fractions, la fraction3/8 et la fraction 8/15. et deux types des sables ,sable naturel (sable de oued souf) et sable recyclé.

3.1.2. Méthode de recyclage du gravier et du sable

Il y a beaucoup de façons, nous avons retenu ça:

- Prendre l'éprouvette de la société (LSTM) au laboratoire .
- Nous a vous craqué l'éprouvette à la main en petit smor ce aux de gravier .
- Nous avons tamisé les pièces à travers le tamis (5mm et 15mm) pour les prendre comme gravier recyclé et le reste nous l'avons mis dans le concasseur pour obtenir un recyclé de sable après tamisage à travers le tamis (3.15mm).



(GR)

(SR)

Figure.3. 1:procédé pour l'obtention des granulats recyclés**.**

Les caractéristiques des granulats ont été testées dans cette étude :

- La masse volumique absolue et apparente.
- Le coefficient d'absorption d'eau.
- L'équivalant de sable.
- La granularité (l'analyse granulométrique)



Figure.3.3: Gravier naturel (3/8) (8/15)



Figure.3. 2 : Sable Naturel

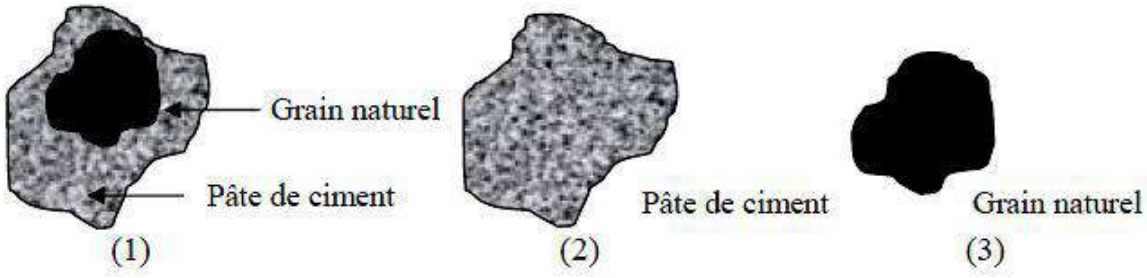


Figure.3. 3: Formes de granulats recyclés **[69].**

3.1.3 Essai de la masse volumique

Il s'agit de déterminer le rapport entre la masse sèche de l'échantillon par l'unité de volume, exprimée en [ton/m^3]. On distingue deux types : la masse volumique absolue et la masse volumique apparente.

➢ La détermination de la masse volumique absolue [Mv_s] des granulats est effectuée à l'aide d'un tube gradué. On remplit le tube par l'eau jusqu'au volume V_1, et après on pèse une masse M de granulat, on met cette quantité dans le tube et on note l'augmentation de volume d'eau V_2. La masse volumique est le rapport de la masse sur le volume de cette masse est $Mva = \frac{M}{V_2 - V_1}$.

➢ Les résultats obtenus sont représentés sur le tableau3.1

➢ <u>Méthode de pycnomètre</u> :

le pycnomètre est une bouteille de volume connu généralement 100 ml.

- On pèse le pycnomètre vide M_1. (figure 3.5)
- On met dans le pycnomètre une masse d'échantillon de 50g, et on pèse le tout M_2.

- On introduit dans le pycnomètre un liquide d'imbibition pour dégager l'aire emprisonnée entre les graines et on pèse le tout M_3.
- Il faut tenir compte que le liquide ne doit pas réagir avec la matière que l'on veut étudier (on utilise l'essence dans la cas de ciment).

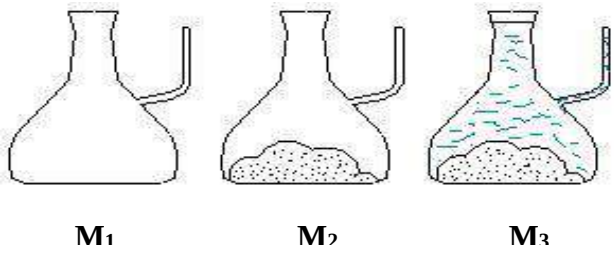


Figure.3. 4: Essai de Pycnomètre.

La masse volumique absolue est :

$$Mv_s = \frac{M_P}{V_P} = \frac{M_2 - M_1}{V_T - \left(\frac{M_3 - M_2}{Mv_L}\right)}$$

D'où :

M_p : La masse d'échantillon.

V_p : Le volume d'échantillon.

V_T : Le volume total (volume de pycnomètre)



Figure.3. 5:Méthode de pycnomètre**.**

Les résultats de ces essais sont représentés dans le tableau .3.1

➢ La détermination de la masse volumique apparente [Mv_a] se fait à l'aide d'un entonnoir normalisé, et un récipient de volume connu V (un litre).

- On pèse le récipient vide M_1, on met le récipient au-dessous de l'entonnoir.
- On remplit le haut de l'entonnoir par l'échantillon.
- On laisse l'échantillon s'écoule dans le récipient jusqu'au remplissage.
- On arase la surface supérieure de récipient et pèse le tout
- M_2.

La masse volumique apparente est :

$$Mv_a = \frac{M}{V} = \frac{M_1 - M_2}{V}$$



Figure.3. 6:Méthode de La masse volumique apparente.

Tableau3. 1 Masses volumiques des différents granulats

	Granulats Naturels		Granulats Recyclés	
	Sable	gravie	Sable	gravie
MVapp	1.56	1.34	1.28	1.29
MVabs	2.63	2.64	2.45	2.47

3.1.4 Coefficient d'absorption d'eau

Selon la norme NF EN 18-554, il s'agit de déterminer le coefficient d'absorption d'eau des granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans les domaines du bâtiment et du génie civil.

La quantité d'eau pouvant être absorbée par les granulats pendant le malaxage peut conduire à une perte de maniabilité, voir à un manque d'hydratation des liants. Il faudra donc, si les granulats sont poreux, effectuer les corrections sur le dosage en eau.

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition en eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C à la pression atmosphérique.

L'exécution d'essai se fait par les étapes suivantes :

- La masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état doit être telle que M > 0,2 D
- Laver l'échantillon sur le tamis de 4 mm. Sécher le refus à l'étuve, le laisser refroidir et le peser ; soit Ms sa masse.
- Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20°C à la pression atmosphérique.
- Peser ensuite l'échantillon après l'avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement. Soit Ma sa masse.

Le coefficient d'absorption d'eau en % du gravillon est :

$$Ab = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100$$

Gravier

Les résultats obtenus sont regroupé sur le tableau3.2

Tableau3.2 Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés

	Granulates Naturals (3/8+8/15)	Granulates Recycles (3/8+8/15)
Ab%	1	5



Figure.3. 7: Essai d'absorption des granulats utilisés

Sable

Les résultats obtenus sont regroupé sur le tableau 3.3

Tableau3.3 Les résultats d'absorption d'eau pour les granulats étudiés

	Sable Naturals	Sable Recycles
Ab%	0.5	8



Figure.3. 8: Essai d'absorption des granulats utilisés.

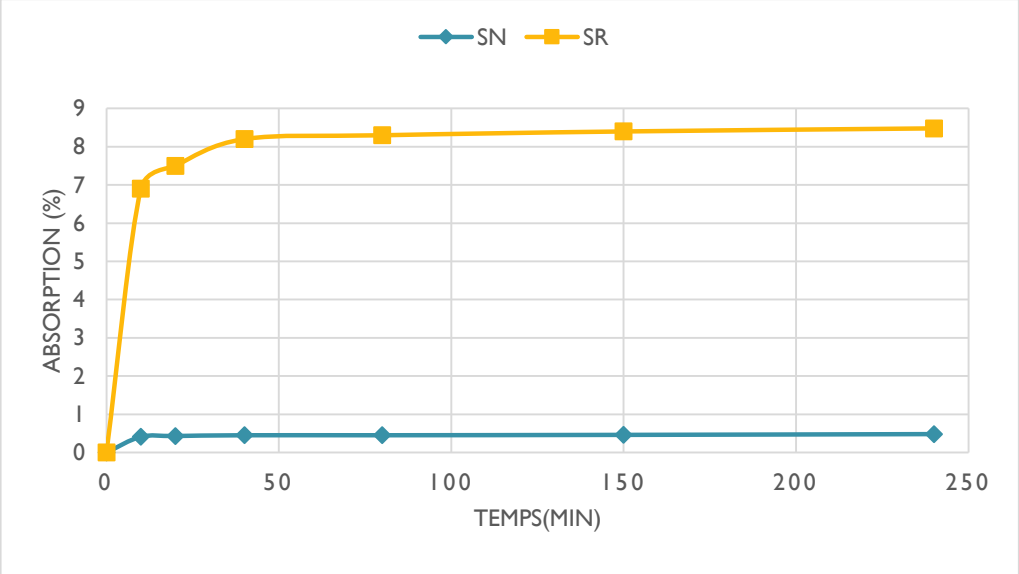


Figure.3. 9: Essai d'absorption des granulats utilisés.

Interpretation des resultants

- Les masses volumiques des granulats recyclés semble être plus faible que celle des granulats naturels, cela est due à l'existence des vides extérieures dans les granulats recyclés. cette dernière est due à la porosité trouvée dans la matière première (les déchets du béton).
- La masse volumique absolue du gravier naturel 3/8 et 8/15 est supérieure à celle du gravier recyclé 3/8 et 8/15, cela est due à la masse des granulats recyclés qui est plus petite que la masse des granulats naturels ($M_R \prec M_N$), cette différence est attribuée à la porosité des granulats recyclés.
- Le coefficient d'absorption des granulats recyclés est très élevé par rapport aux granulats naturels, cette élévation est due à la présence de la pâte de ciment qui adhère à l'ancien granulat et qui absorbe une quantité d'eau plus élevée

3.1.5.Essai de l'équivalent de Sable

- Selon la norme NF EN 18-598, l'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des

éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floculent.

- La valeur de l'équivalent de sable (Es) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale de floculat et de la partie sableuse sédimentée.



Figure.3. 10: Essai de l'équivalant de Sable**.**

Les résultats obtenus illustrer dans le tableau 3.4

Tableau3.4 Equivalent de Sable

		S.N	S.R
Equivalent de sable (%)	Visuel	88%	84.30%
	Avec piston	85%	77.98%

3.1.6 Module de finesse des sables

A partir de l'analyse granulométrique des sables nous avons calculé le module de finesse des sables utilisés. Le tableau 3.5. illustre les résultats obtenus

Tableau3. 5 Module de finesse des sables

	Sable Naturel	Sable recyclé
Module de finesse	1.9	3.15



Figure.3. 11: Analyse granulométrique**.**

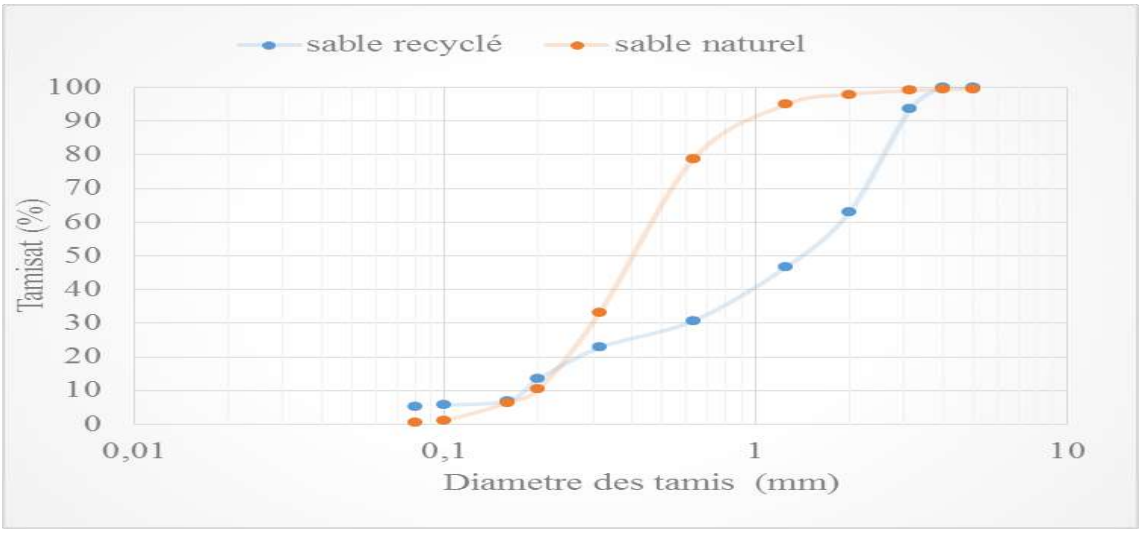


Figure.3. 12:analyse granulométrique des sables naturel et recyclé.

3.1.7 L'essai de granularité (L'analyse granulométrique par tamisage)

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisas sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme numérique et sous forme graphique.

Granulas naturel

Tableau3.6 Analyse granulométrique des granulats naturel

Tamis	Refus	REFUS (%)	TAMISAT (%)
80	0	0,00	100,00
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	100,00
16	323,00	6,46	93,54
12,5	1321,00	26,42	73,58
10	2008,00	40,16	59,84
8	2311,00	46,22	53,78
6,3	2961,00	59,22	40,78
5	4228,00	84,56	15,44
4	4822,00	96,44	3,56
2	4973,00	99,46	0,54
1	4982,00	99,64	0,36
0,4	4982,00	99,64	0,36
0,315	4982,00	99,64	0,36
0,2	4982,00	99,64	0,36
0,1	4982,00	99,64	0,36
0,08	4982,00	99,64	0,36

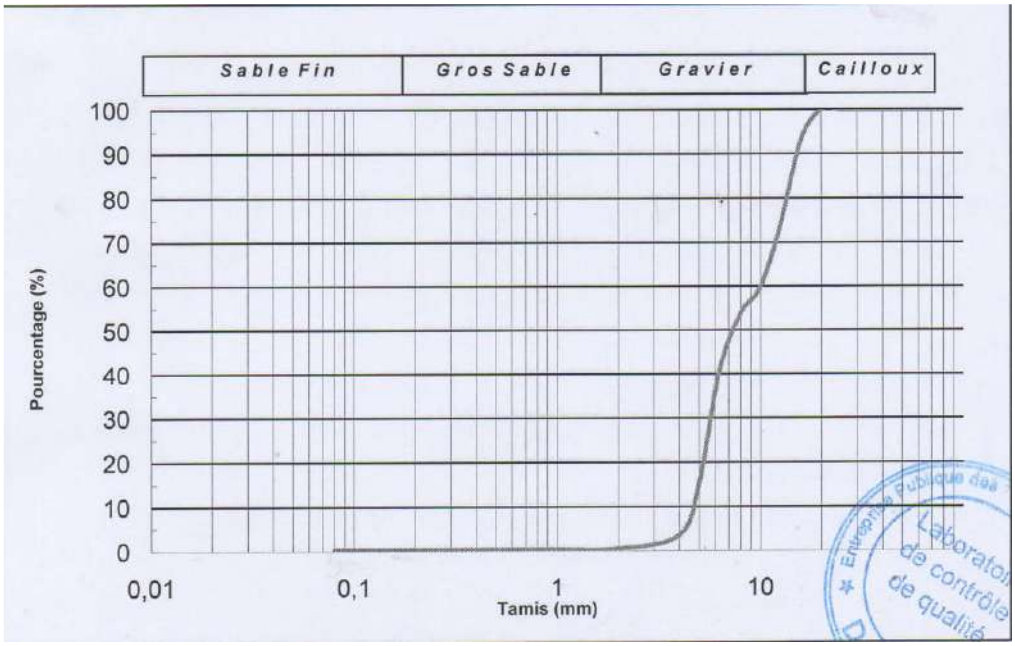


Figure.3. 13: Analyse granulométrique des granulats naturel **.**

Granulat recyclé :

Tableau3.7 Analyse granulométrique des granulats recyclé

Tamis	Refus	REFUS (%)	TAMISAT (%)
80	0	0,00	100,00
50	0,00	0,00	100,00
31,5	0,00	0,00	100,00
25	0,00	0,00	100,00
20	0,00	0,00	100,00
16	85,00	1,70	98,30
12,5	1067,00	21,34	78,66
10	2829,00	56,58	43,42
8	3749,00	74,98	25,02
6,3	4360,00	87,20	12,80
5	4685,00	93,70	6,30
4	4859,00	97,18	2,82
2	4959,00	99,18	0,82
1	4962,00	99,24	0,76
0,4	4967,00	99,34	0,66
0,315	4967,00	99,34	0,66
0,2	4967,00	99,34	0,66
0,1	4967,00	99,34	0,66
0,08	4967,00	99,34	0,66

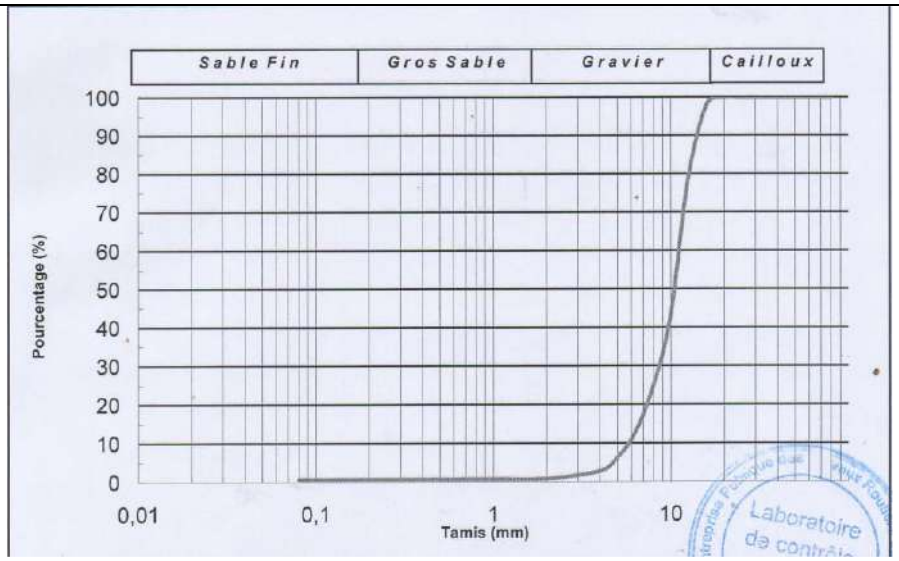


Figure.3. 14: Analyse granulométrique des granulats recyclé

3.1.8.Coefficient d aplatissement

Granulas naturel

Tableau3. 8 Coefficient d aplatissement

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classe granulaire	M_g	EcartementDes grille	Passant M_e	
d/D (mm)	(grs)	s (mm)	(grs)	M_e/M_g*100
> 50		31.5		
40 - 50	0	25	0	
31.5 - 40	0	20	0	
25 - 31.5	0	16	0	
20 - 25	0,0	12.5	0	
16 - 20	323	10	90	
12.5 - 16	998	8	199	
10 - 12.5	687	6.3	130	
8 - 10	303	5	57	
6,3 - 8	650	4	170	
5 - 6,3	1267	3.15	326	
4 - 5	594	2.5	138	
$M = \sum M_g =$	4822	$\sum M_e =$	1110	

A =23.02%

Granulats recyclé

Tableau3.9 Coefficient d aplatissement

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grilles		
Classe granulaire	M_g	EcartementDes grille	Passant M_e	
d/D (mm)	(grs)	s (mm)	(grs)	M_e/M_g*100
> 50		31.5		
40 - 50	0	25	0	
31.5 - 40	0	20	0	
25 - 31.5	0	16	0	
20 - 25	0,0	12.5	0	
16 - 20	85	10	3	
12.5 - 16	982	8	58	
10 - 12.5	1762	6.3	94	
8 - 10	920	5	73	
6,3 - 8	611	4	53	
5 - 6,3	325	3.15	31	
4 - 5	174	2.5	18	
$M = \sum M_g =$	4859	$\sum M_e =$	330	

A =6.79%

3.2.Le ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un CPJ NA442 CEM II/A-L 42,5 N (Matine), avec une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa et une surface spécifique de Blaine (SSB) de 3078 cm^2/g.

Les caractéristiques chimiques et minéralogiques de ce ciment sont présentées dans les tableau suivants.

Tableau3.10 Analyses chimiques du ciment

Composition chimique	Valeur
Perte au feu (%) (NA5042)	8.0 ±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5 ±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02 – 0.05
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7 ±0.5

Tableau3.11 Composition minéralogique du ciment

Composition minéralogique	Valeur
C3A(%)	7.5 ±1
C3S(%)	60 ±3

Tableau3.12 Propriétés physiques du ciment

Consistance normale de pâte de ciment(%)	26.5 ±2.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm^2/g) (NA231)	3700 – 5200
Retrait à 28 jours(µm/m)	<1000
Expansion (mm)	<3.0

Tableau3.13 Résistance à la compression

Type d'essais (EN196/mortier)	CPJ CEM II 42,5
Résistanceàlacompressionà02jours(MPa)	>10.0
Résistanceàlacompressionà28jours(MPa)	>42.5



Figure.3. 15: Ciment utilisé**.**

3.3.Eau utilisée

Pour le gâchage du béton, nous avons utilisé de l'eau du robinet.

3.4.Caractérisation de l'adjuvant

Dans notre projet on utilise l'adjuvant MEDAFLOW 30 qui est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. il est conçu à base de poly carboxylate d'Ether qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Le MEDAFLOW30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité

En plus de sa fonction principale de super plastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable. le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

(Voir la fiche technique en annexe)

Les caractéristiques de l'adjuvant sont :

- Densité = 1,07
- PH =6 ÷ 6,5
- Teneur en extrait sec = Es= 30%.



Figure.3. 16:le MEDAFLOW 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

Tableau3.14 les caractéristiques de superplastifiant MEDAFLOW 30

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

3.5. Essais réalisés sur le béton

Fabrication du béton 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, ajout, 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.) (Annexe B).

3.6. Procédure de malaxage

_ Malaxer le gravier (3/8 et 8/15), le sable, le ciment

_ pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange .

_ Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) .

_ Ajouter 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 .

_ Remalaxer pendant 30 secondes.

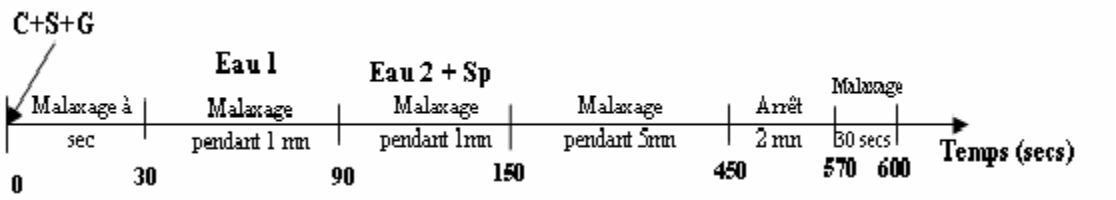


Figure 3.1:Séquence de malaxage du béton autoplaçant **[70]**



Figure.3. 17: Le malaxeur utilisé .

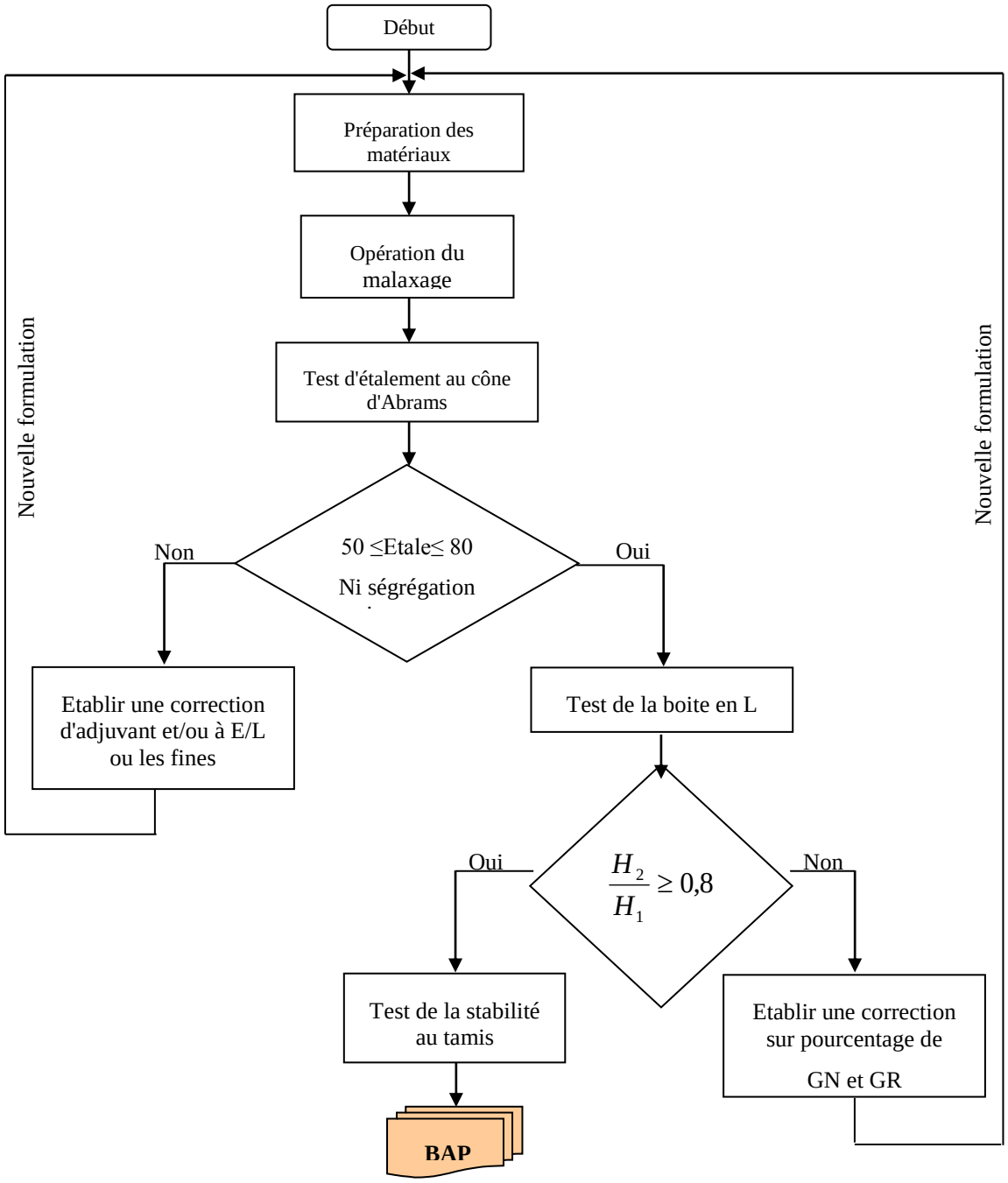


Figure.3. 18: Mise en œuvre des BAP ordinaires et recyclés**.**

3.7.Méthode d'essai

3.7.1.Essais à l'état frais

3.7.1.1.Essai d'étalement (slump flow)

But :

L'essai d'étalement au cône permet de mesurer la capacité du matériau à s'écouler en milieu non confiné et sans obstacle.

L'essai d'étalement réalisé à l'aide du cône d'Abrams (voir Figure.3.21) (Le cône DIN peut aussi être utilisé). En effet, la valeur de l'étalement, donnée par la mesure du diamètre de la galette de béton, s'avère être plus représentative que celle de l'affaissement. Il peut éventuellement être associé à une mesure du temps écoulé pour obtenir un étalement de 50 Cm (T_{50}), ce qui fournit une indication sur le caractère visqueux du matériau.

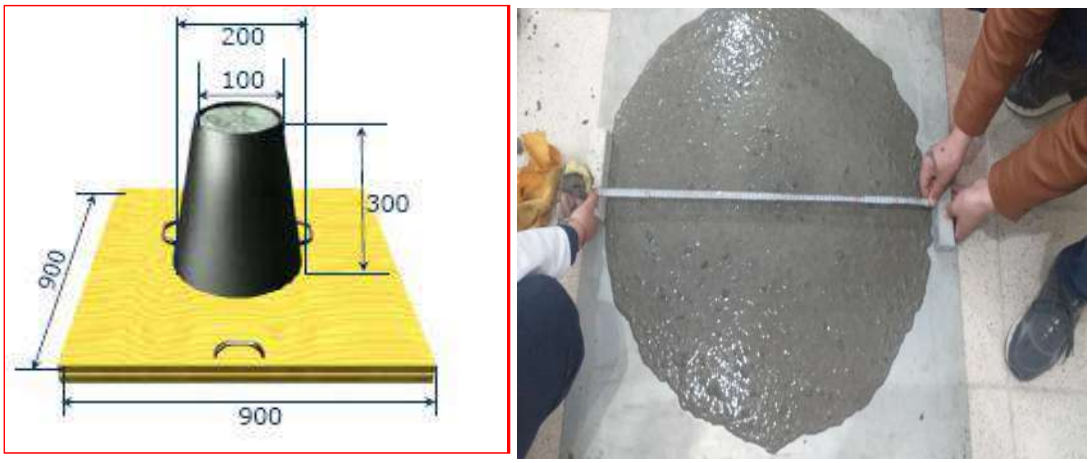


Figure.3. 19: Essai d'étalement au cône

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm selon la norme Européenne et 50÷60 cm selon la japonaise, sans auréole de laitance ou d'amoncellement de gros granulats au centre en fin d'essai

Tableau3.15 Classification des BAP selon domaine d'application Classe

Classe	Etalement (mm)	Domaine d'utilisation
1	550_650	Domaine d'utilisation Classe Etalement (mm) Structure non ou peu ferraillées. Béton coulé à partir du haut (ex : dalle) Coulage par un système de pompage. _ Petites sections
2	660_750	La majorité des applications
3	760_850	Application verticale _ Structure trop ferraillées . Coulage à partir du dessous du coffrage . Structure de forme complexe.

3.7.1.2. Essai de la boite en L (L-Box)

But :

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

L'essai de la boîte en L (Figure 3.22.) fait partie de ces essais. La partie verticale du L est remplie de béton en une seule fois. Après ouverture de la trappe, le béton s'écoule à travers un ferraillage standard (39 mm entre 3 barres ø12) **[71]**.

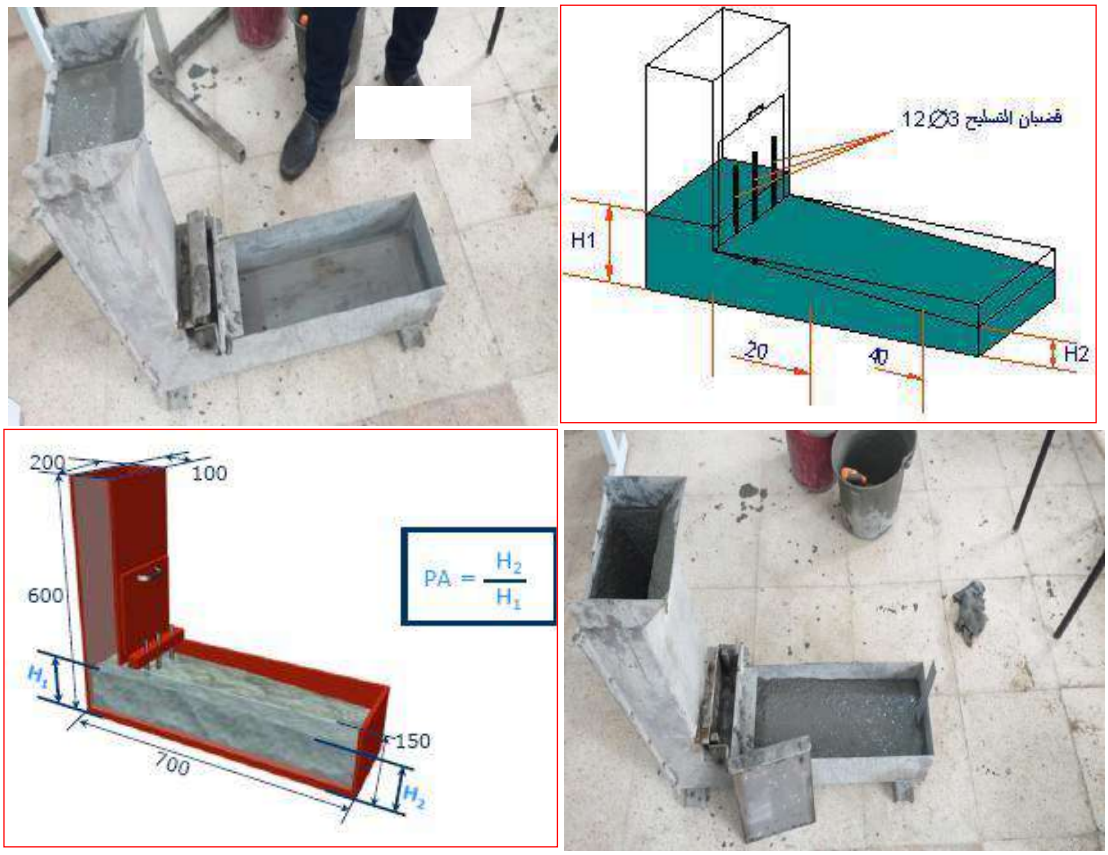


Figure.3. 20: Essai de la boîte en L

Le mode opératoire

Le mode opératoire de l'essai à la boite L est le suivant : la partie verticale du dispositif est remplie de béton (volume nécessaire de l'ordre de 13 L). Après arasement, le matériau est laissé au repos pendant 1 min. La trappe est ensuite soulevée afin de laisser s'écouler le béton à travers le ferraillage. A la fin de l'essai, les hauteurs du béton, de la partie verticale et de l'extrémité de la partie horizontale, sont mesurées (respectivement H_1 et H_2) Pour que le BAP soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport H_1/H_2) doit éter supérieur à 0.8.

Un mauvais écoulement du béton à travers le ferraillage et un amoncellement de granulats au niveau de la grille sont signes d'un problème de blocage ou de ségrégation.

L'ensemble des essais a été réalisé dans les conditions de la classe PL2 (3 aciers).

Tableau3.16 classes d'aptitude à l'écoulement - boite en L

Classe	Taux de remplissage H2/H1
PL1	≥ 0,80 avec 2 armatures
PL2	≥ 0,80 avec 3 armatures

3.7.1.3. Essai d'étalement 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 **[72]**. Le dispositif d'essai est montré dans la Figure 3.23. La quantité du BAP nécessaire pour l'essai est de 12 litre, 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 (temps important donc viscosité élevée), et il nous renseigne sur la stabilité du mélange (s'il y a de la ségrégation, on observera un amoncellement de granulats au goulot de l'entonnoir).

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 .

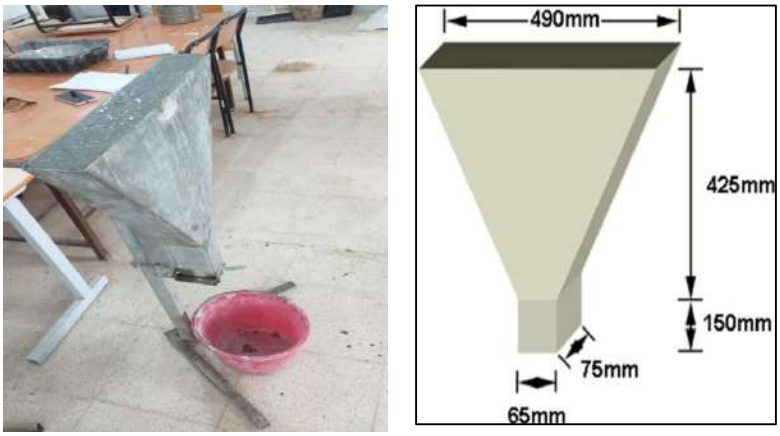


Figure.3. 21: Essai d'étalement en V(V-funnel test) **.**

3.7.1.4. Essai à la couronne (J-Ring test)

Essai à la couronne (J-Ring test) Cet essai est utilisé pour évaluer la capacité de passage et la capacité au remplissage du béton autoplaçant. Il peut être utilisé aussi pour étudier la résistance à la ségrégation. L'essai consiste à faire écouler le béton à partir du cône d'Abrams disposé au centre d'un anneau métallique de 300 mm de diamètre, sur le quel sont soudés des barres d'armature Ø16 à 18 mm.

On mesure aussi le T50 qui est le temps calculé entre le moment où le cône est soulevé et le moment où le béton atteint 500 mm de diamètre.



Figure.3. 22: Mesure du diamètre à l'essai à la couronne J (J–Ring test).

3.7.1.5. Essai de stabilité au tamis

But :

L'essai de stabilité au tamis vise à qualifier les bétons vis-à-vis du risque de ségrégation.

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

$$\pi = \frac{p_{laitance} x100}{P_{échantillon}}$$

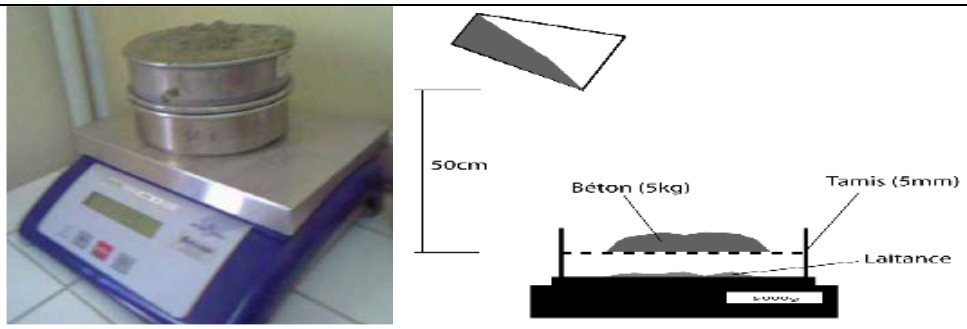


Figure.3. 23: Essai de stabilité au tamis.

Le critère de stabilité de cet essai est :

- $o \leq \pi \leq 15\%$: alors la stabilité est satisfaisante.
- $15\langle \pi \leq 30\%$: la stabilité est critique.
- $\pi\rangle 30\%$: la stabilité est très mauvaise.

3.8. Prépare et Confection les éprouvette

3.8.1.Prépare les éprouvette

Apres malaxage 20 min coule les éprouvettes.



Figure.3. 24: Prépare les éprouvettes.

3.8.2.Confection et cure des éprouvettes

Des moules cubiques (10 x 10 x 10 cm) ont été utilisés pour les essais de compression , des moules (7 x 7 x 28 cm) pour les essais de traction par fendages ainsi que la perméabilité . La conservation des éprouvettes a été faite à l'eau de gâchage. Après démoulage des éprouvettes à 24 h, la conservation se fait dans l'eau (20°C).



Figure.3. 25:cure des éprouvettes.

3.9.Les essais à l'état durci

3.9.1.Résistances à la compression

L'essai s'effectue sur une machine à compression conformément, La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes

cubiques de 10 cm pour chaque mélange.

La résistance à la compression est la moyenne arithmétique des valeurs déterminées par six essais ; cette résistance est donnée par la relation :

$$f_c = \frac{F}{S}$$

Où :

f_c : résistance à la compression (MPa)

F : charge de rupture (N)

S : section de l'éprouvette (m)



Figure.3. 26: Eprouvettes cubiques (10 x 10 x 10) cm3



Figure.3. 27: Essais de résistance à la compression.

3.9.2. Résistances à la traction

Les essais de flexion trois points sont réalisés à 1,3, 7, 28 et 56 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.3. 28: Eprouvettes prismatiques (7x7x28) cm3.

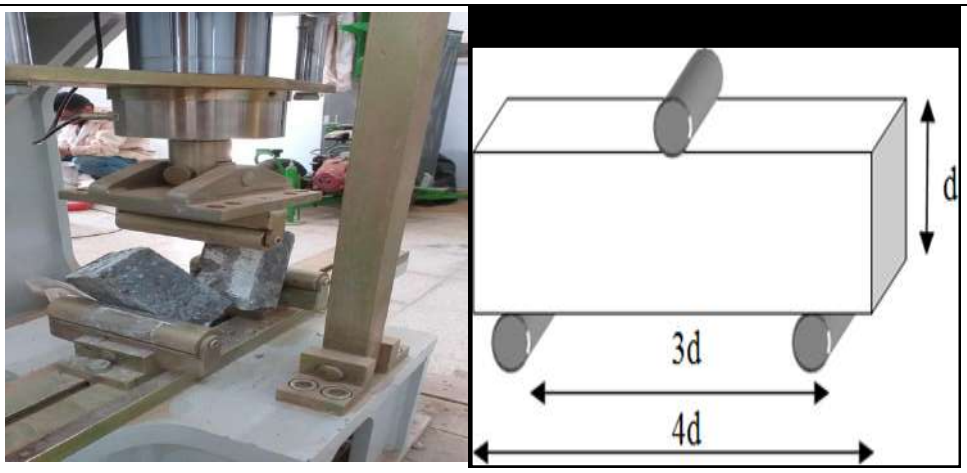


Figure.3. 29: Dispositif de traction par flexion **.**

CHAPITRE 4 :

RESULTATS ET DISCUSSION

4.1.Introduction

Dans ce chapitre nous présenterons les résultats des essais effectués pour montrer l'effet de l'environnement de cure pour diférents pourcentage granulat recycle sur propreté physico-mécaniques sur ouvrabilité de BAP . Ainsi nous confronterons les résultats de notre étude aux résultats publiés par d'autres chercheurs.

L'étude expérimentale a pour objectif principal d'étudier l'effet des déchets de béton de démolition de classe granulaire (3/8)(8/15) avec des taux varie de 0,25,50,75et 100% de chaque granulat sur diverses propriétés du BAP, y compris la fluidité, les résistances mécaniques, la. ouvrabilité Pour cela, différents BAP ont été réalisés et comparés à un BAP témoin sans granulats recyclés.

Les résultats expérimentaux obtenus sont présentés et discutés ci-après.

4.2. Formulation du béton autoplaçant

Formuler un béton, c'est de trouver un arrangement des divers constituants qui répond à un cahier de charge donné, pour un béton autoplaçant c'est complexe vue le nombre de constituants et sa particularité à l'état frais dont assurer une grande fluidité, une viscosité appropriée et de grande résistance à la ségrégation est nécessaire.

Le tableau 4.1 présente les différentes compositions des bétons autoplaçants.

Tableau4. 1 Composition des BAP testés

Dosages pondéraux Des constituants /m³		**S/M = 0.5 ; E/p= 0.381;**				
		Désignation des différents bétons				
		BAP 01	BAP 02	BAP 03	BAP 04	BAP 05
Ciment (g)		630.85	630.85	630.85	630.85	630.85
Sable (g)	Natural	384.32	384.32	384.32	384.32	384.32
	recycler	326.48	326.48	326.48	326.48	326.48
Gravier (g)	Natural	668.26	501.18	334.12	167.06	0
	recycler	0	149.47	298.94	448.40	597.87
Eau de gâchage (g)	Eau 1	197222.31	202108.33	206994.35	211880.37	216766.39
	Eau 2	84523.85	86617.85	88711.86	90805.87	92899.88
Superplastifiant (g)(%)		4415.9225	4100.4995	3785.0764	3469.6534	3154.2304
		0.7	0.65	0.6	0.55	0.5

4.2.1Besoin en superplastifiants

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant, le dosage en superplastifiant de chaque composition est présenté dans la Figure 4.1

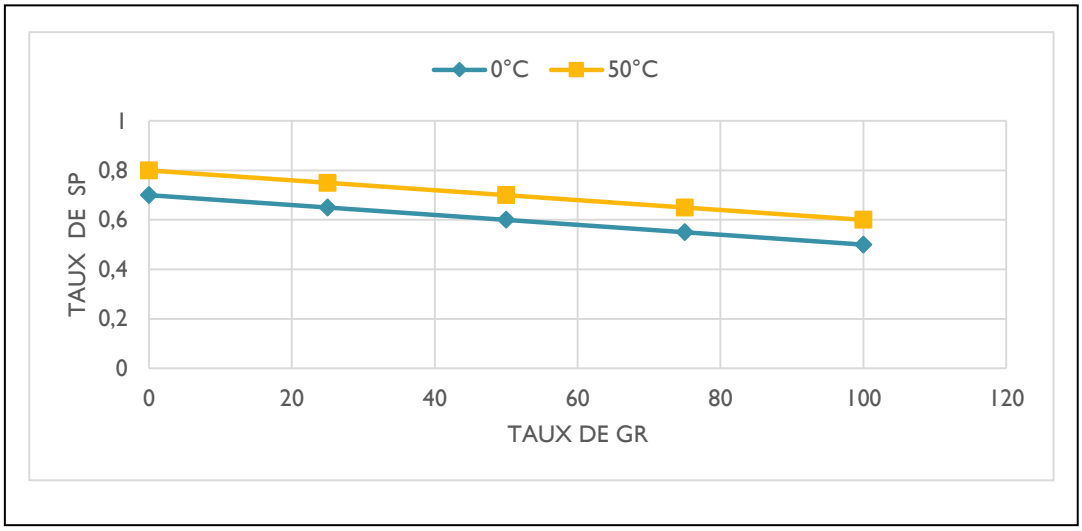


Figura 4. 1:variation du dosage SP en fonction de taux de granulat recyclé et température de malaxage

Les résultats montrent que pour garder l'ouvrabilité de béton autoplaçant malaxer à une température élevé, une augmentation de dosage de superplastifiant est nécessaire.
L'utilisation des granulats recyclés mène à une diminution du taux de superplastifiant de 0.05% pour une substitution de 25% de granulat recyclé La faisabilité d'utiliser des granulats recyclés fin avec différents pourcentages de remplacement dans les BAP a été étudiée par **[74]** et il a été rapporté que le diamètre de l'écoulement d'affaissement et le rapport de ségrégation des BAP augmentaient en augmentant la teneur en RCA fin Pour les deux conceptions des BAP, l'augmentation de la température de mélange de 20 C à 50 C a impliqué des ajouts d'eau ou de superplastifiant (SP) pour maintenir la classe d'épandage immédiatement après le mélange comme spécifié dans la norme européenne norme EN 206-9 **[75].**

4.2.2.Effet de la température de cure sur l'ouvrabilité des BAP

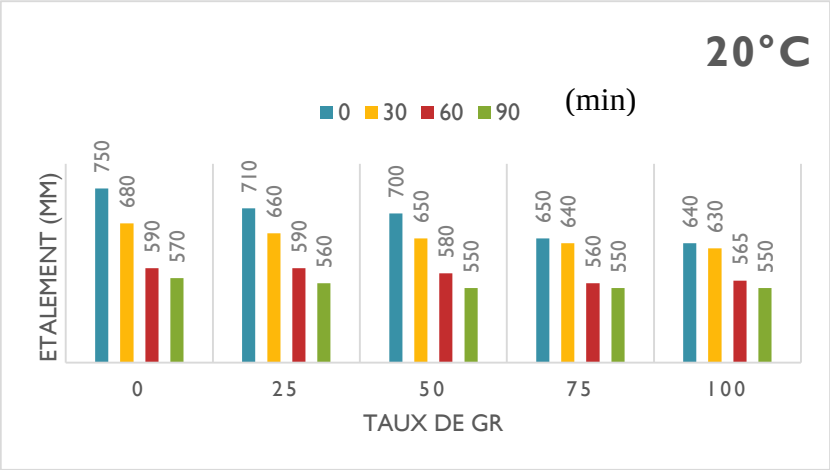


Figure.4. 2:L'étalement des différents BAP en fonction du temps à 20°C

La figure 4.2 montre l'effet des granulats recycle sur l'étalement. On note que les valeurs d'étalement, pour les mélanges de béton confectionnés avec 0% de granulat recycle, sont plus élevées que celles pour les mélanges avec quantité de granulat recycle. On observe également sur cette figure, pour les quantités de granulat recycle, que la pente du graphe diminue à partir de 25% de granulat recyclé, ce qui nous permet de conclure que ce pourcentage 50% **à** 75% centile est optimal du point de vue ouvrabilité. Aarre et Domone **[76]** proposent un étalement entre 650 mm et 700 mm pour obtenir un bon béton Autoplaçant

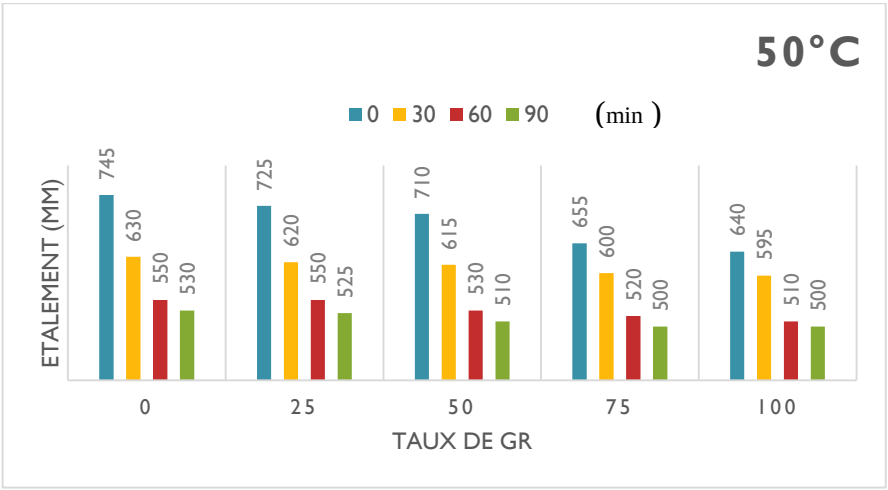


Figure.4. 3:L'étalement des différents BAP en fonction du temps à 50°C

Les BAP préparé à 20°C out gardé leur ouvrabilité jusqu'aux 90 min après malaxage quelque soit le taux de GR, Par contre les BAP à 50°C ont perdu l'ouvrabilité après 60 min pour les taux de 0et 25% de GR et 30 min pour les taux de GR de 50, 75 et 100% Ghafoori et al**[77].** attribuent la perte d'ouvrabilité avec l'élévation de la température initiale à la cinétique accélérée de l'hydratation, l'adsorption plus importante de superplastifiant, la teneur réduite en humidité des granulats et l'évaporation d'eau qu'ils n'ont pas quantifiée. Ils montrent également que les surdosages en superplastifiant et éventuellement en agent de viscosité permettent de retrouver les étalements cibles.

4.2.3. Effet de la température de cure sur la perte d'ouvrabilité des BAP

La figure4.4 et 4.5 affichent les taux de la perte d'ouvrabilité à 30, 60 et 90 minutes après malaxage pour les mélanges contenant 0, 25, 50, 75 et 100% de granulat recycle à 20 et 50°C successivement. On doit signaler ici que la perte d'ouvrabilité est elle-même un paramètre rhéologique, elle donne la déformation du mélange en fonction du temps.

La perte d'ouvrabilité est plus prononcée à 50°C qu'à 20°C, et cela quel que soit le taux de GR .

L'effet de la température ambiante sur la perte d'étalement a été examiné par Ghafoori et al **[77,78]**, ils ont trouvé que l'augmentation de la température à 28 ; 36 et 43 °C provoque une perte de l'étalement respectivement d'environ 5%, 12% et 25%. On peut conclure que l'étalement est légèrement affecté pour des températures inférieures à 28 °C, tandis qu'au-delà cette température, une perte remarquable de l'étalement est observé. Ceci a pour effet de réduire le caractère autoplaçant et limiter la durée pratique d'utilisation du béton autoplaçant.

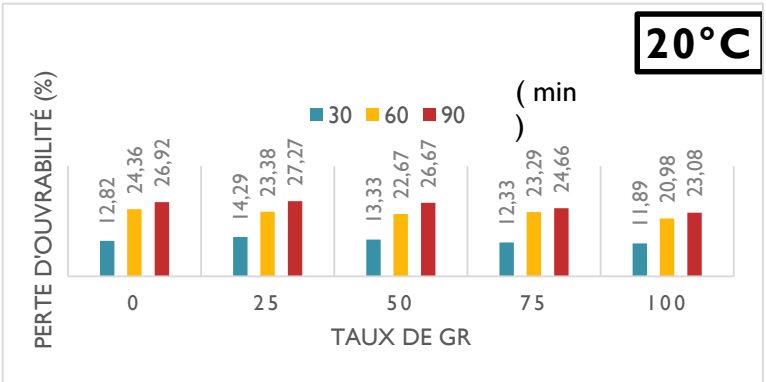


Figure.4. 4: La perte d'ouvrabilité des BAP en fonction du temps à 20°C

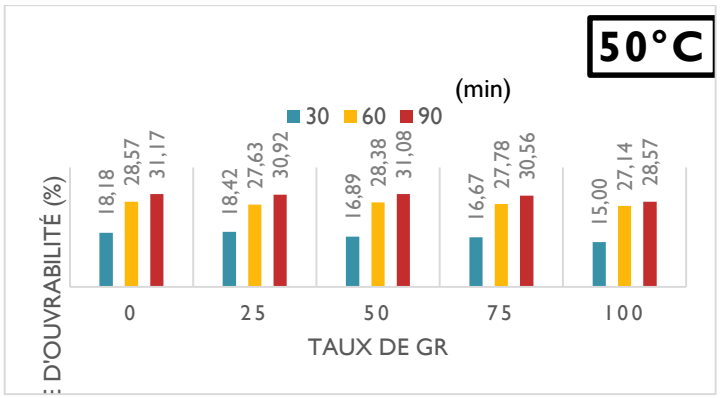


Figure.4. 5:L'ouvrabilité des BAP en fonction du temps à 50°C

4.2.4.Etalement et Temps T50 au cône d'Abrams

Les figures 4.6 et 4.7 montrent l'effet des granulats recyclés sur le temps d'écoulement T50, à 0, 30, 60 et 90 minutes après malaxage pour les mélanges contenant 0, 25, 50, 75 et 100% de granulat recycle à 20 et 50°C successivement.

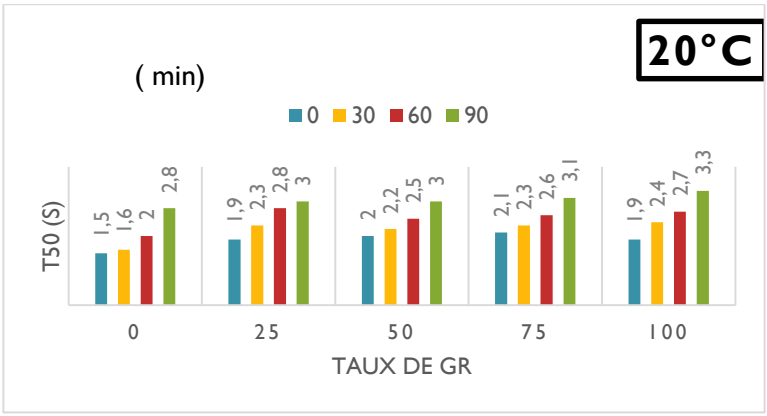


Figure.4. 6: Temps d'Ecoulement T50 en fonction de taux de granulat recycle à 20°C

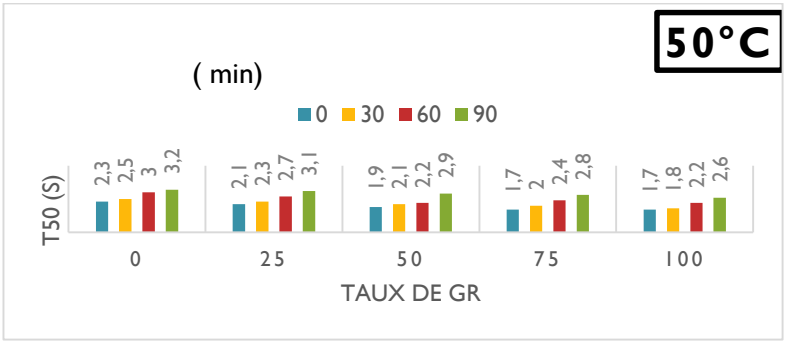


Figure.4. 7: Temps d'Ecoulement T50 en fonction de taux de granulat recycle à 50°C

Nous remarquons ici que les valeurs de T50 augmentent avec le temps mais reste acceptable même après 90 min de malaxage pour les deux environnements. On doit signaler ici que les valeurs de T50 de BAP témoin sont plus basses que celles proposées par Aarre et Domone**[76]** (2 à 4 sec).

4.2.5.Temps d'écoulement par l'essai d'Entonnoir en V (V-Funnel)

Les résultats de variation du temps d'écoulement à l'essai d'entonnoir (V-Funnel) en fonction du pourcentage de granulat recycle sont représentés sur la figure4.8.

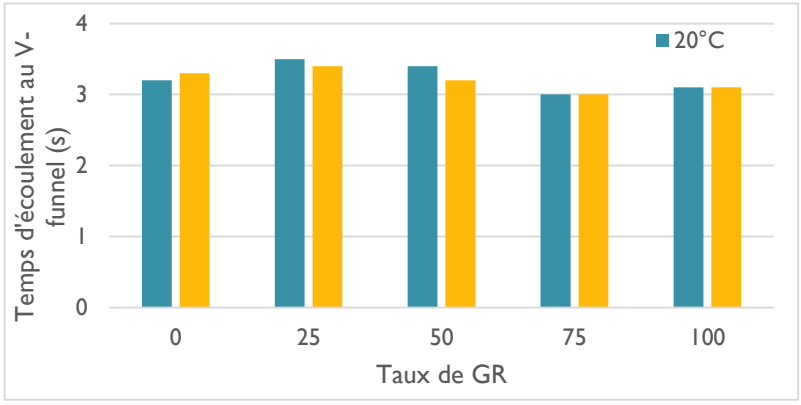


Figure.4. 8: Temps d'écoulement par l'essai d'Entonnoir en V (V-Funnel)

les ajustements SP pour le malaxage à une température de 50°C ne modifient pas significativement les propriétés de remplissage dont les valeurs reste dans entre 2 et 10 s.

4.2.6.Rapport H_2/H_1 de l'essai de la Boîte en L (L-Box)

L'essai de la boîte en L (L-Box) donne une bonne appréciation de la capacité de remplissage, de passage et de la résistance à la ségrégation. La figure4.9.montre la variation du rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de granulat recycle

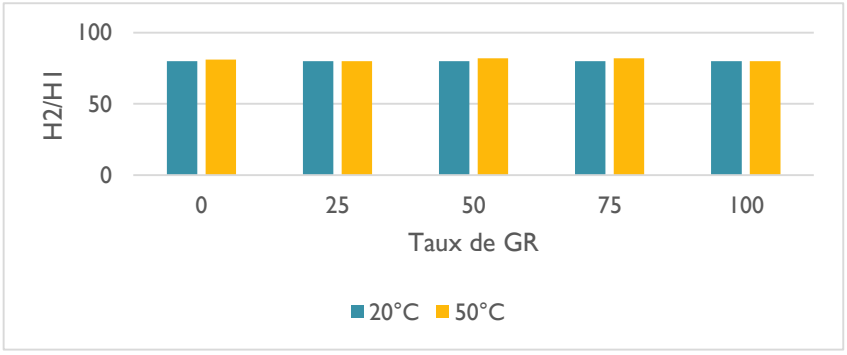


Figure.4. 9:rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de granulat recycle

Le rapport H_2/H_1 de BAP a bas de 0% ,25% , 50%, 75% et 100 % de granulat recycle est stable avec la limite minimale exigée par le normes qui est égale 85% dans les cas de température initiale ou élève . CORINALDES et al **[79]** ont montré en termes d'étalement et L-BOX que le BAP a base granulats recycles a un comportement satisfaisant.

Même résultats observé par ana cecilia **[80]** dont les ajustements eau ou SP ne modifient pas significativement la capacité de remplissage définie par le rapport H2/H1.

4.2.7.Résistance à la Ségrégation par Tamisage

La figure 4.10.présente les résultats des pourcentages de laitance passant à travers un tamis de 5 mm pour déterminer le degré de ségrégation.

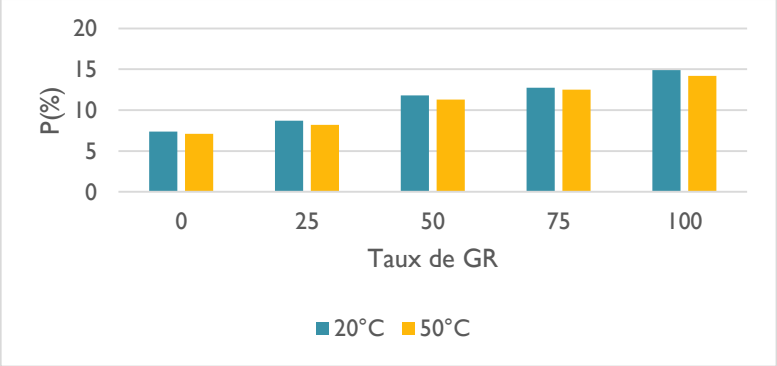


Figure.4. 10:pourcentages de ségrégation des mélanges en fonction des granulats recyclés.

Les résultats prouvent que plus le pourcentage de granulat recycle augmente plus le pourcentage de ségrégation augmente par contre la température des malaxages n'as pas influée sur la ségrégation .Tous les BAP ont présentés une bonne stabilité au tamis.

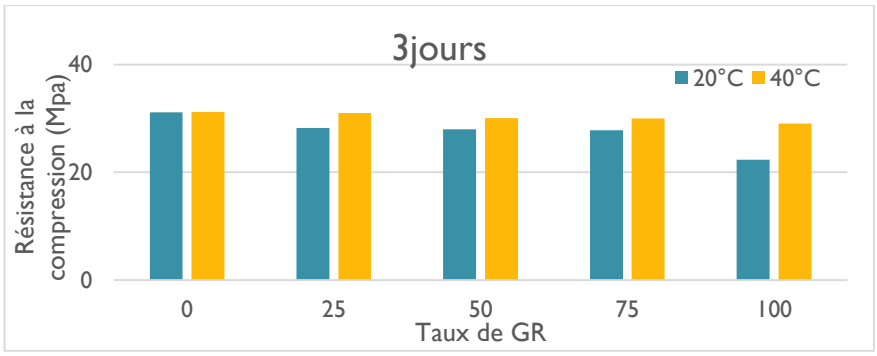
En effet, la quantité de laitance est située dans le domaine des BAP, soit inférieure à 15 % pour tous les BAP, correspondant la deuxième classe de résistance la ségrégation (SR2) qui caractérise une bonne stabilité **[81]**.

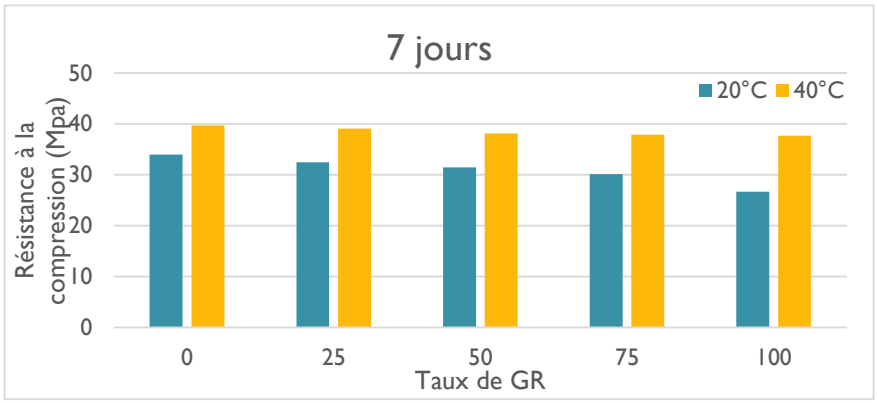
A cette étape, les bétons de référence malaxés à 20 C restaient autoplaçant lorsqu'ils étaient malaxés à 50°C à condition qu'un supplément de SP soit ajouté. Maintenant, les conséquences de l'augmentation de la température de malaxage et de l'application de moyen associés pour maintenir la capacité d'auto-compactage sur les variations des compositions de béton sont discutées dans la section suivante.

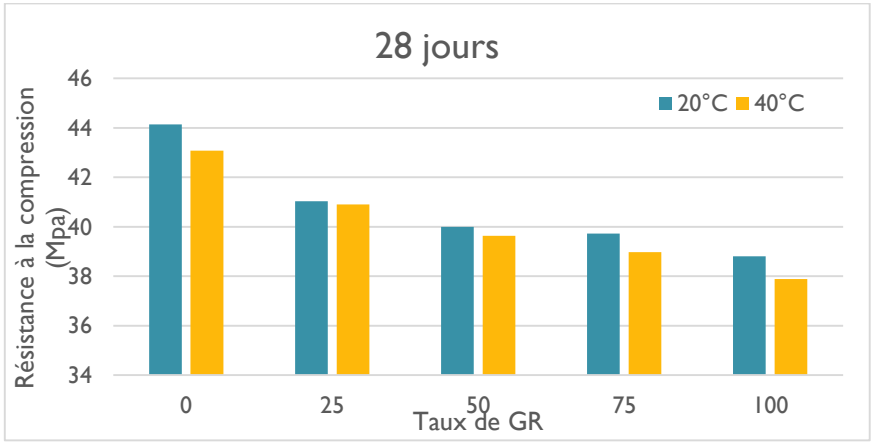
4.3.Résultats de caractérisation des BAP à l'état durci

4.3.1.Résistance à la compression

Dans ce paragraphe, nous présentons l'évolution des résistances, mesurées sur éprouvettes de contrôle, des BAP mis en œuvre à 50°C et pour lesquels l'autoplaçance a pu être maintenue, par surdosage en superplastifiant. Ces évolutions sont comparées à celle des BAP de référence dont la température initiale est de 20°C (figures4.11).







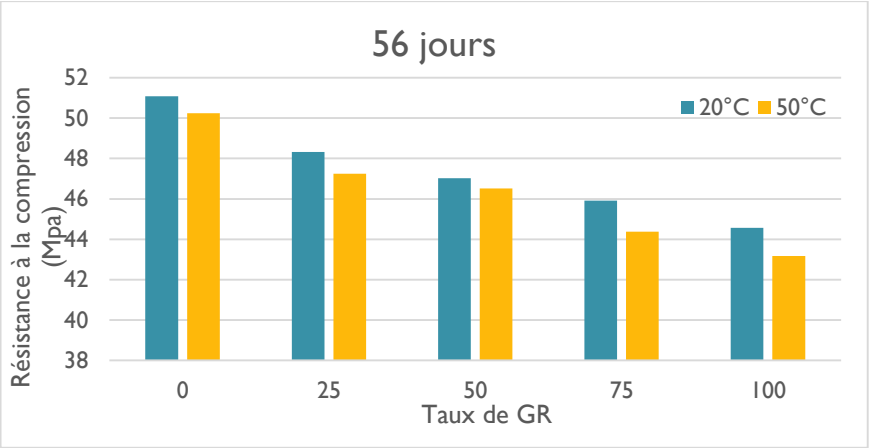


Figure.4. 11: La résistance à la compression à 3,7, 28 et 56 jours à 20° et 50°

Ces figures montrent que la hausse de la température de confection de 20°C à 50°C tend à induire une augmentation des résistances à 3 et 7 jours, au-delà les valeurs des résistances malaxées à 50°C sont légèrement inférieur à celle des BAP confectionnées à 20°C.

Des résultats similaires ont trouvées, où les résistances à 28 et 56 jours et à long terme sont proches ou légèrement inférieur **[82-83],**bien que la résistance à la compression augmente à un âge précoce **[82 ,83–84].**

Pour le cas des graviers recyclés Alengaram et al. **[85]** 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 [84] 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 %. **[86]**

Modani et Mohitkar **[87]** 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. **[88]**

Les principales conséquences bien connues et largement rapportées du malaxage et de la coulée du béton vibré ordinaire par temps chaud comprennent :

une température élevée du béton pendant le malaxage et/ou le durcissement (50 °C est observé comme valeur maximale) la perte de ouvrabilité, augmentation de la demande en eau **[89–83],** diminution de la résistance à la compression à long terme (28 jours ou plus) **[82 ,83–90]**, bien que la résistance à la compression augmente à un âge précoce **[82,83–84].**

Selon l'ACI 305 **[91]** et les données issues de **[92]** sur les bétons incorporant de l'OPC, le besoin en eau augmente significativement à partir d'une température initiale de malaxage de 30 C et la résistance à la compression à 28 jours peut être inférieure de 10 à 15 % si la température initiale à 24 h température est de 38 C que si le durcissement à la norme requise. En revanche, peu d'études ont porté sur le bétonnage autoplaçant en milieu chaud.

4.3.2.Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à la traction des différents BAP de température 20° et 50 ° réalisés en fonction de l'âge 28 jour et le pourcentage de substitution de granulat recycle présentés dans la figure 4.12 Suivantes **.**

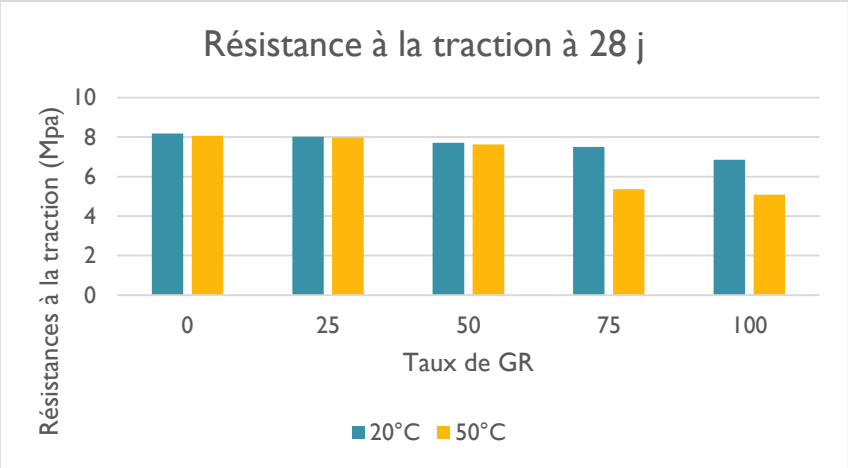


Figure.4. 12:la résistance à la traction à 28 jour

Selon l'évolution de la résistance à la traction des BAP selon différentes variantes , et la amélioration de la résistance des mélange contenant 0% de granulat recycle qui donne une amélioration à la résistance de la traction. Contrairement aux BAP qui ont des GR des proportions variables , on constate qu'il y a une diminution de 1% à 3% pour un taux de 25 et 50% respectivement. Ces résultats sont similaires à celui de Modani et Mohitkar **[86] .**

CONCLUSION

Après la réalisation des essais sur la caractérisation des granulats recyclés et

des bétons autoplaçants à l'état frais et l'état durci, les enseignements suivants

peuvent être tirés :

- Les caractéristiques physiques et mécaniques des granulats recyclés sont

inférieures à celles des granulats naturels.

- Les BAP à base de gravier recyclé présentent des résistances à la compression

intéressantes, supérieures à 30 MPa, mais inférieure à celles du BAP de référence.

- les caractéristiques mécaniques des granulats recyclés, une diminution de la résistance en compression des BAP en fonction du taux de substitution des GN par les GR.

-Diminution de l'ouvrabilité des BAP à climat chaux.

-diminution de la résistance à la compression à long terme (28 jours ou plus) , bien que la résistance à la compression augmente à un âge précoce à climat chaux.

- les BAP à base de gravier recyclé présentent des résistances à la compression inférieure à celles du BAP de référence

-La résistance a la traction a comprissions diminues en fonction du taux de remplacement de GN par les GR

-Le BAP perde sur ouvrabilité aux climat chaux

CONCLUSION GENERALE

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

- les granulats recyclés par résine parut la meilleure méthode pour les introduire dans le béton ordinaire de point de vue de diminution d'absorption d'eau, amélioration des propriétés des granulats recyclés et augmentation des résistances mécaniques des bétons.

-les granulats recyclés ont une densité plus faible, une résistance plus faible, une porosité plus élevée et une absorption d'eau plus élevée que les granulats naturels.

-Le dosage en superplastifiant est affecté par le taux de granulat recyclé, plus le taux de granulats recyclé est élevé moins de superplastifiant est utilisé.

-La taille des granulats n'as aucun effet sur le dosage en superplastifiant.

- Les résistances à la traction des bétons à base de granulats recyclés sont les plus faibles, ceci serait dû à la fragilité de l'ancienne pâte de ciment entourant les granulats.

-Les résistances mécaniques diminuent en présence du granulats recyclés toutefois, elles ne sont pas significatives d'autant plus qu'elles sont rattrapées à long terme, au-delà de 28 jours.

-Diminution de l'ouvrabilité des BAP à climat chaux.

-diminution de la résistance à la compression à long terme (28 jours ou plus) , bien que la résistance à la compression augmente à un âge précoce à climat chaux.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1].bachene, sara. 2015 « effet couplé de la température et des additions minérales sur les caractéristiques mécaniques et la durabilité des bétons autoplaçant. Diss». Université yahia farès de médéa, institut des sciences et d.

[2].said oussama , lakrib aissa.,2021«valorisation des granulats recyclés dans la fabrication des bétons autoplaçants». Université yahia farès de médéa.

[3].holcim .2004 « le béton auto compactant ». Recommandation étudiée par la société holcim. Suisse.

[4].boukhelkhala., 2012 « rhéologie, caractérisation physico-mécaniques et durabilité des bétons autoplaçants à base de la poudre de marbre », mémoire de magister, université ammar telidji de laghouat, algérie.

[5].liu m., 2009« wilder application of additions in self-compacting concrete », thèse de doctorat, universities de london, uk.

[6].sonebi m., bartos p.j.m.,1999« hardened scc and its bond with reinforcement », proceeding of first international rilem symposium on self-compacting concrete (pro 7), stockholm, sweden,pp. 275-89.

[7].ozawa k., maekawa k.,okamurah.,1992« development of high performance concrete », journal of the faculty of engineering, the university of tokyo, vol.41, n°3, pp. 381-439.

[8].felekoglub., 2008 «a comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete», construction and building materials j., vol. 22, n° 4, pp. 646-54.

[9].noumowe a., carreh., daoud a.,toutanji h., 2006 « high-strength self-compacting concrete exposed to fire test», journal of materials in civil engineering, vol.18, n°6,pp. 754-8.

[10].el-fodil abdelatif, elaboration d'un béton autoplaçant à base de fillers de calcaire, thèse

[11].jol 98, ait 01, ram 98c. Jolicoeur, m. A. Simard, « chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts », ccc vol 20, pp 87-101, 1998.

[12].baalbaki m., « influence des interactions du couple ciment/adjuvant dispersant sur les propriétés des bétons : importance du mode d'interaction des adjuvants». Thèse de doctorat .université de sherbrooke, québec 1998.

[13].baron j., ollivier j. P,1996« les bétons, bases et données pour leur formulation ». Publication athil, édition eyrolles, 552 pages.

[14].jol 98: c. Jolicoeur, m. A. Simard, « chemical admixture-cement interactions: phenomenology and physico-chemical concepts », ccc vol 20, pp 87-101, 1998.

[15].had 07:o.haddad, 2007 « contribution au développement d'outils d'aide à la formulation des bap relatifs à la rhéologie à l'état frais et à la résistance au jeune âge », thèse de doctorat, france.

[16].khayat k. H., 1999 « workability, testing, and performance of self-consolidation concrete, aci materials journal, vol. 96, no. 3.

[17].sandrine bethmont, décembre 2005 « mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (bap)», thèse doctorat de l'ecole nationale des ponts et chaussées.

[18].klug y. And holschemacher k., 18-20 février 2003. "material properties of hardened self-compacting concrete", icpcm – a new era of building, le caire, egypte .

[19].stéphan assié, « durabilité des bétons autoplaçants », thèse doctorat l'institut national des sciences appliquées de toulouse.

[20].bouchemal naas,.2013«formulation d'un béton autoplaçant a base de granulats recycles»

[21].shi, c., wu, z., lv, k., wu, l., 2015. A review on mixture design methods for self-compacting concrete. Constr. Build. Mater. 387–398.

[22].koehler, e.p., fowler, d.w., 2007. Inspection manual for self-consolidating concrete in precast members (no. 0-5134-p1). Center for transportation research, université of texas at. Austin.

[23].habibi , a., ghomashi, j., 2018. Development of an optimum mix design method for self compacting concrete based on experimental results. Constr. Build. Mater. 113–123.

[24].goodier, c.i., 2003. Development of self-compacting concrete.

[25].panesar, d.k., shindman, b., 2012. The effect of segregation on transport and durability prop erties of self-consolidating concrete. Cem. Concr. Res. 252–264.

[26]. T. Sedran: «les bétons auto nivelant (ban) : synthèse bibliographique». Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées. N° 196, pp 53-60. Mars-avril 1995.

[27].domone p.l., chai h.w., jin j. , 1999 « optimum mix proportioning of self-compacting 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.

[28].t. Fukute, a. Moriwake, k. Sano & k. Hamasaki: «development of
Super workable concrete for multi-functional port structures». 2nd international symposium of canmet/aci. Las vegas, pp.335-336. 1995.

[29].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.

[30].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.

[31].klug y., holschemacher k., 2003« comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete » 3rd international symposium on self-compacting concrete, reykjavik, ice land, pp. 596-605.

[32]. HEBHOUB H, BELACHIA M. M. introduction of sand marble wastes in the composition of mortar, Rapport de recherche, Structural Engineering &Mechanics 2014,06pages, Cité par NAWEL CHIBANI ET HACENE HOUARI.

[33].(gdcbfnb, 1994) 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)

[34].unpg, (2001). Union nationale des producteurs de granulats. Le marché des granulats. Citédans (raphaël, 2003)

[35].charlot-valdieu c. (1993). Les déchets de démolition ou de chantier, état des lieux Observatoire technique de l‟europe du bâtiment-cstb. Cité dans (raphaël, 2003)

[36].(www.bruxellesenvironnement.be, 2012) l‟utilisation de granulats issus du recyclage. Fiche 4.1 pp 3. Consulté en 2012.

[37].thai-hoa v (2009). Caractérisation de la phase solide et transferts de gaz dans les milieux poreux insaturés. Etude expérimentale et modélisation appliquées à la diffusion de

L'hydrogène dans les matériaux cimentaires. Spécialité génie civil. Université toulouse pp.24-25.

[38].ferguene habib 2016«valorisation des granulats recyclés de déchet des carreaux faïence dans la formulation des bétons autoplaçants »

[39].françois perche « adsorption des poly carboxylates et de ligne sulfates sur poudre modèle et ciments »thèse de doctorat.

[40].saadani sabrina « comportement des bétons à base de granulats recycles» thèse de magister, université mentouri de constantine.

[41].otsuki, n., miyazato, s. I., & yodsudjai, w. (2003). Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, strength, chloride penetration and carbonation of concrete. Journal of materials in civil engineering, 15(5), 443-451.

[42].r. Mallot., "mémento technique des granulats," les presses de l'ecole des mines, paris, 2001

[43].xp p 18-540, "granulats - définitions, conformité, spécifications, indice de classement," pp.15–540, 1997.

[44].g. Dreux, j. Festa, « nouveau guide du béton et ses constituants., », edition eyrolles, 8emeédition, 1998

[45].y. Descantes, y. Fosse, and g. Ehret, "automated measurement of aggregate properties: part1 – crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles," mater. Struct., vol. 39, no. 1,pp. 3–12, 2006.

[46].de juan m.s. and gutiérrez p.a., study on the influence of attached mortar content on the properties of recycled concrete aggregate, construction and building materials, 23 (2), pp. 872-877, 2009

[47].tam v.w.y., wang k. And tam c.m., "assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis", journal of hazardous materials, 152 (2), pp. 703-714, 2008

[48].padmini a.k., ramamurthy k. And mathews m.s., influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, construction and building materials, 23 (2), pp. 829-836, 2009 .

[49].berredjem, "les matériaux de démolition une source de granulats pour béton: formulation et caractérisation d'un béton à base de ces recyclés", sbeidco enset, oran, algeria - october 12-14, 2009.

[50].bourmatte nadjoua, granulats recycles de substitution pour bétons hydrauliques, thèse de doctorat en sciences, universite des frères metouri constantine, 2017

[51].pierre matar, rouba a. R. El dalati, caractéristiques du béton à base de granulats recyclés. Etude expérimentale, annales du bâtiment et des travaux publics, septembre 2012, pp32-36.

[52].c medina, w zhu, t howind, mis de rojas, journal of cleaner, 2014 - elsevier

[53].gonzález- fonteboa et al. 2008;

[54].bui .v.k, akkaya .y, shah .s.p, "rheological model for self-consolidating concrete", aci materials journal, 99, 6, pp. 549-559, novembre-décembre2002.

[55].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, pp. 255-262.

[56].g. Menendez, v. Bonavetti and e.f. irassar, "strength development of ternary blended cement with limestone filler and blast-furance slag", cement and concrete composits, vol. 25, 2003, pp.61-67.

[57].b. Uzal, l. Turanli, "studies on blended cements containing a high volume of natural pozzolans", cement and concrete research, vol. 33, 2003, pp.1777-1781.

[58].aci 305r –91: "hot weather concrete" aci materials journal, vol. 88, 1991, pp.417-436.

[59].m. Venuat "bétonnage par temps chaud" in "la pratique des ciments : mortiers et bétons " tome2. 1989

[60].aci 305r –91: "hot weather concrete" aci materials journal, vol. 88, 1991, pp.417-436

[61].b. Alahmadi "initial and final setting time of concrete in hot weather" materials and structures, vol. 33, oct. - 2000, pp.511 –514.

[62].annales itbtp "bétonnage par temps chaud connaissances actuelles et recommandation". Annales itbtp, n°474, 1989, pp.

[63].m.a. mustafa and k.m. yusof "mechanical properties of hardened concrete in hot humide climate" cement concrete research, vol. 21, 1991, pp.601-613.

[64].m. Vénuat: "la pratique des ciments, mortier et béton : tome i : caractéristiques des liants et des bétons mise en œuvre des coulis et mortiers", deuxieme édition, collection moniteur, 1989, 277p.

[65].o.s.b. al-amoudi, m. Maslehuddin and m.m. saadi, "effect of sulfate and sodium sulfate on the durability performance of plain and blended cements", aci materials journal, vol. 92, no1, 1995, pp. 15-24.

[66].jianguang shi, yuezhou xu, estimation and forecasting of concrete debris amount in China, resources, conservation and recycling, volume 49, issue 2, december 2006, pages 147-158

[67].zhao et al., zengfeng, sébastien remond, denis damidot, and weiya xu. 2016. “influence des granulats recyclé sur les propriétés des mortiers”. Construction and building Material 81 (avril) : 179–186.

[68].farid debieb, luc courard, said kenaic, robert degeimbre, mechanical and durability Properties of concrete using contaminated recycled aggregates, cement and concrete Composites volume 32, issue 6, july 2010, pages 421-426

[69] gonzalez-fonteboa b., martınez-abella f., concretes with aggregates from demolition Waste and silica fume. Materials and mechanical properties, building and environment, 43 (2008), 429–43.

[70].xiong x., van breugel k., 2003 « hydration processes of cements blended with limestone powder -experimental study and numerical simulation » , proceedings of the 11th iccc , durban.

[71].association française de génie civil (afgc), «béton auto-plaçants », recommandations provisoires, juin2000, annales du bâtiment et des travaux publiques.

[72].assié s., « durabilité des bétons autoplaçants », thèse de doctorat de l'institut national des science appliquées de toulouse, octobre 2004, 254 pages.

[73].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.

[74]. Kou, S., Poon, C., 2009. Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. Cem. Concr. Compos. 31, 622–627.

[75].EN 206-9, Concrete – Part 9:Additionalrules for self-compacting concrete (SCC), June 2010.

[76].Aarre T. and Domone P. "Reference concretes for evaluation of test methods for SCC" Proceedings of 3rd RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete, Reykjavik, Iceland. 2003, pp. 495-505.

[77].GHAFOORI N., DIAWARA H., "Influence of temperature on fresh performance of self – consolidating concrete", Construction and Building Materials, 24, pp. 946-955, 2010.

[78].BOUKHELKHAL, Aboubakeur et BENABED, Benchaa. Fresh and hardened properties of self-compacting repair mortar made with a new reduced carbon blended cement. Epitoanyag-Journal of Silicate Based & Composite Materials, 2019, vol. 71, no 4.

[79].Corinaldesi, V., Gnappi, G., Moriconi, G. et Montenero, A. (2005). Reuse of ground waste glass as aggregate for mortars, Waste Management, vol.25, p.197-201. Cité dans (Rachida,2009)

[80]. DA NÓBREGA, Ana Cecilia Vieira, MOURET, Michel, CASSAGNABERE, Franck, *et al.* Improved 28-day compressive strength of SCC mixed and cured in hot weather: non-conventional behavior. *Construction and Building Materials*, 2018, vol. 173, p. 650-661.

[81].DIERYCK V. et VAN ITTERBEECK P, Prescrire un béton autoplaçant, laboratoire Technologie du béton, CSTC et laboratoire Structures CSTChttps://www.cstc.be/homepage/download.cfm?lang=fr&dtype=publ&doc=cstc_artonline_2012_3_N° 3.pdf

[82].M. Mouret, A. Bascoul, G. Escadeillas, Strengthimpairment of concrete mixed in hot weather: relation to porosity of bulkfreshconcretepaste and maturity, Mag. Concr. Res. 55 (3) (2003) 215–223.

[83].J. Ortiz, A. Aguado, L. Agulló, T. García, Influence of environment a la temperatures on the concrete compressive strength: Simulation of hot and cold weather conditions, Cem. Concr. Res. 35 (10) (2005) 1970–1979.

[84].M. Mouret, A. Bascoul, G. Escadeillas, Strengthimpairment of concrete mixed in hot weather: analysis in relation to physical and chemicalproperties of hardenedconcrete, Mag. Concr. Res. 57 (5) (2005) 301–308.

[85].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, 248–255.

[86].Waiching Tang, MehrnoushKhavarian, Ali Yousefi, Hongzhi Cui, Properties of self-compacting concrete with recycled concrete aggregates, Novel Technologies and Applications for Construction Materials 2020

[87].Modani, P.O., Mohitkar, V.M., 2014. Self-compacting concrete with recycled aggregate: a solution for sustainable development. Int. J. Civ. Struct. Eng. 4, 430–440.

[88].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, 179–185.

[89].I. Soroka, Concrete in Hot Environments, CRC Press, 2003.

[90].J.-K. Kim, S.H. Han, Y.C. Song, Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete: part I exp. Results, Cem. Concr. Res. 32 (7) (2002) 1087–1094.

[91]. ACI 305, 1M-14 Specification for Hot Weather Concreting, American Concrete Institute, 2015.

[92] P. Klieger, Effect of mixing and curing temperature on concrete strength, J. Am. Concr. Inst. Proc. 54 (6) (1958) 1063–1081.

ANNEXE A : FICHE TECHNIQUE DU MEDAFLAW 30

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2:TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

Super plastifiant

Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet sans modifier la consistance, de réduire fortement la teneur en eau du béton.

Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet de retard de prise.

DOMAINES D'APPLICATION

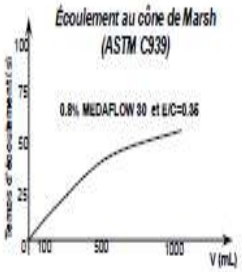
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferraillés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

PROPRIÉTÉS

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 oeuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

NOTICE TECHNIQUE 2119

MEDAFLOW 30

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** ne doit pas être ajouté directement dans l'eau de gâchage, mais après un temps préalable de malaxage et après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait été ajoutée.

Le MEDAFLOW 30 peut être aussi ajouté directement dans le camion malaxeur (toupie), et après introduction de la dose convenable, le malaxeur devra tourner à grande vitesse pendant 2 à 3 minutes après l'introduction du superplastifiant ;

Il est conseillé d'ajouter le MEDAFLOW 30 à un béton qui ne soit pas trop ferme

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubiténaire 1100kg.

Délai de conservation :
Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).
Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.
Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : **www.granitex-dz.com**

NB : La couleur des produits à base de Polycarboxylates d'Ether (PCE) lors d'une exposition aux UV, est sujette à changer de ton , mais qui n' a aucune incidence sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

ANNEXE B : EXEMPLE DE CALCUL DE LA COMPOSITION DU BETON

Les mêmes démarches de la composition du mortier (Annexe A) sont suivies pour la composition du béton autoplaçant.

B.1. Les Données

Pour un volume de béton de V=20 litres (par exemple)

- Les masses volumiques :
  - Masse volumique apparente du gravier : ρ_G =1335 kg/m^3
  - Masse volumique absolue du gravier : ρ_{AG} = 2660 kg/m^3
  - Masse volumique absolue du sable : ρ_S = 2620 kg/m^3
  - Masse volumique absolue du ciment : ρ_C =3150 kg/m^3
- Les coefficients d'absorption :
  - Coefficient d'absorption du sable : Ab_S = 1.2%
  - Coefficient d'absorption du gravier : Ab_G = 1%
- Le rapport Sable/Mortier : *S/M* = 0.50
- Le pourcentage du gravier est de 50% de sa densité apparente donc son dosage sera de :

$$G(\text{kg/m}^3) = \frac{\rho_G \times 50}{100}$$

- Le volume d'air dans le béton en pourcentage : *A*=1% du volume du béton
- Le rapport Eau/Ciment est de E/C_{volume}=1.288 par unité de volume de ciment et $E/C_{poids} = E/C_{volume} / \rho_A = 0.42$ par unité de poids de ciment.
- Le pourcentage de superplastifiant (MEDAFLOW 145) : *%Sp*= 1,6% du poids de ciment, il est de 40% d'extrait (donc il contient 60% d'eau).

B.2. Calcul d'humidité

Comme on doit calculer l'humidité du sable pour la composition du mortier, dans la composition du béton on doit calculer l'humidité du sable et du gravier aussi pour apporter les corrections nécessaires à la formulation.

On prend un échantillon de sable de masse M_1 et un échantillon de gravier de masse M'_1 et on les met dans l'étuve réglée à 105°C pour une durée de 6 minutes pour le gravier et une durée

de 8 minutes pour le sable, puis on pèse M_2 et M'_2 les masses respectives du gravier et du sable.

L'humidité du sable : $$\mu_S = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

L'humidité du gravier : $$\mu_G = \frac{M'_1 - M'_2}{M'_2} \times 100$$

B.3. Calcul des différents composants

B.3.1. Gravier

La quantité *G* en kg du gravier nécessaire pour un volume de béton *V* :

$$G(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

B.3.2. Sable

Pour calculer la quantité du sable dans le béton on calcule avant tout le pourcentage du gravier dans le béton (%G), le pourcentage du mortier par rapport au béton (%M) puis le pourcentage du sable dans le béton (%S) pour arriver à la quantité du sable dans un volume V de béton (S) :

Le pourcentage du gravier *G* dans le béton :

$$\%G = \frac{G(kg/m^3)}{\rho_{AG} \times 10}$$

Le pourcentage du volume de mortier *M* par rapport au volume de béton :

$$\%M = 100 - \%G - \%A$$

Le pourcentage du sable *S* dans le béton :

$$\%S = \frac{\%M \times S/M}{100}$$

Quantité du sable *S* en (kg) pour un volume V de béton :

$$S(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

D’où on peut obtenir le rapport G/S de notre composition.

B.3.3. Ciment

Pourcentage de volume pâte dans le béton (%P) :

$$\%P = \%M - \%S$$

Pourcentage de ciment dans le béton (%C) :

$$\%C = \frac{1}{1 + E / C_{volume}} \times \%P$$

La quantité de ciment C en (kg) pour un volume V de béton :

$$C(kg) = \%C \times \rho_C \times 10 \times \frac{V}{1000}$$

B.3.4. Superplastifiant

Le dosage en superplastifiant par mètre cube de béton *Sp* (kg/m^3)

$$Sp(kg/m^3) = \frac{\%Sp}{100} \times \%C \times \rho_C \times 10$$

La quantité de superplastifiant Sp en (kg) pour un volume V de béton :

$$Sp(kg) = Sp(kg/m^3) \times V$$

B.3.5. Eau

L’eau ajoutée au béton (*E*) est divisée en deux partie : la première partie (E_1) est de 70% de (*E*) elle est ajoutée durant la première minute de malaxage et la deuxième partie (E_2), elle de 30% de (*E*) est ajoutée au superplastifiant est l’ensemble est ajouté au mélange du béton durant la deuxième minute de malaxage.

Le pourcentage d’eau dans le béton (%E) :

$$\%E = \frac{E / C_{volume}}{1 + E / C_{volume}} \times \%P$$

Calcul de l’eau contenue dans le sable, dans le gravier et dans le superplastifiant, cette eau (e) doit être extraite :

L’eau contenue dans le sable : e_1

$$e_1(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(\frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

L'eau contenue dans le gravier : e_2

$$e_2(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(\frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

L'eau contenue dans le superplastifiant : e_3

$$e_3 = \frac{Sp(kg) \times 80}{100}$$

L'eau à extraire e : $e = e_1 + e_2 + e_3$

D'où la quantité d'eau globale E en (kg) pour un volume Vde béton :

$$E(kg) = \frac{\%E \times 10 \times V}{1000} - e$$

Avec :

Eau1 $E_1(kg) = 0.60 \times E$

Eau2 $E_2(kg) = 0.40 \times E$