

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE



**UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA -1-**  
**Faculté de technologie**  
Département de Génie Civil  
Laboratoire de géomatériaux et génie civil



Option : **Matériaux de Génie Civil**

## **MEMOIRE DE MASTER**

**THÈME**

**PERFORMANCE DU BETON A BASE DE DECHETS PLASTIQUES**

**Par**

**M<sup>elle</sup> BOUZIDI RATIBA**

**M<sup>elle</sup> BOUDINAR FATMA**

**Devant le jury composé de :**

<b>MENADI.B</b>	<b>Prof</b>	<b>USDB.1</b>	<b>Président</b>
<b>DEBBIH.A</b>	<b>MAA</b>	<b>USDB.1</b>	<b>Examineur</b>
<b>YAHIAOUI.W</b>	<b>MCB</b>	<b>USDB.1</b>	<b>Promoteur</b>
<b>KENAI.S</b>	<b>Prof</b>	<b>USDB.1</b>	<b>Co-promoteur</b>

**Blida, octobre 2020**

## شكر وتقدير

الحمد لله الذي بفضلته وتقديره تتم الصالحات، نشكره جل جلاله على توفيقه لنا لإتمام هذه الأطروحة

"وقل اعملوا فسيرى الله عملكم ورسوله والمؤمنون"

إلى كل من يعطي لهذه الأمة أكثر مما يأخذ منها... إلى كل الحالمين بغد مشرق لأمتنا العربية والإسلامية

إلى جزائرتنا الحبيبة

إلى أمتنا الإسلامية من طنجة إلى جاكارتا

إلى كل من علمنا أن الحياة معركة المنتصر فيها من كان سلاحه العلم والمعرفة

هذا العمل هو ثمرة جهود تضافرت عليها أنامل كثيرة...لم يقصروا ولو مثقال حبة خردل...بذلوا الغالي والنفيس

من أجل مساعدتنا حتى صاروا أحق بالشهادة منا... لكم منا جزيل الشكر والعرفان

إلى قدوتنا في الحياة...منبع الصبر...إلى من نصحه محفور في الذاكرة كرجع الصدى

إلى كل أب

إلى من تدعو وتتورع أن عن طريقنا كل مكارب الدنيا تنزع

إلى كل أم

كل التقدير

## Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de nos recherches et qui nous ont aidé lors de la rédaction de ce mémoire.

Nous voudrions dans un premier temps remercier, notre promoteur de mémoire Dr. YAHIAOUI. W, et notre Co-promoteur Pr. KENAI.S pour l'aide compétente qu'ils nous ont apporté, pour leurs patiences et leurs encouragements, leur œil critique nous a été très précieux pour structurer le travail et pour améliorer la qualité des différents chapitres, tout en nous accordant leur confiance et une large indépendance dans l'exécution de missions valorisantes.

Nous remercions également toute l'équipe EPWG CET BLIDA et spécialement à l'ingénieur *M<sup>me</sup>*. KHERBACHE.H et aussi les intervenants professionnels du CTPP -Kouba en particulier *M<sup>me</sup>*. ATIQUE responsable de notre formation.

Nous désirons exprimer notre reconnaissance envers tous les chercheurs et spécialistes du centre de recherche CNERIB-Souidania, trop nombreux pour les citer, qui ont pris le temps de discuter de notre sujet. Chacun de ces échanges nous ont aidés à faire avancer nos recherches principalement :

Mr. BENNA.Y chef de laboratoire pour nous avoir accordé cette expérience et la liberté d'utiliser tous les matériaux et les matériels du laboratoire qui nous a facilité le travail.

Mr. HADJ CHERIF et Mr. KACI pour son aide, ses conseils qui nous ont été précieux.

Mr. El Ghazali pour sa disponibilité et ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter notre réflexion, il a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu et avoir répondu à nos questions, il a été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce mémoire.

Mr. BEN DAOUED.M, Mr. RAHMOUNI.K, Mr. DJAOUT.O, Mr. GUENAIZI.M, Mr. AGUON.N, MEZIAN.M Et Mr. BOUDIAF.M Pour leurs aides dans le travail au laboratoire.

Un grand merci envers nos familles, les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de notre démarche.

## **Dédicace**

Je dédie cet humble travail,

À mes chers parents, c'est grâce à eux que je suis aujourd'hui ici présent, que m'ont aidé à terminer ce modeste travail.

À mes grands-mères et à l'âme de mon grand père

À mes très chère Doria, Houria, Djeloul, Abd El Kader, Djilali.

À mon très chère frère Mohamed et mes merveilleuses sœurs

À toute mes amis

À toute la famille Kechar et Tiabi, Boudinar

À mon binôme Bouzidi ratiba

À tous les enseignants et les étudiants du département de génie civil

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

**BOUDINAR FATMA**

## **Dédicace**

Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail à ceux qui, quel que soient les embrasses, je n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour sincère

A l'homme, mon précieux offre de dieux, qui dois ma vie, ma réussite et tout mon respect : mon cher père BOUZIDI BENALIA.

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais dit non à mes exigences et qui n'a pas épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère NADJIA ZAHRA.

A Mes chers frères et mes belles sœurs et mes neveux qui n'ont pas cessées de me conseiller encourager et soutenir tout au long de mes études. Que dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

A toute la famille BOUZIDI et ZAHRA, surtout à mon oncle AZZEDINE ZAHRA qui m'a beaucoup aidée sur mon Projet.

A mes chères cousines ZAHRA FERIEL, ZAHRA HIBA, ZAHRA MARWA, BOUZIDI CELIA, BOUZIDI SARAH.

A : LAIDI AHLEM, ASMA, SARAH, MERIAM, HOCINE IMANE qui sont des amis formidables.

Merci pour leur amour et leur encouragement.

Sans oublier mon binôme BOUDINAR FATMA pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce projet.

**BOUZIDI RATIBA**

# Table des matières

REMERCIEMENTS .....	2
ABSTRACT .....	9
RESUME.....	11
LIS TE DES TABLEAUX.....	12
LIS TE DES FIGURES .....	13
NOTATIONS ET SYMBOLES .....	16
<b><u>INTRODUCTION GENERALE</u></b> .....	<b>18</b>
<b><u>CHAPITRE I : SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES : RECYCLAGE DES DECHETS EN GENIE CIVIL</u></b> .....	<b>23</b>
<b>I.1 INTRODUCTION</b> .....	<b>23</b>
<b>I.2 DEFINITION, TYPES ET ORIGINE DES DECHETS</b> .....	<b>23</b>
<b>I.3 VALORISATION DES DECHETS</b> .....	<b>25</b>
<b>I.4 DIFFERENTS DECHETS VALORISABLES EN GENIE CIVIL</b> .....	<b>26</b>
A. PNEUS USAGES.....	26
B. DECHETS DES CHANTIERS DE BTP (BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS) .....	27
C. LAITIERS DES HAUTS FOURNEAUX .....	27
D. SOUS-PRODUITS PROVENANT DES CENTRALES THERMIQUES .....	29
E. VERRE DE RECUPERATION.....	29
<b>I.5 IMPORTANCE DU RECYCLAGE POUR L'ENVIRONNEMENT</b> .....	<b>30</b>
<b><u>CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE : RECYCLAGE DU PLASTIQUE</u></b> .....	<b>32</b>
<b>II.1 LE MATERIAU PLASTIQUE</b> .....	<b>32</b>
<b>II.2 COMPOSITION CHIMIQUE DES PLASTIQUES</b> .....	<b>33</b>
<b>II.3 TYPES DE MATIERE PLASTIQUE</b> .....	<b>34</b>
A. LES THERMOPLASTIQUES.....	34
B. LES THERMODURCISSABLES .....	34
C. LES ELASTOMERES.....	34
<b>II.4 PROPRIETES DES MATIERES PLASTIQUES</b> .....	<b>35</b>
MASSE SPECIFIQUE.....	35
LA RESISTANCE MECANIQUE.....	35
LA TRANSPARENCE.....	35
L'INALTERABILITE.....	35
L'ESTHETIQUE.....	35
L'ISOLATION.....	35
L'IMPERMEABILITE.....	35
PROPRIETE CHIMIQUES .....	35
PROPRIETE THERMIQUES.....	35
L'ALLONGEMENT .....	35
LA DILATATION.....	35
LE RETRAIT.....	36
ÉCOULEMENT VISQUEUX.....	36
<b>II.5 LES DECHETS PLASTIQUES</b> .....	<b>36</b>
<b>II.6 LE RECYCLAGE DES DECHETS PLASTIQUES (PET)</b> .....	<b>38</b>
<b>II.7 GESTION DE DECHET PLASTIQUE (PET) : CAS DU CET GUEROUAOU</b> .....	<b>40</b>
<b>II.8 BETON A BASE DE DECHETS PLASTIQUE</b> .....	<b>46</b>
A. AFFAISSEMENT .....	47
B. TEMPS D'ÉCOULEMENT .....	49
C. DENSITE.....	50
D. RESISTANCE A LA COMPRESSION .....	50

E. RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION.....	57
F. RETRAIT .....	60
G. VITESSE ULTRASONIQUE.....	61
H. ABSORPTION D'EAU.....	61
<b>II.9 CONCLUSIONS.....</b>	<b>63</b>

## **CHAPITRE III : MATERIAUX ET ESSAIS..... 65**

<b>III.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>65</b>
<b>III.2 CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS.....</b>	<b>65</b>
III.2.1 CIMENT (LIANT HYDRAULIQUE).....	65
III.2.2 LES GRANULATS.....	67
III.2.3 EAU DE GACHAGE.....	68
III.2.4 GRANULATS DE DECHETS PLASTIQUES.....	68
III.2.5 LES ADJUVANTS.....	70
<b>III.3. ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS .....</b>	<b>70</b>
<b>III.4 FORME DES GRAVILLONS ‘COEFFICIENT D’APLATISSEMENT’ .....</b>	<b>76</b>
<b>III.6 CARACTERISATION DU SABLE.....</b>	<b>77</b>
MODULE DE FINESSE .....	77
TENEUR EN EAU DES SABLES .....	79
TENEUR EN FINE DES SABLES .....	79
ÉQUIVALENT DE SABLE.....	79
<b>III.7 : PROPRIETES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES GRANULATS .....</b>	<b>80</b>
ESSAI LOS-ANGELES .....	80
ESSAI DE MICRO-DEVAL .....	81
MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE REELLE ET L'ABSORPTION D'EAU .....	81
MESURE DES MASSES VOLUMIQUES ABSOLUES ET APPARENTE.....	82
<b>III.8 FORMULATION DE BETON .....</b>	<b>83</b>
<b>III.9 TECHNIQUES EXPERIMENTALES .....</b>	<b>86</b>
MISE EN ŒUVRE .....	86
ESSAIS SUR BETON FRAIS.....	86
<i>B. L'AIR OCCLUS.....</i>	<i>88</i>
ESSAI SUR BETON DURCI.....	91
<b>III.10. CONCLUSION.....</b>	<b>100</b>

## **CHAPITRE IV : RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES ..... 102**

<b>IV.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>102</b>
<b>IV.2 L'ETAT FRAIS .....</b>	<b>102</b>
IV.2.1 L'OUVRABILITE.....	102
IV.2.2 L'AIR OCCLUS.....	104
IV.2.3 DENSITE.....	105
<b>IV.3 L'ETAT DURCI.....</b>	<b>107</b>
IV.3.1 LA MASSE VOLUMIQUE.....	107
IV.3.2 ESSAI ULTRASONIQUE.....	108
IV.3.3 ESSAI DE SCLEROMETRE.....	109
IV.3.4 LA RESISTANCE A LA COMPRESSION .....	111
IV.3.5 LA RESISTANCE A LA TRACTION PAR FLEXION .....	112
IV.3.6 L'ABSORPTION D'EAU .....	114
IV.3.7 LA POROSITE.....	116
<b>IV.4 CONCLUSION .....</b>	<b>118</b>

## **CONCLUSIONS ..... 120**

## **RECOMMANDATIONS..... 121**

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE..... 122**

**ANNEXE..... 127**

## المخلص

تعد رسكلة النفايات في الهندسة المدنية قطاعًا مهمًا كونها تؤثر على مجالين مهمين للغاية، وهما المجال البيئي والمجال الاقتصادي.

تعتبر النفايات البلاستيكية من أكبر النفايات التي استحوذت على العالم بطرق مخيفة في السنوات الأخيرة. لذلك يتم استخدام العديد من النفايات في مجال البناء وخاصة في الخرسانة أو الإسمنت كمسحوق أو ألياف أو ركام، والغرض منها هو استعادة النفايات البلاستيكية الضارة بالبيئة نظرًا لطبيعتها الضخمة والقيحية.

يهدف عملنا إلى المساهمة في الحد من التلوث البيئي من جهة ودراسة تأثير النفايات البلاستيكية المعاد تدويرها على سلوك الخرسانة من جهة أخرى في الحالة الطازجة والمتصلبة.

تمت إضافة نوعين من المخلفات البلاستيكية إلى الخرسانة، وهما: استبدال حبيبات الحصى بالركام البلاستيكي وإضافة ألياف بلاستيكية حسب كتلة الإسمنت.

يتم تحليل الخواص في الحالة الطازجة (قابلية التشغيل، الهواء المحبوس والكثافة) وفي الحالة المتصلبة (مقاومة الضغط، الجر، المسامية وامتصاص الماء) لمختلف أنواع الخرسانة المنتجة ومقارنتها مع عناصر التحكم الخاصة بهم.

من النتائج التجريبية يمكن الاستنتاج أن إضافة هذه الأنواع المختلفة من النفايات البلاستيكية يؤدي إلى زيادة مقاومة الانضغاط وقوة شد الالتواء، ويقلل بشكل ملحوظ من امتصاص الماء.

## **Abstract**

Plastic is a versatile, inexpensive, durable and easily transformable organic material that is used in a wide range of products. Nowadays, many traditional materials (glass, metals, stone ceramics, wood and leather) have been replaced by plastics.

From 1950, the universal production of plastics continued to increase. It reached a performance level of 320 million tons in 2015, consuming around 8% of world oil production [Consoglobe]. According to the UN report, humans produced 9 billion tons of plastic, from 1950 to 2015. If nothing changes, there will be around 12 billion tons of plastic waste in landfills and the environment by 2050.

As the use and production of plastic items continue to increase, the disposal of plastic waste becomes a critical issue. Currently, plastic waste is either buried in landfills or burned, causing the emission of harmful gases to the environment.

In Algeria, as in many countries of the world, the accumulation of plastic waste is increasing and occupies a large part with barely 10% recycling rate. Plastic recycling efforts should be done in Algeria. The Ministry of the Environment had set in 2016 that it will have a recycling rate of 40% of the solid waste produced annually (approximately 23 million tons).

Plastic waste management centers have been created such as the waste management service in Guerouaou (EPWG), and the CET Blida for the recycling of plastic bottles (PET).

Plastic waste can be reused as a raw material for plastic production and can also be used as fibers or aggregates in the concrete in order to reduce the consumption of natural aggregates, reduce cost, and / or reduce the risk of cracking and increase its ductility.

In this thesis, we aim to recover plastic waste as a partial substitution of large natural aggregates in the concrete. The property of natural aggregates and waste plastics such as density, water absorption and particle size are analyzed. The performance of the concrete made from plastic aggregates in the fresh and cured state is evaluated.

The objective of this study is to make a bibliographical synthesis on the performance of concrete, based on plastic waste in the form of grains and fibers in the fresh and hardened state as well as the realization of preliminary tests.

The bibliographical synthesis and the preliminary experimental study lead us to the following conclusions:

- Recycling plastic waste is necessary to preserve the environment (minimize waste).
- Plastic waste can be recycled as building materials.
- The workability of concrete from waste plastic decreases and the addition of plasticizer are necessary to keep it constant.
- Waste plastic concrete regardless of the form of waste (grains / fibers) results in a well-compacted and less porous concrete.
- The density of plastic waste concrete is lower than that of ordinary concrete due to the low density of plastic compared to concrete aggregate.
- The compressive strength is slightly affected by the incorporation of plastic waste.
- The grains and plastic fibers considerably improve the flexural strength of concrete by limiting cracking and delaying the propagation of cracks.

## Résumé

La valorisation des déchets dans le génie civil est un secteur important dans la mesure où le recyclage des déchets touche deux impacts très importants à savoir l'impact environnementale et l'impact économique. Les déchets en plastique sont l'un des principaux déchets qui ont envahi le monde ces dernières années de manière effrayante. Donc plusieurs déchets sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats dont le but de la valorisation des déchets plastiques qui est nuisible pour l'environnement vu son caractère encombrant et inesthétique.

Notre travail vise à contribuer à la réduction de la pollution environnementale d'une part et à l'étude de l'impact des déchets plastiques recyclés sur le comportement du béton d'autre part à l'état frais et durci. Deux types de déchets plastiques ont été ajoutés au béton à savoir : substitution des grains des graviers avec des agrégats en plastique et l'ajout de fibres plastiques en fonction de la masse de ciment.

Les propriétés à l'état frais (maniabilité, air occlus et densité) et à l'état durci (résistance à la compression, à la traction, porosité et absorption d'eau) des différents bétons réalisés sont analysées et comparés par rapport leurs témoins respectifs.

D'après les résultats expérimentaux on peut conclure que l'ajout de ces différents types des déchets plastiques mène à l'augmentation de la résistance à la compression et à la traction par flexion, et diminue d'une façon remarquable l'absorption d'eau.

## Liste des tableaux

<b>TABLEAU II.1 : EXEMPLES DE COMPOSITION CHIMIQUE DE CERTAINES CATEGORIES DE POLYMERES</b> .....	<b>33</b>
<b>TABLEAU II.2 : FACTEUR D'EMISSIONS NETTES EN RAISON DE LA COMBUSTION ET DES ECONOMIES D'ENERGIE POUR LES PLASTIQUES RECYCLES PAR RAPPORT AUX PLASTIQUES VIERGES</b> .....	<b>38</b>
<b>TABLEAU II.3 : PROPRIETES DES DIFFERENTS TYPES DES DECHETS PLASTIQUES UTILISES COMME AGREGATS</b> .....	<b>46</b>
<b>TABLEAU III.1 : COMPOSITION CHIMIQUE DU CIMENT</b> .....	<b>66</b>
<b>TABLEAU III.2 : ANALYSE MINERALOGIQUE DU CIMENT</b> .....	<b>66</b>
<b>TABLEAU III.3 : CARACTERISTIQUES MECANIQUE DU CIMENT</b> .....	<b>67</b>
<b>TABLEAU III.4 : PROPRIETES PHYSIQUES DE CIMENT</b> .....	<b>67</b>
<b>TABLEAU III.5 : CARACTERISTIQUES DE L'ADJUVANT</b> .....	<b>70</b>
<b>TABLEAU III.6 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE GROSSIER 0/4 (BAGHLIA)</b> .....	<b>71</b>
<b>TABLEAU III.7 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAVILLON 0/4 (BOUGHEZOUL)</b> .....	<b>71</b>
<b>TABLEAU III.8 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAVILLON 3/8</b> .....	<b>72</b>
<b>TABLEAU III.9 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAVILLON 8/16</b> .....	<b>72</b>
<b>TABLEAU III.10 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAIN PLASTIQUE</b> .....	<b>73</b>
<b>TABLEAU III.11 : EXIGENCES RELATIVES AUX GRANULARITES APPLICABLES AUX SABLES (0/4)</b> .....	<b>75</b>
<b>TABLEAU III.12 : EXIGENCES RELATIVES AUX GRANULARITES APPLICABLES AUX SABLES (0/3)</b> .....	<b>75</b>
<b>TABLEAU III.13 : EXIGENCES RELATIVES AUX GRANULARITES APPLICABLES AUX GRAVILLONS (3/8 &amp; 8/16)</b> .....	<b>75</b>
<b>TABLEAU III.14 : EXIGENCES RELATIVES AUX GRANULARITES APPLICABLES AUX GRAINS PLASTIQUES</b> .....	<b>76</b>
<b>TABLEAU III.15 : CLASSE GRANULAIRE REELLE DES GRAVILLONS</b> .....	<b>76</b>
<b>TABLEAU III.16 : COEFFICIENTS D'APLATISSEMENT DES GRAVILLONS</b> .....	<b>76</b>
<b>TABLEAU III.17 : GROSSEUR OU FINESSE DES SABLES MEASUREE A PARTIR DU MODULE DE FINESSE</b> .....	<b>77</b>
<b>TABLEAU III.18 : LE MODULE DE FINESSE DES SABLES</b> .....	<b>77</b>
<b>TABLEAU III.19 : LES TAMISATS CUMULES DE SABLE CORRIGE</b> .....	<b>78</b>
<b>TABLEAU III.20 : RESULTATS D'ESSAI EVALUATION DES FINES - EQUIVALENT DE SABLE</b> .....	<b>80</b>
<b>TABLEAU III.21 : CLASSEMENT LA NATURE DU GRAVIER</b> .....	<b>80</b>
<b>TABLEAU III.22 : CATEGORIE DES GRAVIERS</b> .....	<b>81</b>
<b>TABLEAU III.23 : MASSES VOLUMIQUES REELLES ET ABSORPTION D'EAU DES GRANULATS</b> .....	<b>82</b>
<b>TABLEAU III.24 : LES RESULTATS DE MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE ET APPARENTE</b> .....	<b>83</b>
<b>TABLEAU III.25 : L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SABLES CORRIGE ET DES GRAVILLONS</b> .....	<b>83</b>
<b>TABLEAU III.26 : PROPORTION DE MELANGE DU BETON (KG/M<sup>3</sup>) (ANNEX 6)</b> .....	<b>85</b>
<b>TABLEAU III.27 : COMPOSITION DES BETONS POUR 1 M<sup>3</sup></b> .....	<b>85</b>
<b>TABLEAU III.28 : LES ESSAIS DE CARACTERISATION SUR BETON FRAIS</b> .....	<b>87</b>
<b>TABLEAU III.29 : LES ESSAIS DE CARACTERISATION SUR BETON DURCI</b> .....	<b>91</b>
<b>TABLEAU IV.1 : LES RESULTATS D'ABSORPTION D'EAU</b> .....	<b>114</b>

## Liste des figures

FIGURE I1 : DECHETS MENAGERS ET ASSIMILES .....	24
FIGURE I2 : DECHETS NON DANGEREUX .....	24
FIGURE I3 : DECHETS DANGEREUX.....	24
FIGURE I4 : DECHETS INERTES .....	24
FIGURE I5 : PNEUS USAGES ET DECHETS PLASTIQUES .....	26
FIGURE I6 : DECHETS DES CHANTIERS DEBTP .....	27
FIGURE I7 : LAITIER DEHAUT-FOURNEAU CRISTALLISE.....	28
FIGURE I8 : LAITIER DEHAUT-FOURNEAU VITRIFIE (GRANULE OU BOULETE).....	28
FIGURE I9 : LAITIER D'ACIERIEDE CONVERSION.....	29
FIGURE II.1 : MATIERE PLASTIQUESOUS DIFFERENTES FORMES .....	32
FIGURE II.2 : LE MARCHEEUROPEN DES MATIERES PLASTIQUES EN 2012 EN FONCTION DE L'APPLICATION ET DU TYPE DE POLYMERE.....	37
FIGURE II.3 : SERVICE DE GESTION DES DECHETS A GUEROUAOU EPWG CET BLIDA.....	40
FIGURE II.4 : L'ESPACE DE STOCKAGEDES DECHETS PLASTIQUES PET EN L'ENTREPRISE EPWG.....	41
FIGURE II.5 : CONVOYEUR DEMACHINEDE RECYCLAGE EN EPWG.....	42
FIGURE II.6 : BROYEUR DE MACHINEDE RECYCLAGE EN EPWG.....	42
FIGURE II.7 : VIS ALIMENTATION DE MACHINEDE RECYCLAGE EN EPWG.....	43
FIGURE II.8 : RESERVOIR DE LAVAGEDE DECHET PLASTIQUE EN EPWG.....	43
FIGURE II.9 : MELANGEUR MACHINEDE LAVAGEDE DECHETS PLASTIQUE EN EPWG.....	44
FIGURE II.10 : MACHINE DE SECHAGEDE DECHET PLASTIQUE EN EPWG.....	44
FIGURE II.11 : STOCKAGEDE DECHET PLASTIQUE ET LEUR FORME APRES LERECYCLAGE.....	45
FIGURE II.12 : AFFAISSEMENT DE BETON A BASEDES DECHETS DE GRAINS PLASTIQUES.....	47
FIGURE II.13 : AFFAISSEMENT DE BETON A BASEDES DECHETS DE FIBRE PLASTIQUES.....	48
FIGURE II.14 : TEMPS D'ECOULEMENT DE BETON REALISE AVEC DES DECHETS PLASTIQUES.....	49
FIGURE II.15 : DENSITE DE BETON REALISE AVEC DES DECHETS PLASTIQUES.....	50
FIGURE II.16 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGE D'AJOUTDES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LEBETON .....	52
FIGURE II.17 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGEDES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LEBETON AVEC DIFFERENTES VALEURS DE (E/C) .....	53
FIGURE II.18 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGEDES FIBRES DES PLASTIQUES DANS LEBETON .....	55
FIGURE II.19 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGEDE POUVRE DES PLASTIQUES DANS LEBETON .....	56
FIGURE II.20 : RESISTANCE A LA TRACTION EN FONCTION DU POURCENTAGEDES FIBRES DES PLASTIQUES DANS LEBETON .....	57
FIGURE II.21 : RESISTANCE A LA TRACTION EN FONCTION DU POURCENTAGEDES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LEBETON.....	58
FIGURE II.22 : RESISTANCE A LA FLEXION EN FONCTION DU POURCENTAGEDES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LE BETON AVEC DIFFERENTES VALEURS DE (E/C).....	59
FIGURE II.23 : RESISTANCE A LA FLEXION EN FONCTION DU POURCENTAGEDE POUVRE DES PLASTIQUES DANS LEBETON .....	59
FIGURE II.24 : RETRAIT DES BETONS EN FONCTION DU POURCENTAGEDES DECHETS DES PLASTIQUES.....	60
FIGURE II.25 : VITESSE ULTRASONIQUEDEBETON REALISE AVEC DES DECHETS PLASTIQUES.....	61
FIGURE II.26 : ABSORPTION D'EAU POUR BETON DEDECHETS DE GRAINS PLASTIQUES .....	62
FIGURE II.27 : ABSORPTION D'EAU POUR BETON DE FIBRES PLASTIQUES.....	62
FIGURE III.1 : CIMENT MATINE.....	65
FIGURE III.2 : GRAVIER 3/8.....	68
FIGURE III.3 : GRAVIER 8/16.....	68
FIGURE III.4 : SABLE FINS DE BOUGHEZOU.....	68
FIGURE III.5 : SABLE GROSSIER DE BAGHLIA.....	68
FIGURE III.6 : DECHETS DES GRAINS PLASTIQUES .....	69
FIGURE III.7 : DECHETS DES FIBRES PLASTIQUES.....	69
FIGURE III.8 : PLASTIFIANT NOVA PLAST WR150.....	70
FIGURE III.9 : COURBES GRANULOMETRIQUES DU SABLE GROSSIER 0/4 (BAGHLIA) & SABLE FIN 0/3 (BOUGHEZOU).....	73
FIGURE III.10 : COURBES GRANULOMETRIQUES DU GRAVILLON 3/8 & GRAVILLON 8/16.....	74
FIGURE III.11 : COURBE GRANULOMETRIQUE DE GRAINS PLASTIQUES .....	74
FIGURE III.12 : COURBE GRANULOMETRIQUE MELANGEDES SABLES.....	78
FIGURE III.13 : COURBE GRANULOMETRIQUEDES SABLES CORRIGE ET DES GRAVILLONS.....	84
FIGURE III.14 : COURBE DE REFERENCE.....	84
FIGURE III.15 : MALAXAGE DE BETON .....	86

FIGURE III.16 : L'ESSAI D'AFFAISSEMENT AU CONE D'ABRAHAM	87
FIGURE III.18 : REALISATION D'ESSAI (AIR OCCLU)	88
FIGURE III.17 : L'AEROMETRE	88
FIGURE III.19 : MESURE DES MASSES (M1, M2)	89
FIGURE III.20 : CONFECTION DES EPROUVETTES	90
FIGURE III.21 : CONSERVATION DANS L'EAU	90
FIGURE III.22 : LA MASSE VOLUMIQUE DE BETON	92
FIGURE III.23 : ULTRASON	93
FIGURE III.24 : L'ESSAI D'ULTRASONIQUE	93
FIGURE III.25 : SCLEROMETRE	94
FIGURE III.26 : LES VALEURS DE COMPRESSION EN FONCTION DE LA DISTANCE INDIQUEE AU SCLEROMETRE	94
FIGURE III.27 : MACHINE DE COMPRESSION	95
FIGURE III.28 : L'ESSAI DE COMPRESSION	95
FIGURE III.29 : MACHINE DE TRACTION PAR FLEXION	96
FIGURE III.30 : ESSAI DE TRACTION PAR FLEXION	97
FIGURE III.31 : L'ESSAI D'ABSORPTION D'EAU	97
FIGURE III.32 : POROSITE DE BETON	98
FIGURE IV.1 : EFFET DU DECHET GRAINS PLASTIQUES SUR L'AFFAISSEMENT	102
FIGURE IV.2 : EFFET DU DECHET FIBRES PLASTIQUES SUR L'AFFAISSEMENT	103
FIGURE IV.3 : AIR OCCLU DES BETONS DE DECHET DES GRAINS PLASTIQUES	104
FIGURE IV.4 : AIR OCCLU DES BETONS DE DECHET DES FIBRES PLASTIQUES	104
FIGURE IV.5 : DENSITE DU BETON DES DECHETS DE GRAINS PLASTIQUES	105
FIGURE IV.6 : DENSITE DE BETON DES DECHETS DE FIBRE PLASTIQUES	106
FIGURE IV.7 : MASSE VOLUMIQUE DE BETON A BASE DE DECHETS GRAINS PLASTIQUES	107
FIGURE IV.8 : MASSE VOLUMIQUE DE BETON A BASE DE DECHETS PLASTIQUES	107
FIGURE IV.9 : VITESSE ULTRASONIQUE DU BETON DE DECHETS GRAINS PLASTIQUES	108
FIGURE IV.10 : VITESSE ULTRASONIQUE DU BETON DE FIBRES PLASTIQUES	109
FIGURE IV.11 : INDICE SCLEROMETRIQUE DU BETON DES DECHETS GRAINS PLASTIQUES	110
FIGURE IV.12 : INDICE SCLEROMETRIQUE DU BETON DES DECHETS FIBRES PLASTIQUES	110
FIGURE IV.13 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGE D'AJOUT DES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LE BETON	111
FIGURE IV.14 : RESISTANCE A LA COMPRESSION EN FONCTION DU POURCENTAGE DES FIBRES DES PLASTIQUES DANS LE BETON	111
FIGURE IV.15 : RESISTANCE A LA COMPRESSION DE DIFFERENTES DECHETS PLASTIQUES (FIBRE ET GRAIN) MESURE AVEC LA PRESSE DE COMPRESSION OU AVEC SCLEROMETRE	112
FIGURE IV.16 : RESISTANCE A LA FLEXION EN FONCTION DU POURCENTAGE D'AJOUT DES GRAINS DES PLASTIQUES DANS LE BETON	113
FIGURE IV.17 : RESISTANCE A LA FLEXION EN FONCTION DU POURCENTAGE D'AJOUT DES FIBRES DES PLASTIQUES DANS LE BETON	113
FIGURE IV.18 : ABSORPTION D'EAU DU BETON DE DECHETS GRAINS PLASTIQUES	115
FIGURE IV.19 : ABSORPTION D'EAU DU BETON DE FIBRES PLASTIQUES	115
FIGURE IV.20 : LA POROSITE DU BETON DE DECHETS GRAINS PLASTIQUES	116
FIGURE IV.21 : LA POROSITE DU BETON DE DECHETS FIBRES PLASTIQUES	117

## Liste des organigrammes :

<b>ORGANIGRAMME I1 : STRATEGIES DE TRAITEMENT DES DECHETS</b> .....	25
<b>ORGANIGRAMME I2 : VALORISATION DES DECHETS</b> .....	25
<b>ORGANIGRAMME II1 : COMPOSITION DE PLASTIQUE (ORIGINE NATURELLE)</b> .....	32
<b>ORGANIGRAMME II2 : LES TYPE DE PLASTIQUE</b> .....	34
<b>ORGANIGRAMME II3 : LES QUATRE GRANDES METHODES DE RECYCLAGE DES MATERIAUX POLYMERES</b> .....	39
<b>ORGANIGRAMME II4 : RECYCLAGE A DOUBLE FLUX MRF, INSTALLATION DE RECUPERATION DE MATERIAUX</b> .....	41
<b>ORGANIGRAMME II5 : RECYCLAGE DE DECHET PLASTIQUE</b> .....	45
<b>ORGANIGRAMME III1 : LES ESSAIS EXPERIMENTAUX</b> .....	99

## Notations et symboles

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : alumine  
ABS : acrylonitrile butadiène styrène  
ASA : acrylonitrile styrène acrylate  
BT : béton témoin  
BDGP : béton de grain plastique  
BFP : béton fibre plastique  
BFPO : béton fibre plastique ondulé  
BFPR : béton fibre plastique rectiligne  
BPP : béton poudre plastique  
BTP : bâtiment et travaux publics  
CaO libre : oxyde de calcium libre  
Cl<sup>-</sup> : chlore  
°C : degrés Celsius (unités de température)  
CaO : oxyde de calcium  
C<sub>3</sub>S : silicate tricalcique  
C<sub>2</sub>S : silicate bicalcique  
C<sub>3</sub>A : aluminat tricalciques  
C<sub>4</sub>AF : aluminoferrite tétracalcique  
CEM I: Ciment Portland  
CEM II: Ciment Portland composé  
CEM III : Ciment de haut-fourneau  
CEM IV : Ciment pouzzolanique  
CEM V : Ciment aux laitiers et aux cendres  
DIB : déchets industriels banals  
DIS : déchets industriels spéciaux  
DMS : déchets ménagers spéciaux  
3D : trois dimensions  
d : diamètre minimale  
D : diamètre maximale  
E/C : le rapport eau sur ciment  
EPWG.CET : établissement public de wilaya de gestion des centres d'établissement technique  
ES : Équivalent de sable  
F<sub>c28</sub> : la résistance caractéristique demandée à 28 jours  
F<sub>C</sub> : la résistance moyenne visée à 28 jours  
FP : fibre plastique  
FPO : fibre plastique ondulé  
FPR : fibre plastique rectiligne  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : oxyde de fer  
G/S : le rapport gravier sur sable  
G/C : le rapport gravier sur ciment  
GP : grains plastique  
GES : gaz à effet de serre  
HPDE: high-density polyethylene  
H: hauteur  
h: heure  
j: jours  
K<sub>2</sub>O : oxyde de potassium  
LPDE: low-density polyethylene  
MTCO<sub>2</sub>E/T(en anglais) : metric tons of carbon dioxide equivalent  
M<sub>f</sub> : module de finesse  
MgO : oxyde de magnésium  
MRF : matière résiduelle fertilisante  
NaOH : hydroxyde de sodium  
Na<sub>2</sub>O : oxyde de sodium  
NR : Caoutchouc naturel  
PETE : polytéréphtalate d'éthylène  
PE : Polyéthylène  
PEHD : polyéthylène à haute densité  
PEBD : polyéthylène à basse densité

PVC : polymérisation de chlorure de vinyle  
PP : polypropylène  
PS : polystyrène  
PC : Polycarbonate  
PMMA : Polyméthacrylate de méthyle  
POM : Polyacétals ou Polyoxyméthylène  
PA : Polyamides  
PUR : Polyuréthanes  
PLA : l'acide polystique  
PC-BPA : le bisphénol  
PELD : polyéthylène basse densité  
PEHD : polyéthylène haute densité  
PS.E : polystyrène  
PP : poudre plastique  
PCE : perchloroéthylène  
RC : résistance à la compression  
RT : résistance à la traction  
SO3 : trioxyde de soufre  
SiO2 : dioxyde de silicium  
SBR : styrène butadiène  
SAN: styrene acrylonitrile  
UR: urée formaldéhyde  
UV : rayons ultraviolets  
W : unité de watt

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Le plastique est une matière organique polyvalente, peu coûteuse, durable et facilement transformable qui est utilisée dans une vaste gamme de produits. Dans nos jours, plusieurs matériaux traditionnels (le verre, les métaux, la pierre, la céramique, le bois et le cuir) sont été remplacé par les plastiques.

À partir de 1950, la production universelle de plastique n'a cessé d'augmenter. Elle a atteint un niveau de performance de 320 millions de tonnes en 2015, consommant 8% environ de la production mondiale de pétrole [Consoglobe]. De 1950 à 2015, l'homme a produit 9 milliards de tonnes de plastique, selon un rapport de l'ONU. Si rien ne change, on comptera environ 12 milliards de tonnes de déchets plastiques dans les décharges et l'environnement à l'horizon 2050.

Alors que l'utilisation et la production d'articles en plastique continuent d'augmenter l'élimination du déchet plastique devient un problème critique. Actuellement, les déchets plastiques sont soit enterrer dans les décharges ou brûlées causant l'émission des gaz nocifs pour l'environnement.

En Algérie, comme dans de nombreux pays du monde, l'accumulation de déchets plastiques augmente et occupe une grande partie de Et avec à peine 10% de taux de recyclage, un effort de recyclage de plastique reste à faire en Algérie. Le ministère de l'Environnement s'était fixé qu'il aura un taux de recyclage de 40% en 2016 des déchets solides produits annuellement (environ 23 million de tonnes). Des centres de gestion de déchets plastiques ont été créés comme celui de service de gestion des déchets à Guerouaou (EPWG), CET Blida pour le recyclage des bouteilles en plastique (PET).

Les déchets plastiques peuvent être réutilisé comme matière première de production de plastique et peuvent aussi être utilisé comme fibres ou granulats dans le béton pour réduire la consommation de granulats naturels, réduire le coût, et/ou réduire le risque de fissuration et augmenter sa ductilité.

Dans ce mémoire, nous ciblons à valoriser les déchets plastiques comme substitution partielle des gros granulats naturels dans le béton. Les propriétés des agrégats naturels et de déchets de plastiques comme la masse volumique, l'absorption d'eau et la granulométrie sont analysées. La performance du béton à base de granulats de plastique à l'état frais et durci est évaluée.

Ce mémoire se subdivise en trois chapitres. Dans le chapitre 1, on présente une synthèse bibliographique sur la valorisation des déchets et en particulier la composition, le type, les avantages et inconvénients), le recyclage et la valorisation des déchets dans le domaine de construction. La composition, le type, les caractéristique et les propriétés du matériau plastique ainsi que le béton à base de déchets plastiques et sa performance à l'état frais et durci sont présentées dans le chapitre 2.

Le chapitre 3 présente les caractéristiques des matériaux utilisés et la formulation des bétons à base de déchets plastiques.

Les résultats des essais préliminaires sur le béton à base de granulats de plastiques à l'état frais (ouvrabilité, densité et l'air occlus) et durci (masse volumique, résistance à la compression et à la traction par flexion, Ultrasonique, scléromètre, l'absorption d'eau et porosité) sont présentés dans le chapitre 4. Enfin, des conclusions générales et des recommandations pour des futurs travaux sont proposées.

**CHAPITRE I : SYNTHESSES  
BIBLIOGRAPHIQUES**

**RECYCLAGE DES DECHETS EN  
GENIE CIVIL**

## CHAPITRE I : SYNTHESES BIBLIOGRAPHIQUES : RECYCLAGE DES DECHETS EN GENIE CIVIL

### I.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons la gestion des différents types de déchets et les techniques de traitement ou d'élimination ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine de génie civil.

### I.2 Définition, types et origine des déchets

Le déchet est toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire. La loi française définit les déchets comme : " tout résidu d'un processus de production de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit... que son détenteur destine à l'abandon"[1].

L'origine des déchets peut être biologique, chimique, technologique, économique, écologique ou accidentelle (Figures 1 à 4). La réglementation algérienne comprend trois grandes catégories [2] :

- **Les déchets ménagers et assimilés** : ce sont tous les déchets issus des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres tel que déchets de cuisine, emballages...
- **Les déchets spéciaux** (industriels, agricoles, soins, services...) : ce sont les déchets qui nécessitent un mode spécifique de traitement en raison de leur nature et de leur composition. L'origine de ces déchets est l'activité industrielle, agricole, les soins les services et toutes autres activités. Les déchets spéciaux peuvent être des déchets industriels banals (DIB), des déchets dangereux et des déchets industriels spéciaux (DIS) comme le déchet de mercure, du plomb, constitués de boues de peinture d'hydrocarbures provenant de l'industrie pétrolière, etc... Le dernier type sont les déchets ménagers spéciaux (DMS) qui sont des déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage.
- **Les déchets inertes** : Déchets qui ne subissent aucune modification physique chimique ou biologique importante. Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction comme les bétons les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres et les enrobés bitumeux.



**Figure I. 1 : Déchets ménagers et assimilés [3].**



**Figure I. 2 : Déchets non dangereux [3].**



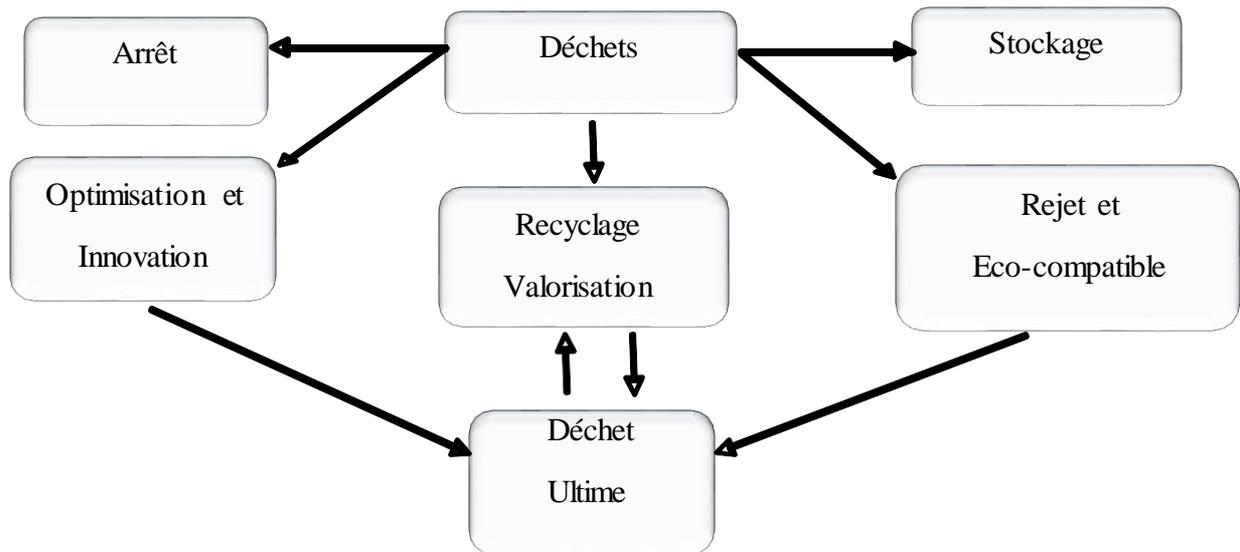
**Figure I. 3 : Déchets dangereux [4].**



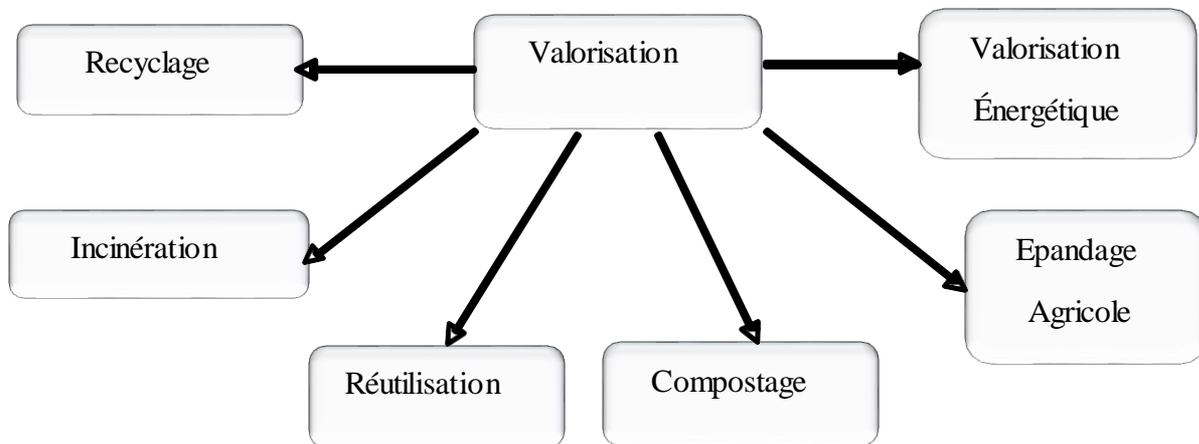
**Figure I. 4 : Déchets inertes [4].**

### I.3 Valorisation des déchets

La stratégie de traitement des déchets est résumée dans l'organigramme I.1. L'élimination des déchets comporte les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération des éléments et matériaux réutilisables ou de l'énergie, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances (Organigramme I.2) [4].



Organigramme I.1 :1 Stratégies de traitement des déchets [55].



Organigramme I.2 : Valorisation des déchets [55].

La valorisation peut se faire comme :

#### *Valorisation matière :*

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet [4].

**Valorisation énergétique :**

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique par incinération par exemple.

**Valorisation chimique :**

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique [4].

### **I.4 Différents déchets valorisables en génie civil**

La valorisation dans le domaine du génie civil peut couvrir plusieurs types de déchets de sources et de qualités différentes [3]:

#### **a. Pneus usagés**

Les pneumatiques usagés constituent un gisement de matières premières secondaires, leur récupération et leur valorisation constituent pour notre pays un impératif économique. Un premier chantier expérimental a été initié par l'utilisation des pneus réformés en tant que soutènement d'un talus de remblai dans un projet routier (contournement de Bou Smail). Les travaux déjà finalisés ont permis de mettre en œuvre 3500 pneus mis à disposition par Michelin Algérie (**Figure 1. 5**).



**Figure I. 5 : Pneus usagés et déchets plastiques [3].**

### **b. Déchets des chantiers de BTP (bâtiment et travaux publics)**

Les déchets de chantiers proviennent de trois sources principales, la démolition la construction et la réhabilitation.

La démolition des ouvrages en béton et l'industrie des matériaux de construction sont toujours accompagnées par des produits secondaires ou des déchets (**Figure I.6**) ; le stockage de tels déchets solides dans des dépôts pollue l'environnement et comme les réserves en granulats sont en cours d'épuisement, 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 être utilisé 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 de 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 [5].



**Figure I. 6 : Déchets des chantiers de BTP [3].**

### **c. Laitiers des hauts fourneaux**

Les laitiers sidérurgiques sont des matières minérales artificielles, qui sont par l'industrie du fer et de l'acier. Ces matériaux sont générés en même temps que la fonte sidérurgique (pour les laitiers de haut-fourneau) ou que l'acier (laitiers d'aciérie), sous forme liquide à une température proche de 1500°C : ce sont des « co-produits » de la sidérurgie.

Si leur génération est nécessaire à la production des aciers, ils ne sont pas destinés à l'abandon au contraire, ils sont transformés, le plus souvent directement sur le site sidérurgique en divers produits finis qui sont utilisés pour la plupart dans l'industrie du bâtiment

ou en travaux publics. Il existe trois grands types de laitiers sidérurgiques : les laitiers de haut-fourneau, les laitiers d'aciérie de conversion et les laitiers d'aciérie électrique.

***Laitier de haut-fourneau cristallisé (Figure I.7) :***

Ses usages sont généralement les mêmes que ceux des roches naturelles des mêmes caractéristiques physico-chimiques : granulats pour bétons, pour enrobés bitumineux, pour graves traitées au liant hydraulique, ballast, etc. Ce matériau présente à la fois une résistance mécanique élevée et une conductivité thermique faible [3].



**Figure I.7 : Laitier de haut-fourneau cristallisé [3].**

***Laitier de haut-fourneau vitrifié (granulé ou bouleté) (Figure I.8) :***

On le retrouve dans la fabrication de béton, en tant qu'addition sous forme moulue en remplacement partiel du ciment. Il se trouve aussi dans la fabrication de graves hydrauliques pour les routes et enfin dans la production de ciment, en remplacement du clinker, dans les catégories CEM II et CEM III (jusqu'à 95%) destinées, en particulier, à la réalisation de bétons en milieux agressifs [5].



**Figure I.8 : Laitier de haut-Fouereau vitrifié (granulé ou bouleté) [5].**

***Laitier d'aciérie de conversion (Figure I.9) :***

En travaux publics, le laitier d'aciérie de conversion est utilisé principalement pour les travaux de terrassement (remblais, merlons de protection phonique, ...), pour la fabrication

de graves non traitées pour la réalisation de couches de forme, ou encore comme enrochement pour la construction de digues [5] .



Figure I.9 : Laitier d'aciérie de conversion [5].

#### d. Sous-produits provenant des centrales thermiques

La combustion du charbon aux fins de la production d'électricité donne plusieurs sous- produits. Dans les centrales électriques anciennes, les résidus de la combustion de la houille sont désignés sous le nom de « mâchefer ». Dans les centrales modernes, Les petites particules sont appelées « cendres volantes ». Certaines des particules de cendres forment des scories qui tombent au fond du four. Dans les fourneaux à température élevée, il se produit également des résidus fondus appelés laitier de charbon [3] .

**Mâchefer** : Il est utilisé principalement pour la fabrication de blocs de béton. Étant donné que le mâchefer contient des sulfates et des chlorures, il n'est pas recommandé pour le béton armé. Ce matériau risque de devenir de plus en plus rare à mesure que les centrales électriques anciennes passent à la combustion de charbon pulvérisé.

**Scories de sole** : Les scories de charbon et le laitier de charbon peuvent être utilisés comme granulats légers pour la fabrication de blocs de béton.

**Cendres volantes** : Puisque ces granulats ont une forme adéquate et une bonne résistance, ainsi qu'une absorption d'eau modérée, ils conviennent à la fabrication de blocs de béton léger.

#### e. Verre de récupération

Le verre est un matériau inorganique produit par fusion, qui a été refroidi dans des conditions qui ont empêché sa cristallisation. Le verre est un solide fragile et généralement transparent préparé par fusion d'un mélange complexe contenant de la silice.

Le verre est utilisé dans le béton comme granulats ou broyés comme substitution au ciment et aux granulats fins.

### **I.5 Importance du recyclage pour l'environnement**

La récupération des déchets réduit l'impact environnemental par la collecte de ces déchets et l'impact économique qui est la valorisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction.

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 l d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois [5].

**CHAPITRE II : SYNTHÈSE  
BIBLIOGRAPHIQUE**

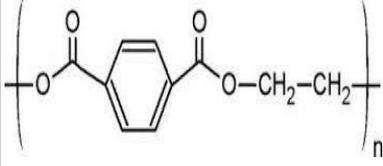
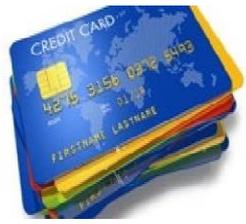
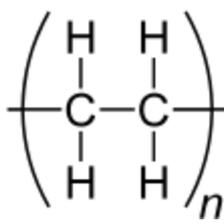
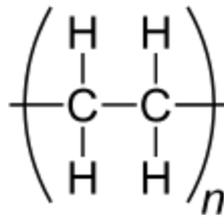
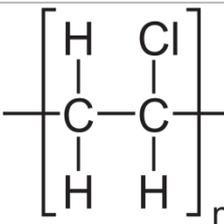
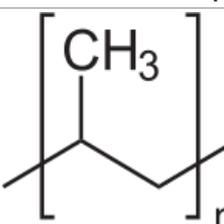
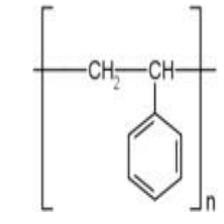
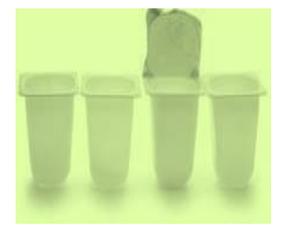
**RECYCLAGE DU PLASTIQUE**



## II.2 Composition chimique des plastiques

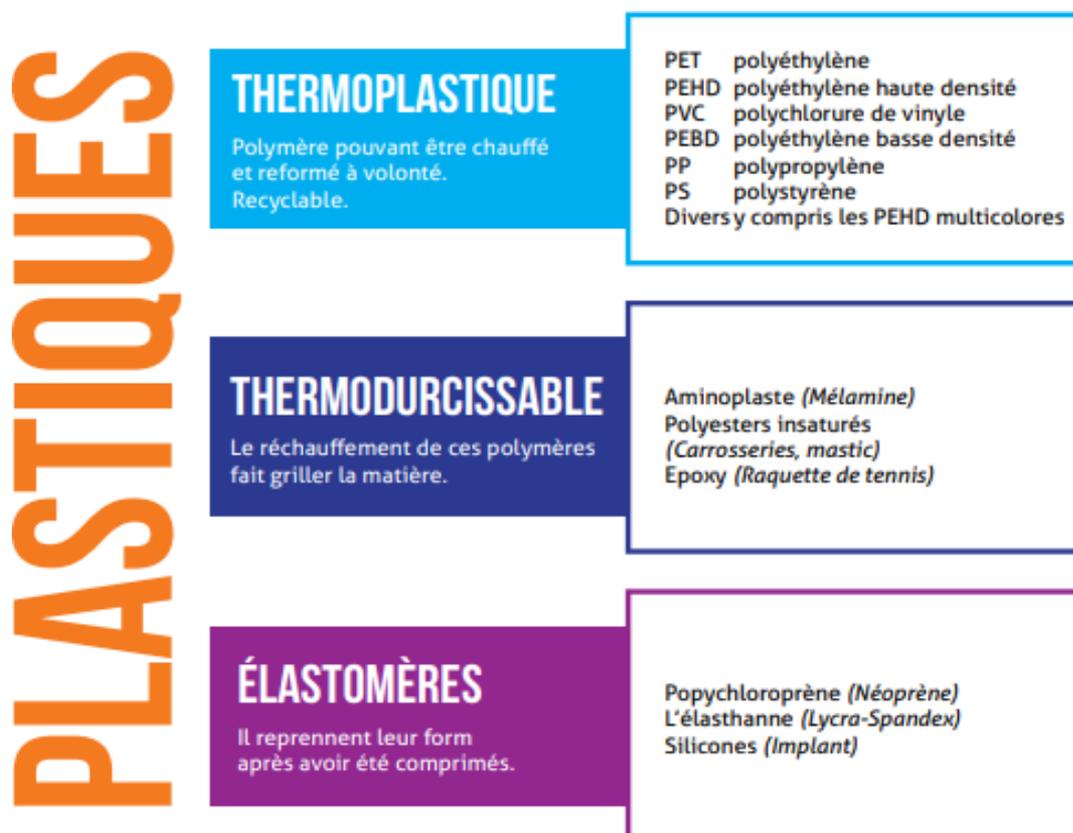
Les différentes compositions chimiques des plastiques et leurs utilisations sont résumés dans le tableau II.1.

**Tableau II.1: Exemples de composition chimique de certaines catégories de polymères [9]- [7].**

Type de plastique	Formule	Utilisations	
PETE (Polytéréphtalate d'éthylène) Polycondensation de l'acide téréphtalique et l'éthylène glycol			
PEHD (Polyéthylène à haute densité) Polymérisation de monomères d'éthylène			
PEBD (Polyéthylène à basse densité) Polymérisation de l'éthylène			
PVC (Polychlorure de vinyle) Polymérisation de chlorure de vinyle			
PP (Polypropylène) Polymérisation du propylène			
PS (Polystyrène) Polymérisation de monomères de styrène			

### II.3 Types de matière Plastique

On peut les diviser en 3 familles : les thermoplastiques, les thermodurcissables et les élastomères (**Organigramme II.2**).



Organigramme II.2 : Les types de plastique [7].

#### a. Les thermoplastiques :

Nous pouvons définir le thermoplastique comme un polymère linéaire ou ramifié pouvant être ramolli par chauffage et durci par refroidissement dans un intervalle de température spécifique [10].

#### b. Les thermodurcissables :

Les chercheurs ont défini le thermodurcissable comme un produit (poudre à mouler solide ou résine liquide) transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble que l'on qualifie de thermodurci [10].

#### c. Les élastomères :

Les élastomères se différencient des thermodurcissables par leur propriété d'élasticité caoutchoutique, c'est-à-dire la capacité à subir de très grandes déformations réversibles sous

l'action de contrainte mécanique [10]. Les élastomères sont caractérisés par leur grande déformabilité (6 à 8 fois leur longueur initiale).

#### **II.4 Propriétés des matières plastiques [11]:**

##### **Masse spécifique :**

La densité de la plupart des matières plastiques est comprise entre 0,9 et 1,8. Le plus souvent 1.

##### **La résistance mécanique :**

Elle est variable suivant la composition chimique les pièces plastiques sont souvent plus résistantes et plus légères que les pièces métalliques assurant les mêmes fonctions. La résistance à la traction varie en moyenne entre 10 et 80 N/mm<sup>2</sup> pour un plastique à l'état massique et entre 200 et 800 N/mm<sup>2</sup> pour un plastique renforcé. A noter que les fils ont une résistance à la traction supérieure aux produits moulés). La résistance à la compression est de 50 à 100 % supérieure à la résistance en traction.

##### **La transparence :**

Certains plastiques ont un coefficient de transmission de la lumière voisin de celle du verre et bon nombre sont transparent ou translucides.

##### **L'inaltérabilité :**

Ils résistent aux agressions extérieures et à de nombreux produits chimiques. Certains demandent une protection contre les ultra-violets.

##### **L'esthétique :**

Les couleurs sont variées et les possibilités de mise en œuvre nombreuses. L'aspect lisse et fini du matériau confère à l'objet une impression "design".

##### **L'isolation :**

Ce sont de bons isolants électriques, thermiques et acoustiques

##### **L'imperméabilité :**

Ils assurent une bonne barrière aux gaz et à l'eau. Ils résistent à la corrosion.

##### **Propriété chimiques :**

Possède une très bonne stabilité chimique. A des températures inférieures à 60°C elle est pratiquement insoluble. Elle est insoluble dans l'eau, même sous forme de film (emballage).

##### **Propriété thermiques :**

Les polypropylènes (PP) brûlent même en l'absence de la flamme bleutée.

##### **L'allongement :**

Il est voisin de 150 % en général. Il peut atteindre 400 à 800 % avant rupture pour certains produits.

##### **La dilatation :**

Elle peut être dix fois supérieure à celle des métaux (cas des thermoplastiques).

### **Le retrait :**

Caractéristique importante pour les moulistes, il est supérieur à celui de l'acier.

### **Écoulement visqueux :**

Si le taux d'application des forces est très lent, la déformation peut être permanente, dénotant ainsi que le matériau s'est déformé en partie comme un liquide visqueux plutôt qu'un solide. L'écoulement visqueux provient du déplacement lent de chaînes entières de polymères par rapport aux chaînes voisines. Les polymères réticulés ne subissent pas l'écoulement visqueux, en raison des liaisons chimiques entre les chaînes.

## **II.5 Les Déchets Plastiques**

La figure II.2 montre le marché européen du plastique en 2012 dont 39,4 % revient au secteur de l'emballage seul. Les matériaux utilisés ainsi que leur quantité dépendent du marché concerné (bâtiment, industrie automobile, industrie électrique et électronique, industrie agricole...). Comme nous le constatons, cette forte croissance du marché mondial des plastiques produit plusieurs millions de déchets par an.

L'Europe a produit 25,2 millions de tonnes de déchets plastiques en 2012, dont seulement 26,3 % ont été recyclés, principalement par des moyens mécaniques et près de 50 % des déchets plastiques de l'UE restent importants sur le sol [12]. La production mondiale de plastique est estimée à 359 millions de tonnes en 2018 soit plus près de 11,38 t de plastique par seconde. La Chine représente le plus grand producteur de plastique dans le monde, et concentre plus d'un tiers de la production mondiale (avec 108 millions de tonnes annuelles), suivie par les États-Unis et l'Europe avec 20%. Par contre l'Afrique et le Moyen Orient, ne produisent que 7%, et 5% en Amérique Latine.

Selon les nettoyeurs de mer, plus de 8 millions de tonnes de déchets plastiques sont déversés dans les océans chaque année. Ces déchets plastique causeraient la mort de 100 000 mammifères marins chaque année, et plus de 1400 espèces marines ont déjà été impactées par ce fléau.

Selon le forum économique mondial et la fondation Ellen Mac Arthur, 32 % des déchets d'emballage plastiques finissent dans la nature en 2016. Cinq pays d'Asie du Sud-Est sont à l'origine de 60% de la pollution océanique, et 90% du plastique déversé dans les océans proviendrait de 11 fleuves d'Afrique, d'Amérique du Sud et d'Asie [13].

CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE  
RECYCLAGE DU PLASTIQUE

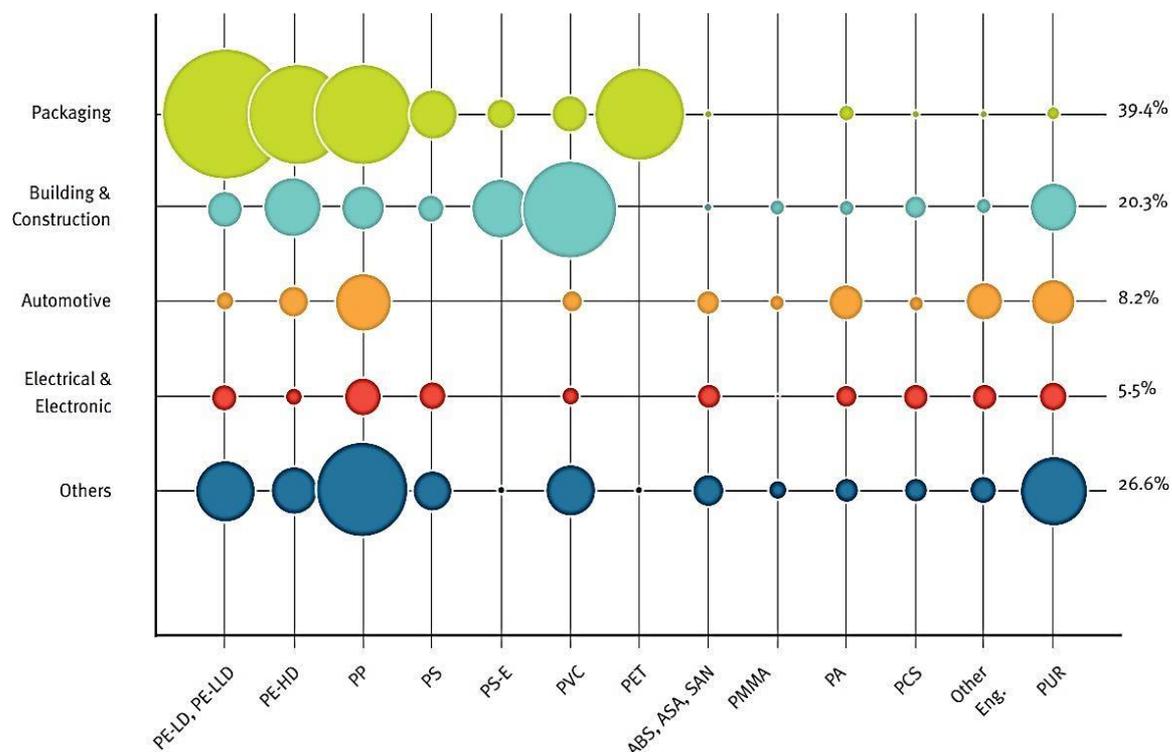


Figure II.2 :Le marché européen des matières plastiques en 2012 en fonction de l'application et du type de polymère [12].

Le recyclage du plastique permet la réduction des émissions de fabrication en raison de réduction des émissions d'énergie de procédé, émissions liées au transport et émissions énergétiques (**Tableau II.2**).

On peut voir que la fabrication de HPDE, LDPE et PET recyclés réduit considérablement les émissions de GES par rapport à la production de la même quantité de matériau vierge. Parmi ces plastiques, le recyclage du LDPE présente les plus grandes économies d'émissions de GES Mings [17-18].

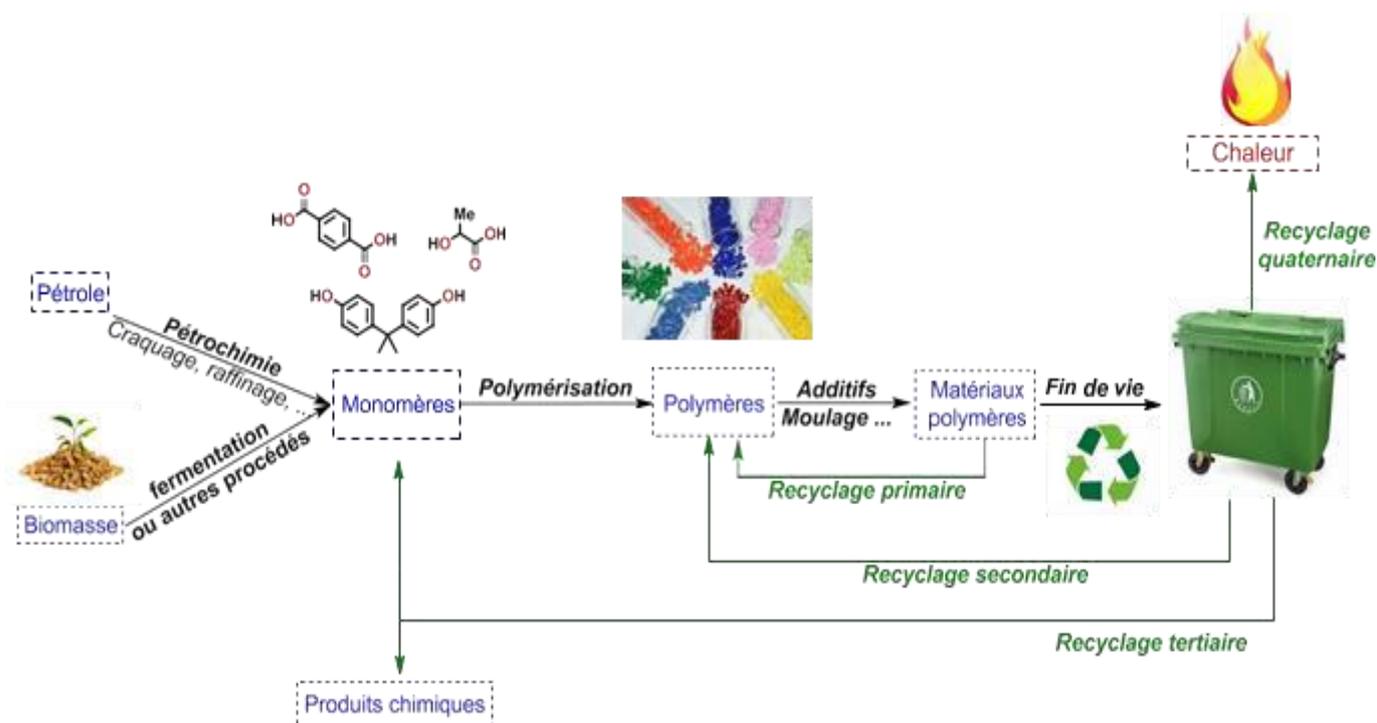
**Tableau II.2 : Facteur d'émissions nettes en raison de la combustion et des économies d'énergie pour les plastiques recyclés par rapport aux plastiques vierges [17] - [15].**

		PEHD	LDPE	ANIMAL DE COMPAGNIE
Entrée vierge [MtCO <sub>2</sub> E / t]	Énergie de processus	1,560	1,905	1,796
	Énergie de transport	0,036	0,036	0,036
	Processus non énergétique	0,172	0,172	0,100
Intrants recyclés [MtCO <sub>2</sub> E / t]	Énergie de processus	0,118	0,118	0,118
	Énergie de transport	0,045	0,045	0,045
	Processus non énergétique	-	-	-
Économies grâce au recyclage [MtCO <sub>2</sub> E / t]	Énergie de processus	- 1,442	- 1,787	- 1,678
	Énergie de transport	0,009	0,009	0,009
	Processus non énergétique	- 0,172	- 0,172	- 0,100
	économies totales	- 1,605	- 1,950	- 1,769

## II.6 Le recyclage des déchets plastiques (PET)

Il existe plusieurs méthodes de recyclage. L'utilisation de ces techniques dépend du type de matériau recyclé, des additifs et impuretés qu'il contient (par exemple des colorants), ainsi que de l'application visée pour les produits issus du recyclage [16].

L'organigramme II.3 s présente les méthodes de recyclage des matériaux polymères divisées en quatre grandes catégories : La ré-extrusion (recyclage primaire), le recyclage mécanique (secondaire), le recyclage chimique (tertiaire) et l'incinération (quaternaire) [17].



Organigramme II.3 : Les quatre grandes méthodes de recyclage des matériaux polymères [17].

Par rapport au total des matières recyclées, les plastiques à base de polystyrène et le polycarbonate ont fait l'objet d'une attention considérable, car ces matériaux sont habituellement utilisés dans l'industrie de la construction [18]. Le recyclage du polyéthylène téréphtalate (PET), l'acide polylactique (PLA) et le bisphénol A (PC-BPA) ont été les plus étudiés :



- **Le PET** est le plus largement utilisé dans le monde en raison de sa luminosité, durabilité, résistance chimique et faible coût. Bien que ces matériaux soient principalement utilisés dans l'industrie textile, de grandes quantités de PET sont consommées dans l'industrie vidéo et audio, et dans les emballages alimentaires en particulier les boissons gazeuses [19].



- **Le PLA** est très intéressant d'un point de vue environnemental puisqu'il est principalement dérivé de ressources renouvelables, telles que le maïs, les pommes de terre et autres produits agricoles. En raison de sa biodégradabilité/biocompatibilité combinée à sa résistance mécanique et sa transparence, le PLA est considéré comme un matériau vert et durable qui peut être vu comme une alternative prometteuse aux résines polymères à base de pétrole comme le PET.

Le PLA est utilisé dans les imprimantes 3D, dans le milieu biomédical (prothèses, fils de suture), pour faire des emballages alimentaires ainsi que dans les cosmétiques [20].



- *Le PC-BPA* est un polymère thermoplastique ayant d'excellentes propriétés mécaniques, une grande résistance aux chocs et aux UV, ainsi qu'une excellente résistance électrique.

En conséquence, les polycarbonates sont utilisés dans une grande variété d'applications comme dans les disques compacts, les fenêtres blindées, les casques de moto, les boucliers de police et les verres optiques [21].

## II.7 Gestion de déchet plastique (PET) : Cas du CET Guerouaou

Nous présentons dans cette section la gestion des déchets plastique à travers le centre de gestion des déchets à Blida (**Figure II.3**) que nous avons visité et qui a fourni les déchets plastiques utilisés dans notre étude expérimentale. Avec l'aide de l'ingénieur 'Kherbache Halima', nous avons pu identifier les différentes branches du Centre et les types de déchets disponibles, et les méthodes de recyclage telles que le verre le papier, le carton et le plastique de toutes sortes.

Nous avons vu les différentes étapes du recyclage du plastique, et l'importance des bouteilles PET eau minérale au centre, car ils sont plus propres parmi les déchets, ce qui les rend plus faciles à travailler et le prix le plus élevé lors de la vente.

Le **Figure II.4** indique l'espace de stockage des bouteilles d'eau minérale au centre.

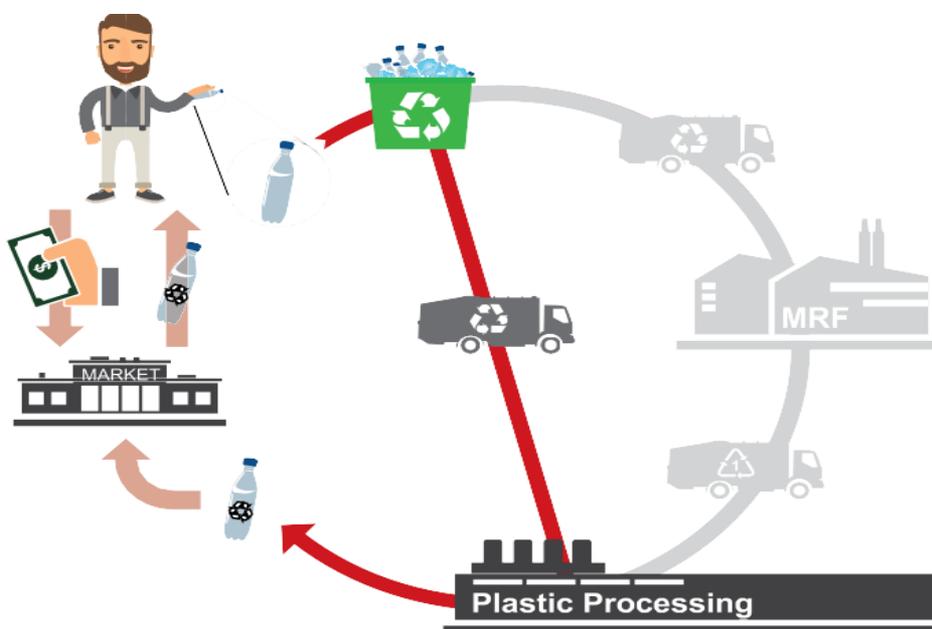


**Figure II.3 : Service de gestion des déchets à Guerouaou EPWG CET BLIDA.**



Figure II.4 : L'espace de stockage des déchets plastiques PET en l'entreprise EPWG.

La première optimisation de processus proposée consiste à réduire le nombre de processus de tri. Par conséquent, le recyclage dit à double flux devrait être mis en œuvre. Le recyclage à double flux signifie que les déchets plastiques sont directement séparés par les consommateurs dans leurs ménages et donc l'installation de récupération des matières (MRF) n'est pas nécessaire. Le fonctionnement optimisé est illustré à (l'organigramme II.4) [22] :



Organigramme II.4 : Recyclage à double flux MRF, installation de récupération de matériaux [57].

## CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE RECYCLAGE DU PLASTIQUE

La ligne de recyclage des bouteilles en PET est principalement utilisée pour recycler les déchets plastiques issus d'emballages de boissons diverses et autres déchets plastiques pour les transformer en flocons de PET, prêts pour la revente.

**Convoyeur** : Cette machine est principalement utilisée pour transmettre le matériau au prochain processus (Figure II.5).



**Figure II.5 : Convoyeur de machine de recyclage en EPWG.**

**Broyeur** : Lorsque les lames rotatives tournent en cercle, les bouteilles viennent s'encaster dans l'espace, et sont écrasées en flocons, comme montre la figure II.6.



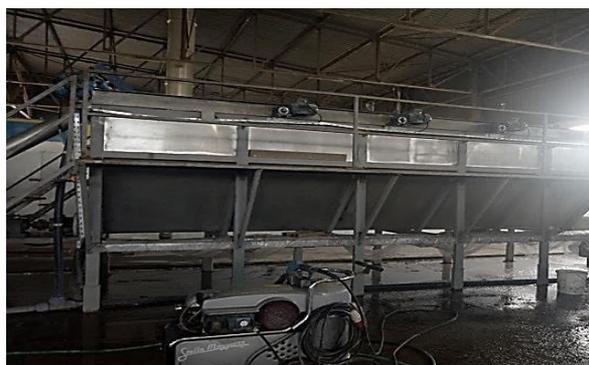
**Figure II.6 : Broyeur de machine de recyclage en EPWG.**

**Vis alimentation** : Cette machine est principalement utilisée pour transmettre le matériau au prochain processus. Comme l'indique la figure suivante (Figure II.7).



**Figure II.7 : Vis alimentation de machine de recyclage en EPWG.**

**Réservoir de lavage flottant** : Cette machine a pour fonction de faire émerger les parties indésirables (étiquettes et bouchons) à la surface de l'eau, puis de les éjecter dans la poubelle, en même temps. La figure II.8 montre la forme extérieure du réservoir, et les lames responsables de l'élimination des impuretés.



**Figure II.8 : Réservoir de lavage de déchet plastique en EPWG.**

**Mélangeur** : Le mélangeur permet un lavage à haute température avec de la soude caustique (NaOH), l'eau pouvant être chauffée pour plus d'efficacité. La figure suivante (**Figure II.9**) est une image de la ligne de lavage, qui se répète plusieurs fois.



**Figure II.9 : Mélangeur machine de lavage de déchets plastique en EPWG.**

***Machine de séchage :*** Il s'agit ici d'éliminer au maximum l'eau des granulés de PET (**Figure II.10**).



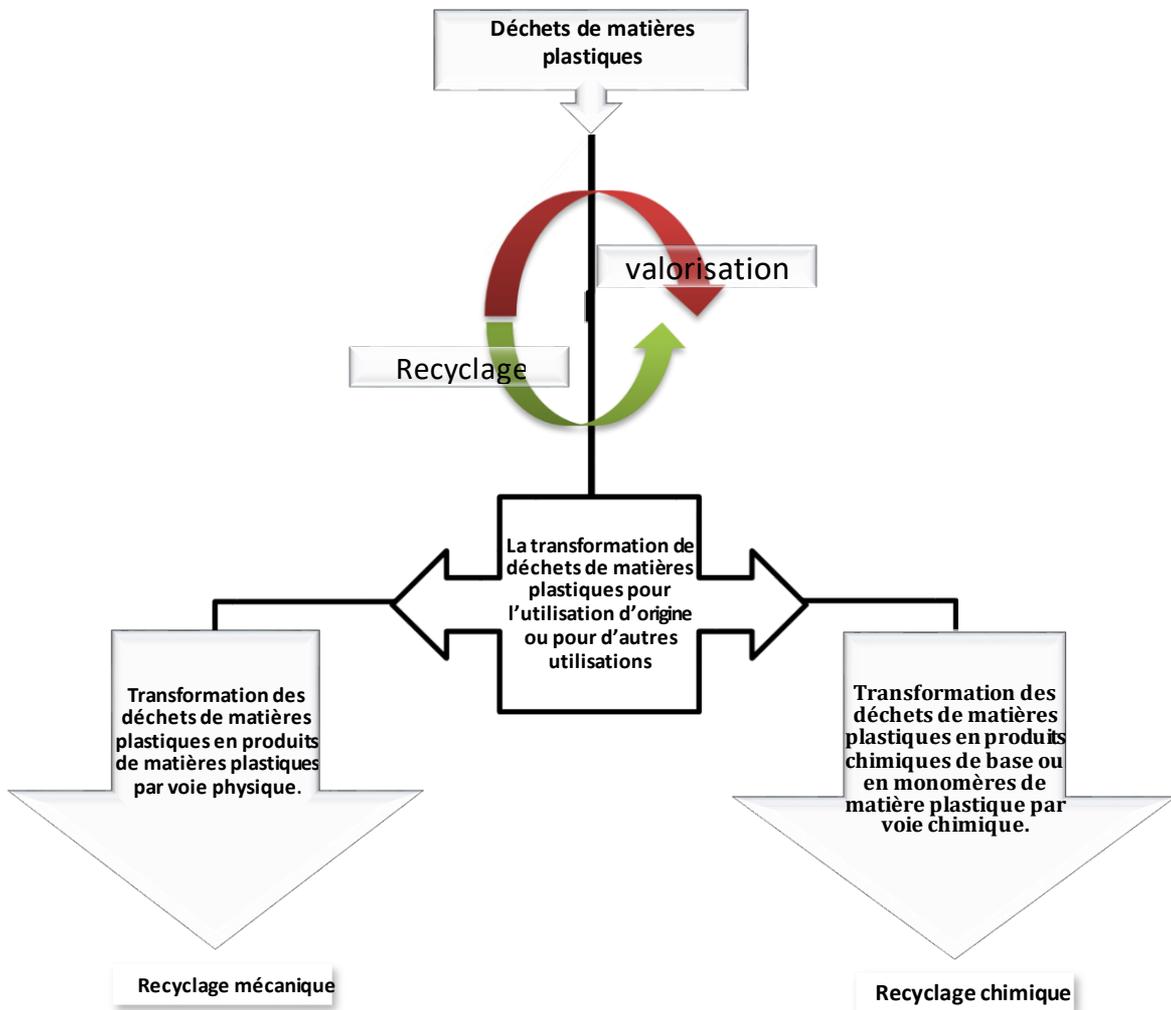
**Figure II.10 : Machine de séchage de déchet plastique en EPWG.**

***Stockage :*** Il s'agit à cette étape de stocker les flocons en fin de parcours. L'étape suivante est le remplissage des granulés de PET dans des sacs pour qu'ils soient prêts à la distribution/vente (**Figure II.11**).



Figure II.11 : Stockage de déchet plastique et leur forme après le recyclage.

L'organigramme II. 5 montre les options de gestion des déchets plastiques :



Organigramme II.5 : Recyclage de déchet plastique [58].

## II.8 Béton à base de déchets plastique :

Des chercheurs ont tenté d'utiliser les déchets plastiques sous forme d'ingrédient de béton (granulats, fibres). L'utilisation de déchets plastiques post-consommation dans le béton ne sera pas seulement méthode d'élimination, mais peut également améliorer les propriétés du béton comme la résistance à la traction, la résistance chimique, le retrait au séchage et le fluage à court et à long terme. Dans le **tableau II.3**, nous avons combiné les travaux de différents chercheurs selon le type, la taille et le dosage de plastique qui a été utilisé dans le béton. L'effet d'incorporation des déchets plastique sur la performance du béton à l'état frais et durci est ensuite discuté.

**Tableau II.3 : Propriétés des différents types des déchets plastiques utilisés comme agrégats.**

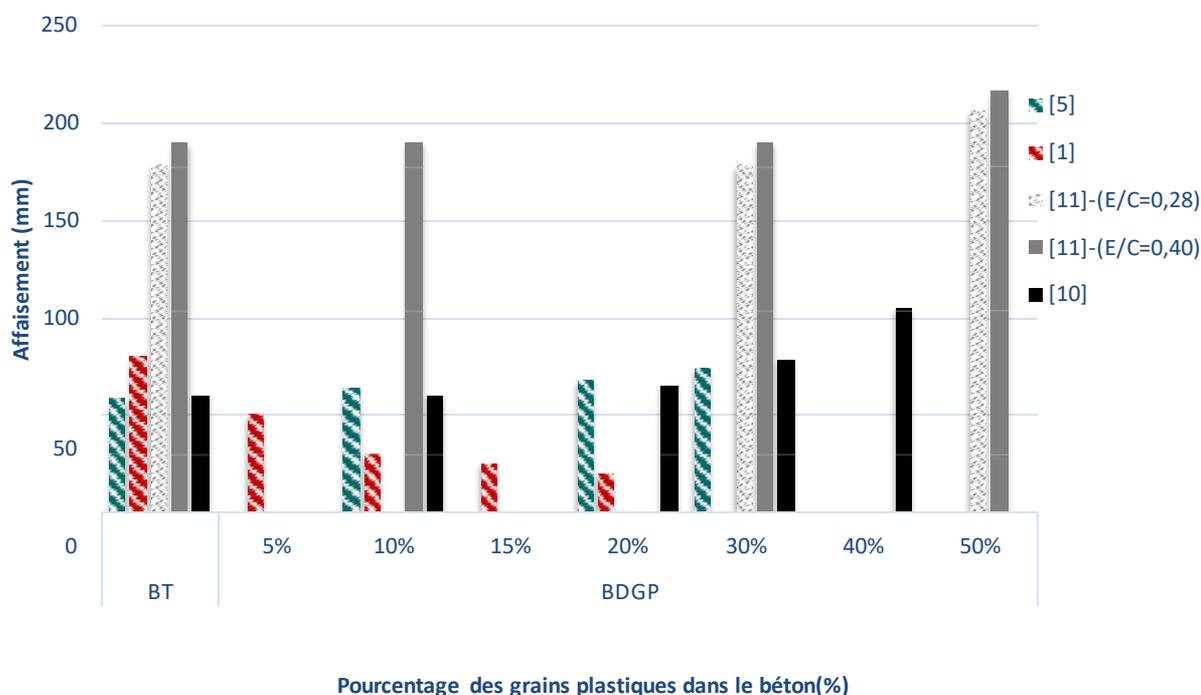
Référence	Type de DECHET PLASTIQUE	Taille des particules	Origine de GRANAULAT	Composite	Type et taux de substitution
Guendouz mohamed [1] [11]	Grains (GP)	-	Des Bouteilles en PET	béton	GP (0%, 5%, 10%, 15%, 20%) par rapport à la masse de gravier
	fibres FPO (ondulé) et FPR (rectiligne)	Longueur de FP $\leq 4$ cm	des citernes en PEBD		FPO et FPR (0% ; 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2%) de par rapport à la masse de ciment
A.S. benosman et al [2] [23]	Poudre(PP)	Diamètre $\leq 1$ mm	Bouteilles en PET	Mortier	(0% ; 1,5% ; 2,5% ; 3,5% ; 5% ; 7,5%) Par rapport à la masse de ciment
Y .Ghernouti et al [3] [24]	Grains(GP)	-	Des sacs en plastique	Mortier	(10% ; 20% ; 30% ; 40%) par rapport à la masse de sable
El hadj kadi et al [4] [25]	Poudre (PP)	Diamètres de PP $\leq 1$ mm	Bouteilles en PET	Béton de sable	PP (0% ; 10% ; 20% ; 30% ; 40%) par rapport à la masse du sable
	Fibre (FP)	Longueur de FP $\leq 4$ cm			FP (0% ; 0,5% ; 1% ; 1,5% ; 2%) par rapport au volume du béton
Dhaarani et al [5] [26]	Grains(GP)	8 à 10 mm	plastique	Béton	(0% ; 10% ; 20% ; 30%) par rapport aux granulats grossiers
Ah jahamil et al [6] [27]	pailles en plastique	-	Bouteilles en PET	Béton	(0% ; 0,5% ; 1,5% ; 3%) par rapport au volume de béton

CHAPITRE II : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE  
RECYCLAGE DU PLASTIQUE

Purushothama.s et al [7] [28]	Poudre(PP)	≤ 40 micron	Sacs en polyéthylènes	Béton	(0% ; 5% ; 10%) par rapport au granulats grossier
Salah aldein alsadey [9] [29]	Fibre (FP)	-	Bouteille en PET	Béton	(0% ; 1% ; 1,5% ; 2% ; 2,5% ; 3%) par rapport au masse de ciment
Youcef ghernouti et al[10] [30]	Grains(GP)	-	Sacs en plastique	Béton	(0% ; 10% ; 20% ; 30% ; 40%) par rapport au masse de sable
l manaseer et dalal [11] [31]	Agrégat angulaire	<13mm	Bouteille en PET	Béton	(0% ; 10% ; 30% 50%) par rapport au granulats
Khalil ibrahim et al [12] [32]	Fibre (FP)	Langueur de FP =35mm	Bouteille en PET	béton	(0,5% , 0,75% , 1,00% , 1,25% , 1,50% , 1,75% ,2%) par rapport au volume de béton
		largeur de FP=4mm			
		épaisseur=0,3mm			

**a. Affaissement :**

L'ouvrabilité est la capacité du béton à pouvoir être mis en œuvre facilement (remplissage des coffrages...etc.), elle caractérise avant que le matériau ne durcisse. Toutes qualités du béton ne peuvent être obtenues qu'avec une bonne ouvrabilité. Pour évaluer l'ouvrabilité du béton on peut mesurer leur affaissement. La **figure II.12&13** résumant quelques travaux de l'impact de déchets plastiques sur l'ouvrabilité de béton.



**Figure II.12 : Affaissement de béton à base des déchets de grains plastiques.**

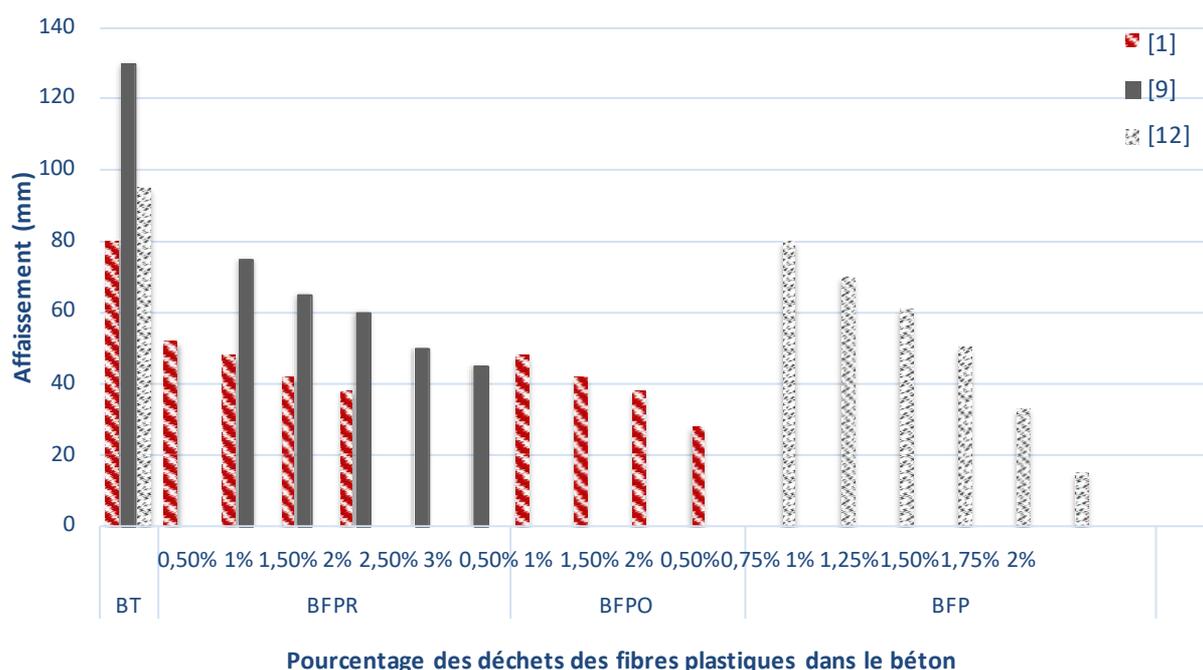


Figure II.13 : Affaissement de béton à base des déchets de fibre plastique.

D'après ces figures, on peut dire que l'affaissement du béton témoin et l'affaissement de béton de déchets grain plastique restent dans la même classe de consistance. Par contre, l'utilisation des déchets de fibres plastiques dans le béton, l'affaissement de béton fibre plastique a diminué d'une façon remarquable.

*Al-Manaseer and Dalal [11]*, rapportent qu'il y'avait une augmentation de l'affaissement lorsque les agrégats en plastique ont été incorporés dans le béton. Le béton contenant 50% d'agrégats de plastique avait un affaissement de cône légèrement plus élevé que le béton témoin.

*Guendouz [1]*, a constaté que l'affaissement du béton à base de déchets plastiques, quel que soit la forme de déchets, est plus petit que celle du béton témoin et qu'elle diminue en fonction du pourcentage d'ajout en déchets et cela pour les trois types de forme utilisés. La dégression est estimée à (37 à 75%) pour le cas du béton à base de déchets de grains et de (37 à 62%) pour le béton à base de déchets fibres. Cette chute en affaissement est semblée être due à l'augmentation de la compacité du squelette granulaire du béton suite à la forme et les déchets utilisés.

*Alsadey [9]*, a montré que les fibres de déchets de bouteilles en plastique ont donné une diminution significative de l'affaissement par rapport aux résultats dans le béton témoin.

*Ghernouti et al [10]*, ont observé que l'augmentation de la teneur en déchets augmente la fluidité du béton. Cette amélioration a été attribuée au fait que les particules de plastique ont une surface lisse. Le plastique ne peut pas absorber l'eau donc un excès d'eau qui améliore l'ouvrabilité.

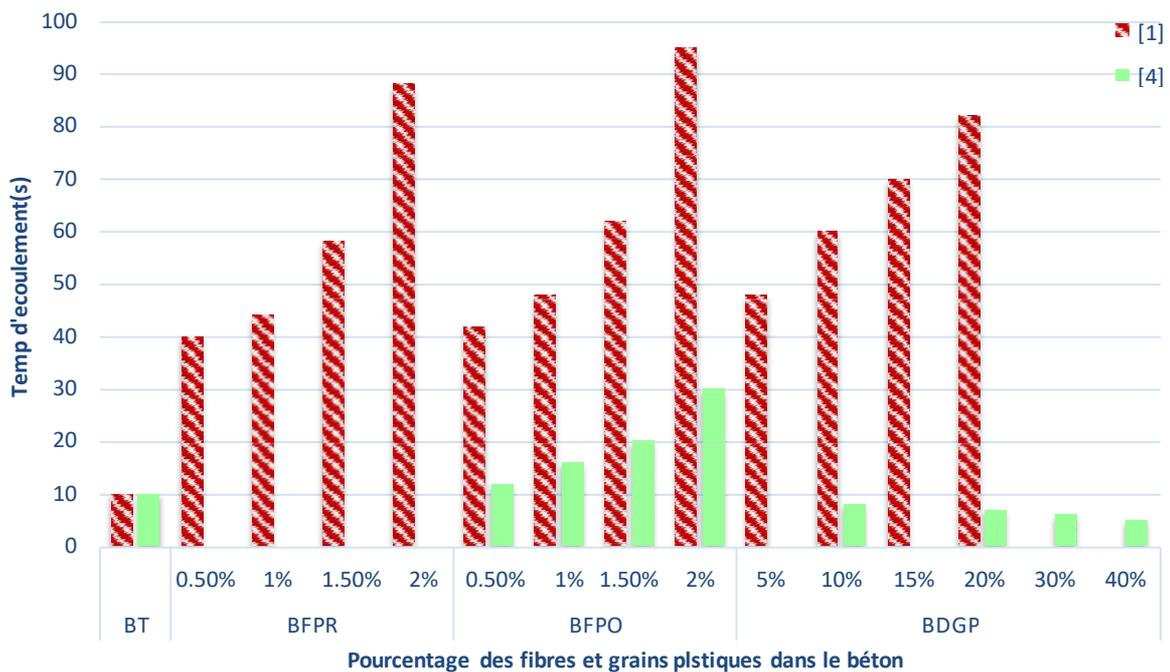
**b. Temps d'écoulement :**

La maniabilité désigne l'aptitude plus ou moins grande d'un béton ou d'un mortier en état frais, à remplir de façon homogène et sans défaut les vides des coffrages. La **Figure II.14** résume quelques travaux de l'effet des déchets plastiques sur le temps d'écoulement.

On remarque que généralement le temps d'écoulement de béton de déchets plastiques est plus long que celle de béton témoin et comparativement à l'affaissement, nous avons confirmé la difficulté d'ouvrabilité du béton en présence des déchets plastiques.

*Guendouz [1]*, a montré que les deux types de fibre plastiques influent négativement sur l'ouvrabilité du béton, et il remarque que plus le pourcentage des déchets augmentent, le temps d'écoulement du béton augmente.

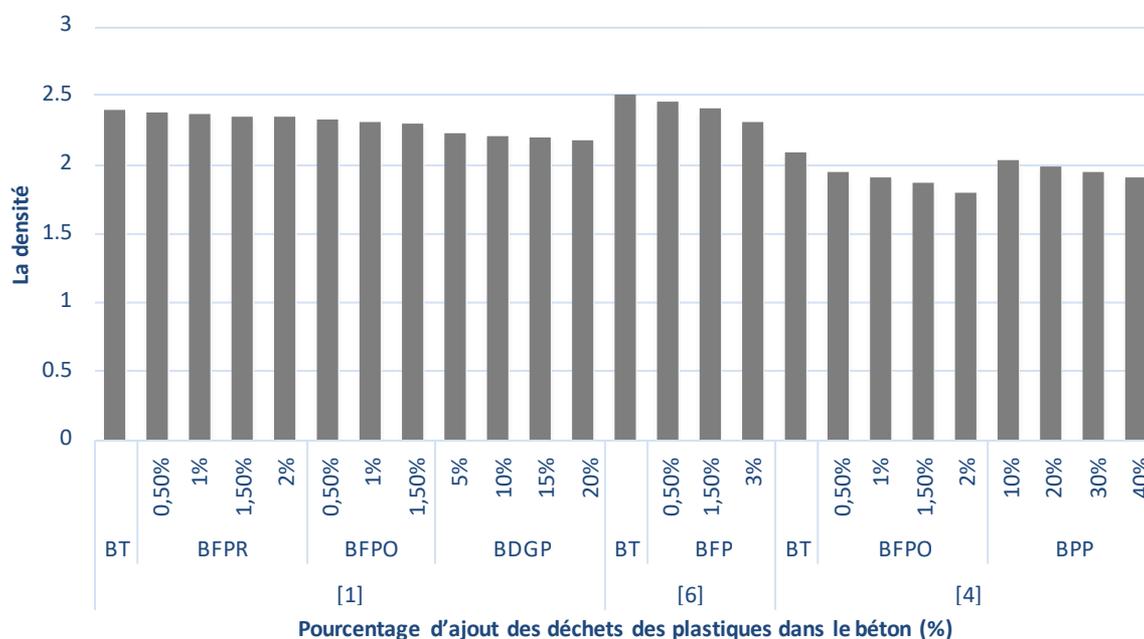
*Kadri et al [4]*, ont remarqué que la maniabilité du béton de sable varie en fonction des pourcentages de poudre plastique utilisée, et ils ont constaté que plus le pourcentage de poudre plastique augmente plus le temps d'écoulement diminue. Ils ont expliqué ce comportement par la présence d'eau libres dans le mélange qui contient la poudre de plastique par ce que la poudre en plastique ne peut pas absorber l'eau pendant le mélange. Par contre, les fibres plastiques influent négativement sur la maniabilité du béton de sable, et plus le pourcentage des fibres augmente plus le temps d'écoulement du béton à base de fibre augmente aussi.



**Figure II.14 : Temps d'écoulement de béton réalisé avec des déchets plastiques.**

**c. Densité :**

Le plastique a une densité inférieure à celle des agrégats naturels. Certains résultats de travaux ultérieurs sont présentés dans la **figure II.15** :



**Figure II.15 : Densité de béton réalisé avec des déchets plastiques.**

On remarque que l'incorporation de matières plastiques comme agrégat diminue généralement la densité du béton et du mortier.

*Guendouz [1]*, a rapporté que la densité de béton à base des déchets de grains plastiques est plus faible que le béton témoin, puisque la densité du plastique est plus faible que celle du béton.

*Kadri et al [4]*, ont constaté que tous les types des déchets plastiques influents négativement sur la densité du béton de sable. La densité des bétons de sable à base de déchets plastique est plus faible que la densité du béton témoin. Ces résultats sont logiques et attendus, puisque la densité du plastique est plus faible que celle du sable substituée.

*Al-jahamil et al [6]*, ont trouvé que le mélange témoin présente la densité la plus élevée et que plus le pourcentage de pailles augmentait plus la densité diminuait.

**d. Résistance à la compression :**

La résistance à la compression est un paramètre fondamental pour évaluer la qualité d'un béton. L'impact de la substitution du granulat naturel par un granulat de déchets plastique sur la résistance à la compression est, comme pour la majorité des propriétés du béton, fonction du taux de remplacement [33].

La **figure II.16** montre les résultats de la performance des résistances à la compression du béton et mortier contenant des déchets plastiques de quelques chercheurs. D'après cette figure, on remarque que les déchets des grains plastiques influent négativement sur la résistance à la compression de béton ( $R_c$  diminue lorsque le pourcentage augmente)

*Guendouz [1]*, a rapporté que la cinétique de résistance du béton de grains plastiques est la même que celle de béton témoin et que le béton gagne en résistance en fonction du pourcentage d'ajout en grains plastiques mais passe par un optimum qui est de 10%. Le gain en résistance est estimé de 30 à 11% respectivement pour les pourcentages d'ajout en grains plastiques de 10 à 20%. Cette chute de résistance peut-être est due à la porosité en plus apportée par le pourcentage élevé en grains plastiques.

*Ghenouti et al [3]*, a aussi rapporté une diminution de la résistance mécanique en fonction de l'augmentation de pourcentage de déchets en plastiques dans les mortiers. La résistance était comparable pour le cas des pourcentages 10 et 20 % où on a enregistré une chute de résistance à la compression à 28 jours de l'ordre de 18 et 23% respectivement. Cette chute de résistance est due principalement à la substitution du sable par le déchet qui est moins résistant, la forme circulaire de déchets qui augmente le volume des vides dans le mortier ce qui va réduire la compacité et la faible rugosité (surface lisse) de déchets qui rend l'adhérence entre les grains et la pâte de ciment faible.

*Dhaarani et al [5]*, ont observé que la résistance à la compression du béton de déchets plastique avec 10% de remplacement est de 48,84 MPa ; c'est la résistance presque égale du béton témoin (53.14 MPa) le 28ème jour. La résistance à la compression du béton de déchets plastiques usagé avec 20% de remplacement, il donne une résistance acceptable de 45,32 MPa.

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE  
RECYCLAGE DU PLASTIQUE

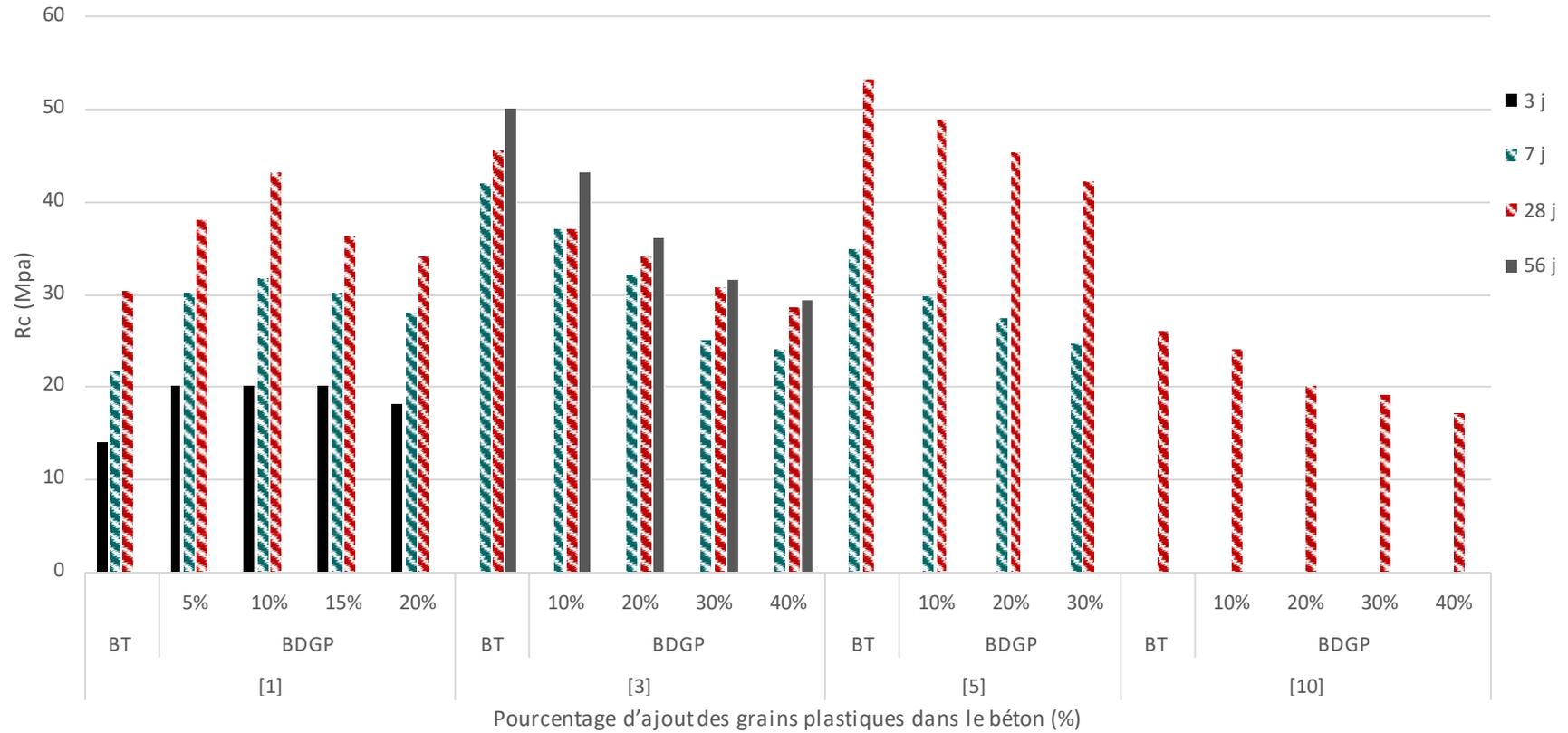
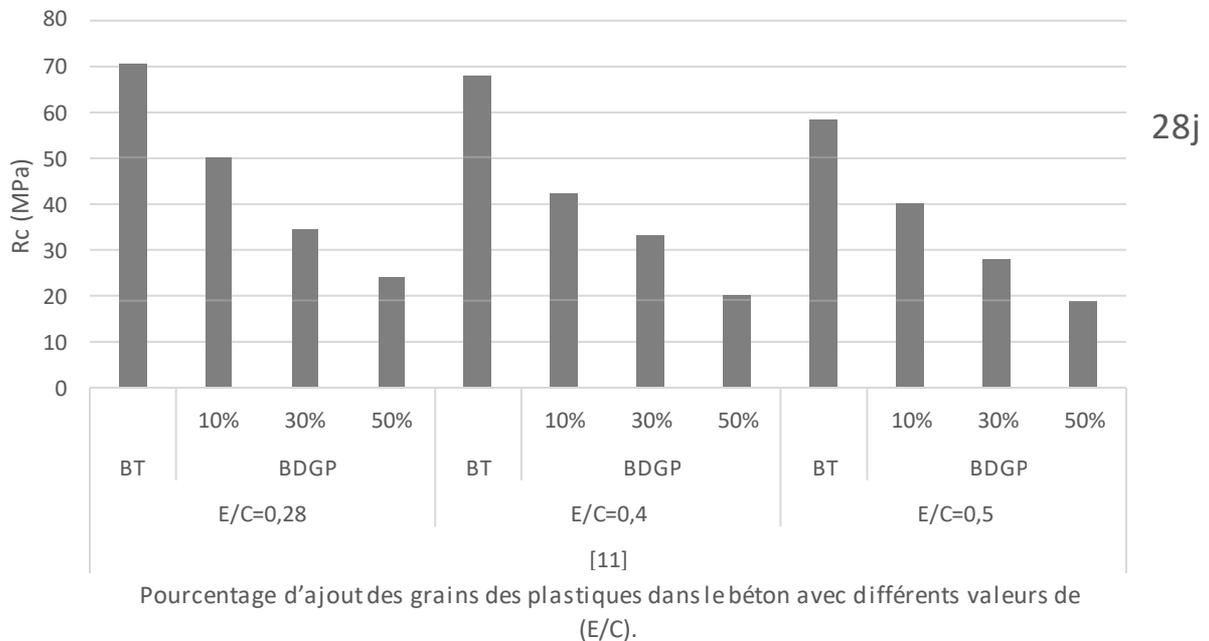


Figure II.16 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout des grains des plastiques dans le béton.

La figure suivante (**Figure II.17**) montre différents résultats de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton avec différentes valeurs de (E/C).



**Figure II.17 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton avec différentes valeurs de (E/C).**

D'après cette figure, on peut remarquer que le béton témoin de différents (E/C) présente une résistance à la compression plus grande que celle de béton de déchets plastiques mais elle diminue lorsque le rapport (E/C) augmente (la résistance à la compression la plus élevée est de béton témoin de rapport (E/C) = 0,28).

*Al-Manaseer et Dalal [11]*, ont étudié les effets de l'inclusion d'agrégats plastiques sur la résistance à la compression du béton. Des mélanges de béton ont été faits avec différents (E/C) et des pourcentages variables d'agrégat plastiques. La résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la teneur en agrégats plastiques. Pour tout contenu donné d'agrégats plastiques, la résistance à la compression diminuait lorsque (E/C) augmentait. En général, le taux de réduction de la résistance à la compression diminue car les agrégats de plastiques étaient capables de résister à la charge pendant quelques minutes après une défaillance sans désintégration complète.

Les résultats de la résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres des plastiques dans le béton présenté sur la figure suivante (**Figure II.18**).

L'incorporation des agrégats plastique diminue la résistance à la compression du béton et mortier mais l'utilisation fibres plastiques présente une amélioration de résistance à la compression.

*Guendouz [1]*, a remarqué que les fibres plastiques améliorent la résistance à la compression (60% de gain à 28 jours) et que la forme ondulée améliore plus la résistance que la forme rectiligne (40% de gain à 28 jours).

*Kadri et al [4]*, ont montré que l'ajout des fibres plastiques au mélange du béton de sable mène à une augmentation de la résistance à la compression, et cela dû à la compacité du béton de déchets plastique qui est plus élevé par rapport au béton témoin.

*Al-Jahamil [6]*, a utilisé des pailles comme fibres dans les mélanges de béton et a observé une légère augmentation de la résistance à la compression et en lors de l'ajout de 0,5% de fibres Plastiques au mélange de béton. Cependant, l'ajout de plus de 0,5% de fibres plastiques entraînera une réduction de la résistance à la compression qui a atteint environ 37% à 28 jours lors de l'ajout de 3% de fibres par rapport au mélange témoin.

*Alsadey [9]*, a rapporté que la résistance à la compression du béton continue d'augmenter avec l'augmentation du pourcentage de fibre de bouteille en plastique, mais le taux d'augmentation est faible. De 1% à 3% de fibres des bouteilles en plastiques ajoutées, la résistance à la compression du béton de tous les mélanges de béton augmente, mais au-delà de 3%, une diminution de la résistance est observée par rapport aux autres pourcentages ajoutés. La diminution des propriétés de compression a été expliquée par le fait que les fibres plastiques hautement déformables pourraient jouer le rôle de vides dans la matrice cimentaire.

*Khalil Ibrahim et al [12]*, a remarqué que la résistance à la compression augmente par rapport au mélange de béton témoin jusqu'à (0,75%) en raison de la ductilité et de l'allongement de fibre plastique à travers les fissures. En outre, la résistance à la compression augmente à long terme, le béton devient plus rigide et plus résistant en raison de l'achèvement des processus d'hydratation et de la réduction de la porosité et après cela, les résultats ont diminuées, les pourcentages accrus (5,1%) et (2,9%) pour (0,75 et 0,5%) respectivement.

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE  
RECYCLAGE DU PLASTIQUE

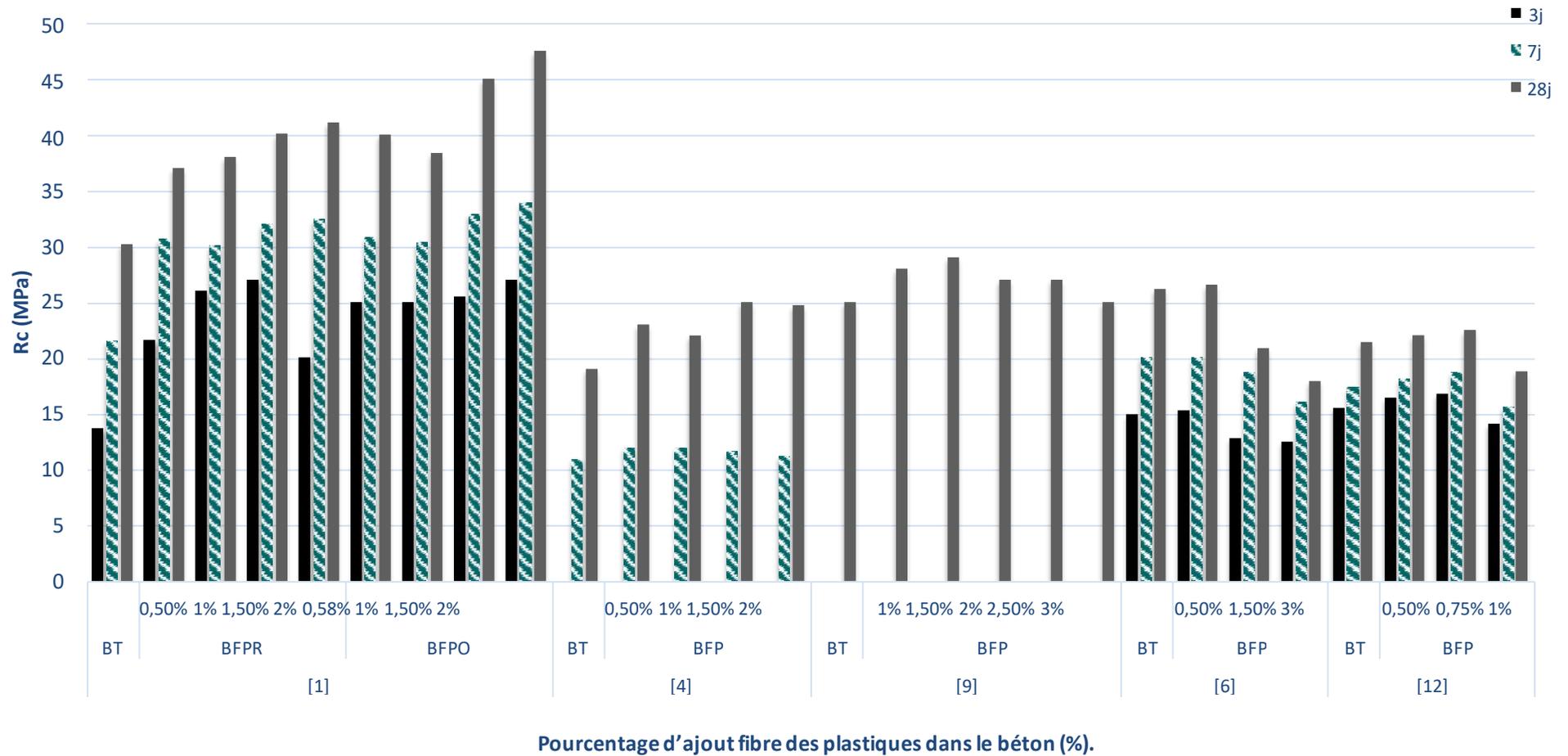
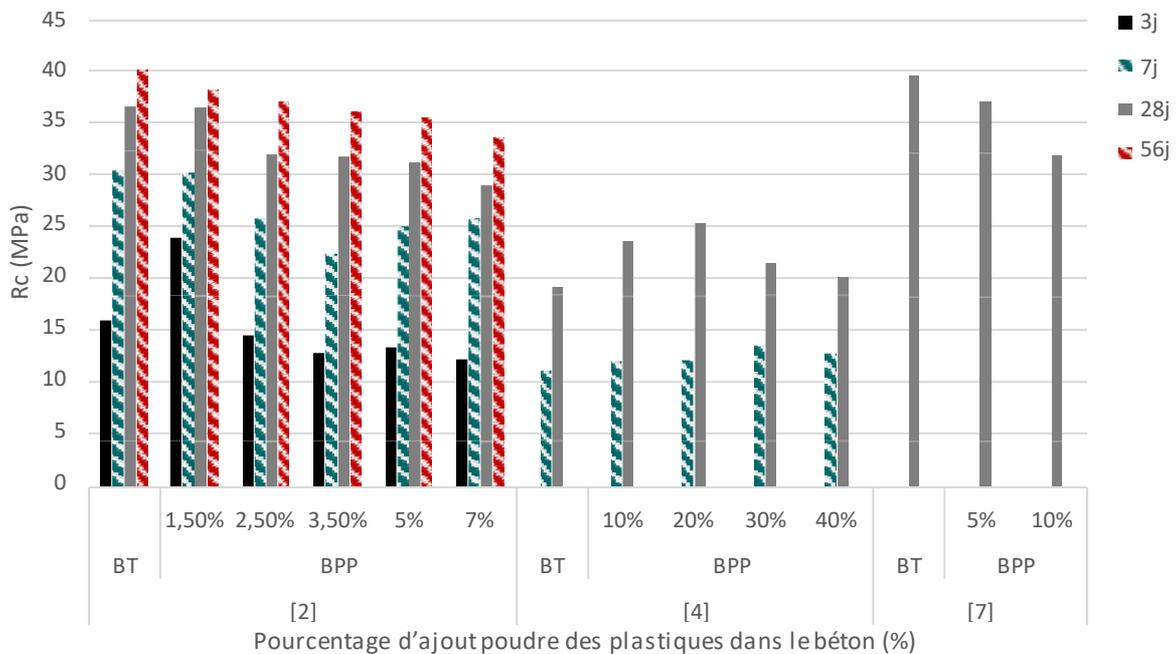


Figure II.18 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres des plastiques dans le béton.

Les résultats de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de poudre des plastiques dans le béton présenté sur la figure suivante (**Figure II.19**).

*Benosman [2]*, a constaté que les résistances de tous les mortiers augmentent régulièrement avec l'âge de conservation des éprouvettes et ne présentent aucune chute de résistance, la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de PET dans les composites. Le polymère (PET) améliore les résistances en compression à long terme 180 et 360 jours de l'ordre de 45%. Pour le PET7.5 il atteint les 47% en résistances, sauf pour le PET 1.5 où on a une augmentation de 26% semblable au mortier témoin ceci est dû au faible pourcentage du polymère ajouté.

*Purushothanas [7]*, a observé que jusqu'à 10% de remplacement, la résistance est presque proche du béton témoin mais au-delà de 10%, il montre un taux décroissant de résistance à la compression qui est de 39,53 MPa, 37,03 MPa et 31,85 MPa, respectivement.



**Figure II.19 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage de poudre des plastiques dans le béton.**

**e. Résistance à la traction par flexion :**

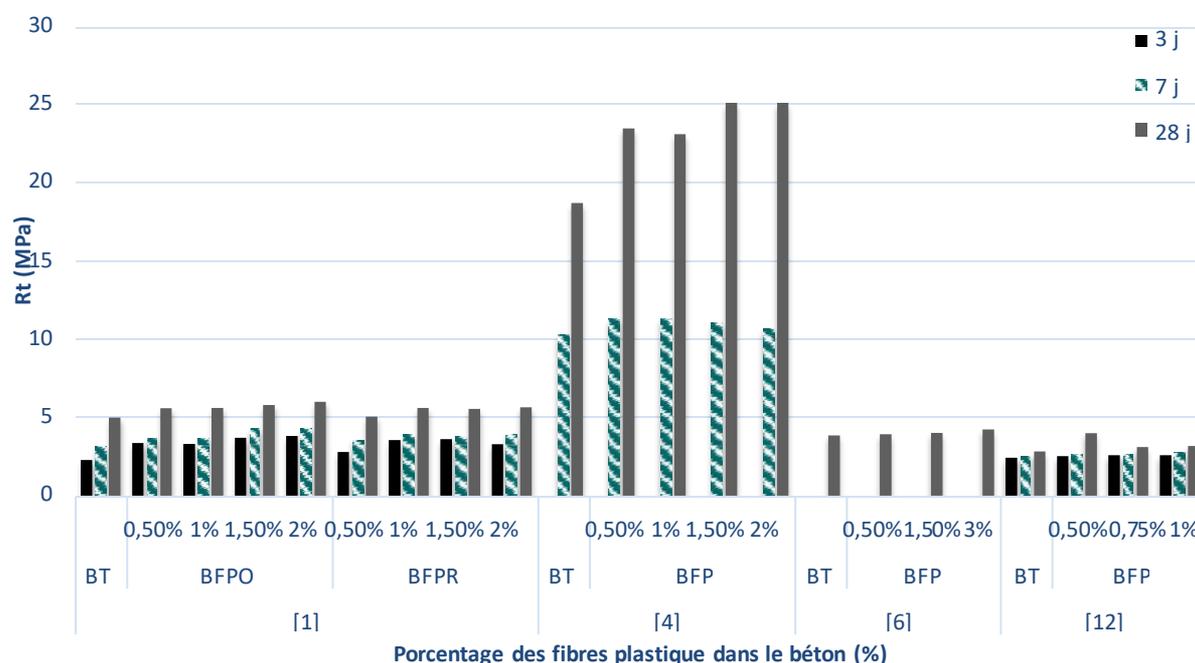
C'est le second paramètre de base, avec la résistance en compression, qui caractérise les propriétés mécaniques du béton, la résistance en traction permet d'estimer la charge à partir de laquelle la fissuration se développe [34].

La **figure II.20** montre les résultats de la résistance à la traction en fonction du pourcentage des fibres des plastiques dans le béton.

De manière similaire au comportement de la résistance à la compression, l'incorporation de fibre plastique améliorerait la résistance à la traction par flexion du béton et mortier

La résistance à la traction est améliorée d'une façon remarquable pour les bétons de fibres plastiques (ondulées et rectilignes) par rapport au béton témoin (*Guendouz [1]*). Les fibres plastiques ondulées améliorent plus la résistance que les fibres plastiques rectiligne. Il observe aussi que plus le rapport des fibres augmentent dans le béton plus la résistance augmente, le gain en résistance à la traction est estimé à 25 % à 28 jours.

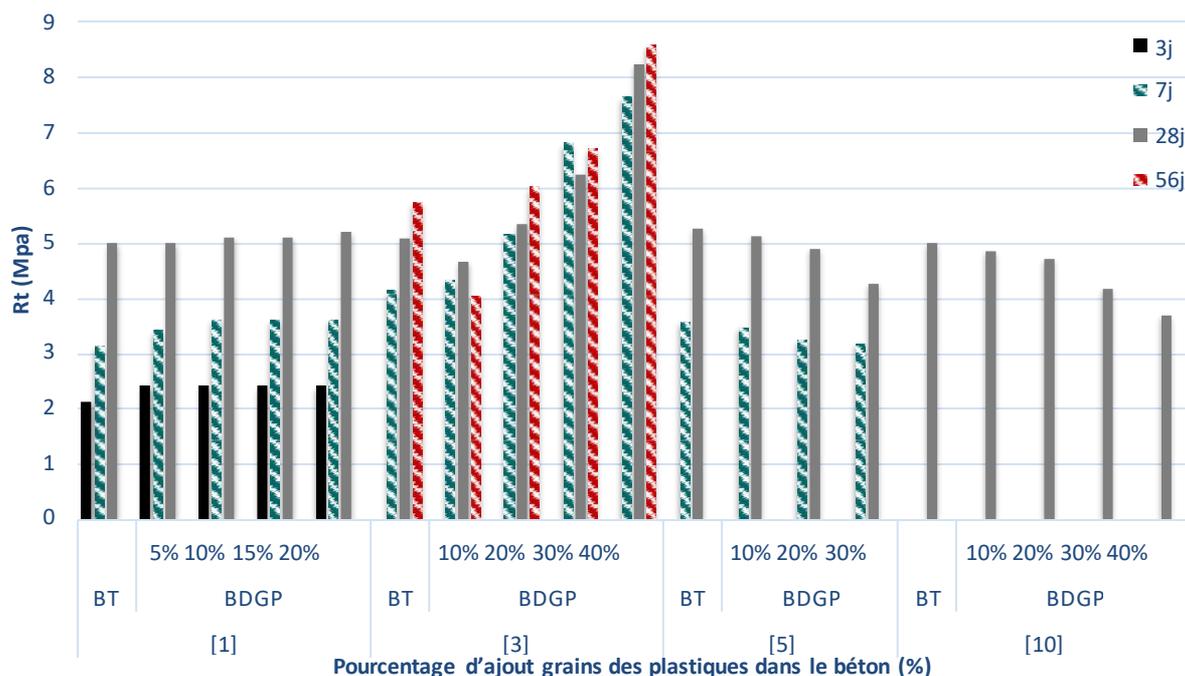
*Al-jahamil [6]*, a montré que l'utilisation de 3% de fibres plastiques peut augmenter la résistance à la traction du béton de 10% à 28 jours, et que le rapport entre la résistance à la traction et à la compression augmente à mesure que le pourcentage de fibres plastiques ajoutées augmente.



**Figure II.20 :Résistance à la traction en fonction du pourcentage des fibres des plastiques dans le béton.**

La **figure II.21** montre la variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton selon les résultats de différents travaux.

On remarque que la résistance à la traction est améliorée pour le béton à base de grains plastiques (12% de gain à 28 jours), ce gain en résistance à la traction passe par un optimum de 10 % d'ajout en grains plastiques.

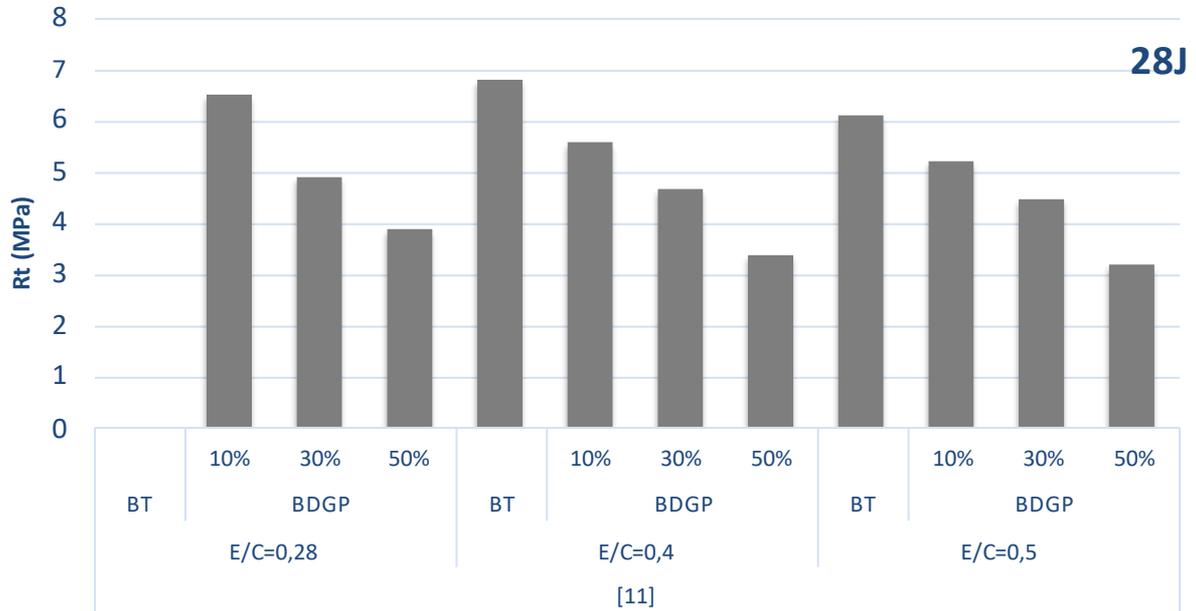


**Figure II.21 : Résistance à la traction en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton.**

La **figure II.22** montre différents résultats de la résistance à la traction en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton avec différentes valeurs de (E/C). La résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage de granulats en plastique. La résistance à la traction a diminué de 17% pour le béton contenant 10% de granulats en plastique. Pour une teneur donnée en agrégats plastiques, la résistance à la traction diminue lorsqu' E/C augmente (*Al-Manasseer et Dalal [11]*).

La **Figure II.23** montre différents résultats de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de poudre des plastiques dans le béton. Pour des durées de 3 jours, 7 jours et 14 jours, *Benosman et al [2]* ont observé une évolution comprise entre 40 et 85%, entre 66 et 88% et entre 83 et 96%, respectivement. Après 28 jours, l'évolution dépend des pourcentages des polymères, car plus le pourcentage augmente, le gain de la résistance augmente. À 56 jours, une augmentation de l'ordre de 3 % à 5% est obtenue pour les mortiers PET0%, PET1.5% et PET5%. Pour les autres composites PET3.5% et PET7.5% elle varie de 9 à 10%. Tandis que le composite PET2.5% on a une augmentation

de l'ordre de 21%. Le polymère PET améliore les résistances en flexion à long terme 360 jours de l'ordre de 48%.



Pourcentage d'ajout grains des plastiques dans le béton avec différents valeurs de (E/C).

Figure II.22 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage des grains des plastiques dans le béton avec différentes valeurs de (E/C).

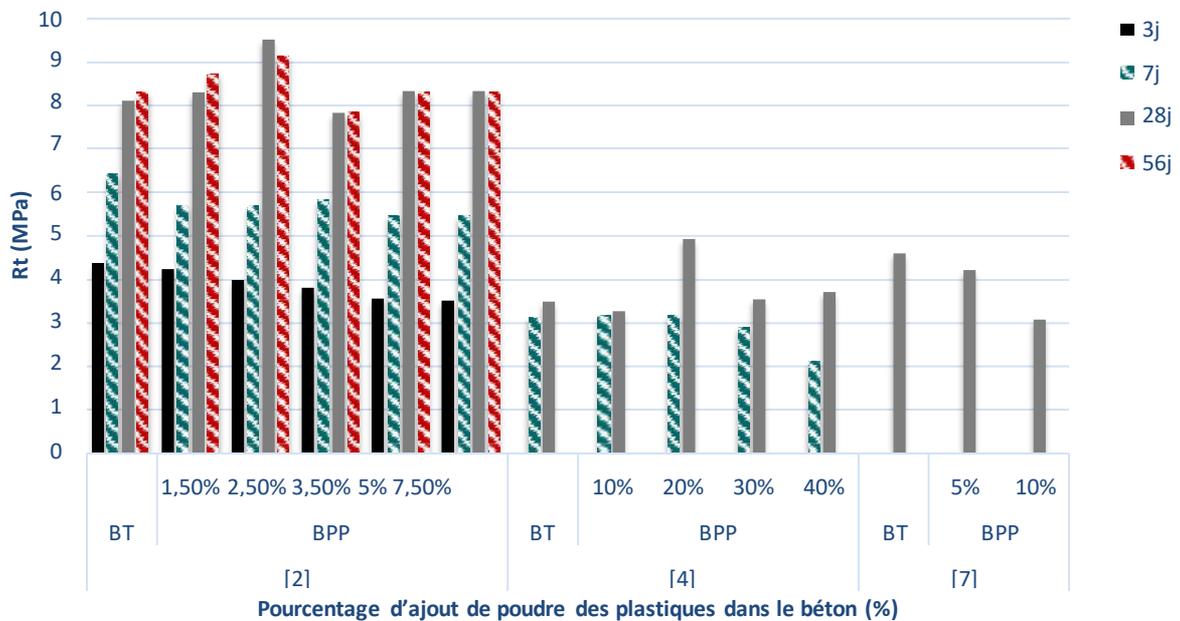
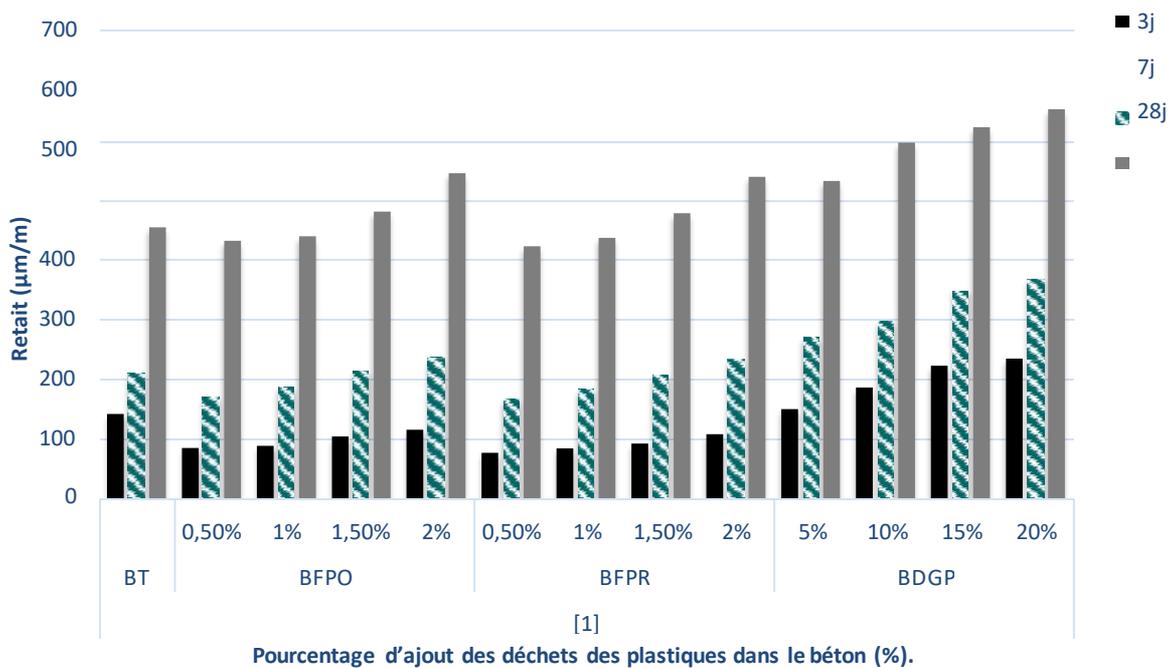


Figure II.23 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage de poudre des plastiques dans le béton.

**f. Retrait :**

Le béton est sujet à des variations dimensionnelles de retrait dues à la consommation de l'eau pendant la phase d'hydratation ou à son évaporation [35]. **La figure II.24** résume l'évolution du retrait en fonction de la forme et du pourcentage de déchets plastiques dans le béton.

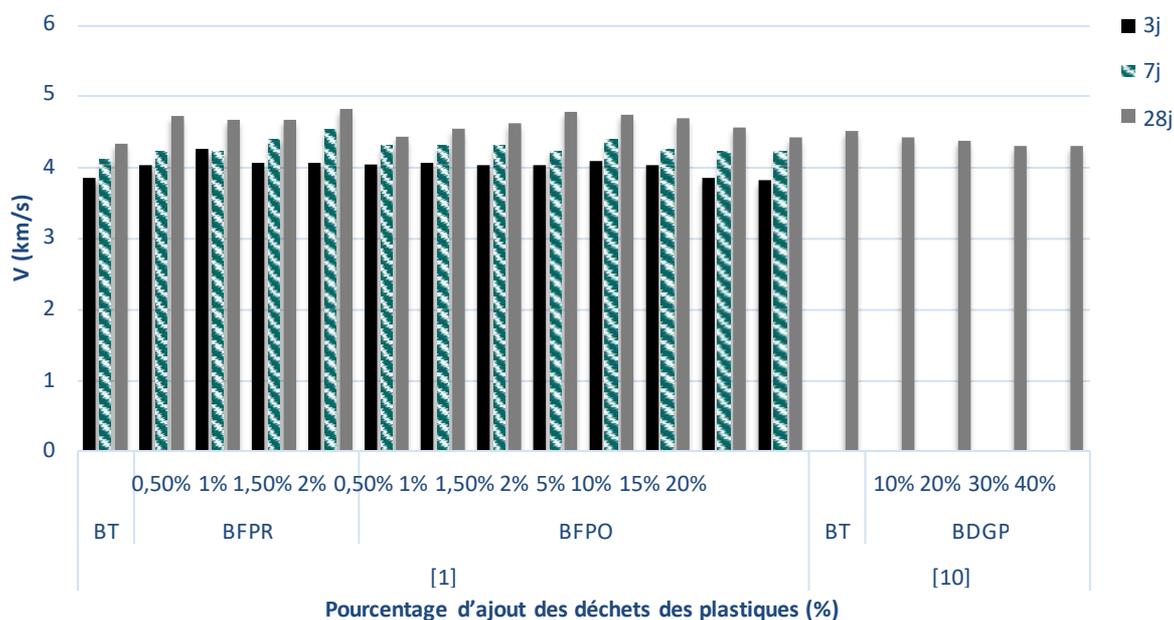
Le retrait se produit dès la mise en œuvre du béton, pendant sa prise et son durcissement et se développe au cours du temps. Le retrait de béton de fibre plastique y'avait un retrait petit à celle de béton témoin, mais le retrait des grains plastiques augmente quand les pourcentages de déchets des grains plastiques augmentent *Guendouz [1]*, a montré que les déchets de grain plastiques causent un retrait très important, et que toutes les types de béton ont des retraits très important par rapport au béton témoin, et que plus le pourcentage augmente plus le retrait augmente. L'augmentation du retrait est expliquée par la compacité élevée du béton apportée par l'addition des déchets plastiques.



**Figure II.24 : Retrait des bétons en fonction du pourcentage des déchets des plastiques.**

**g. Vitesse ultrasonique :**

L'essai ultra sonique est effectué pour étudier l'homogénéité et la structure du béton/mortier. Le béton contenant du plastique a des valeurs plus basses en raison du développement des pores. La **figure II.25** résume les résultats de certaines des études précédentes. Les bétons à base des déchets de grain plastiques ont des qualités meilleures (vitesses ultrasoniques plus importantes) par rapport au béton témoin, et par conséquent moins poreuse. Aussi, tous les bétons de fibres plastiques (ondulé et rectiligne) présentent une augmentation de vitesse d'environ 10%.



**Figure II.25 : Vitesse ultrasonique de béton réalisé avec des déchets plastiques.**

**h. Absorption d'eau :**

Les résultats de l'essai d'absorption d'eau sont illustrés dans les **figures II.26** et **II.27**.

Le béton à base des déchets de grain plastiques absorbe moins d'eau par rapport au béton témoin car bonne partie de grain est recyclée par du plastique qui n'absorbe pratiquement pas d'eau ce qui diminue la capacité d'absorption du béton de déchets plastiques (*Guendouz [1]*).

Les résultats montrent que l'absorption d'eau dans les bétons de fibres plastiques est aussi plus faible par rapport au béton témoin. Ceci explique de la même façon que celle du béton de grains plastiques (le béton de plastique par rapport au témoin, et moins poreux).

CHAPITRE II : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE  
RECYCLAGE DU PLASTIQUE

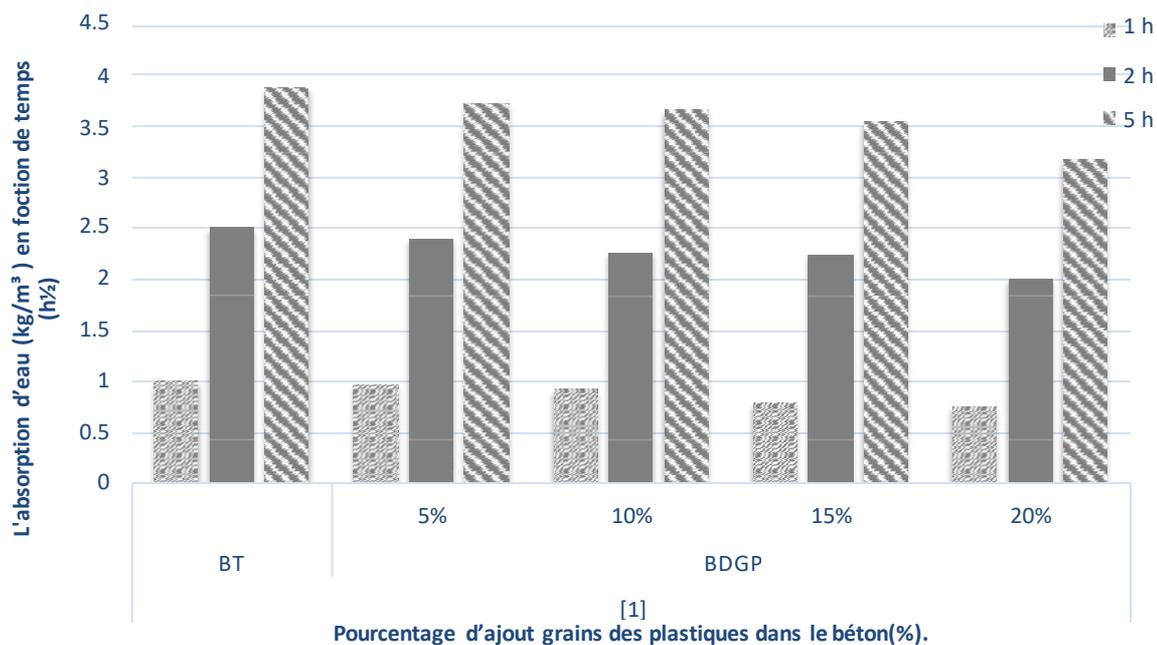


Figure II.26 : Absorption d'eau pour béton de déchets de grains plastiques.

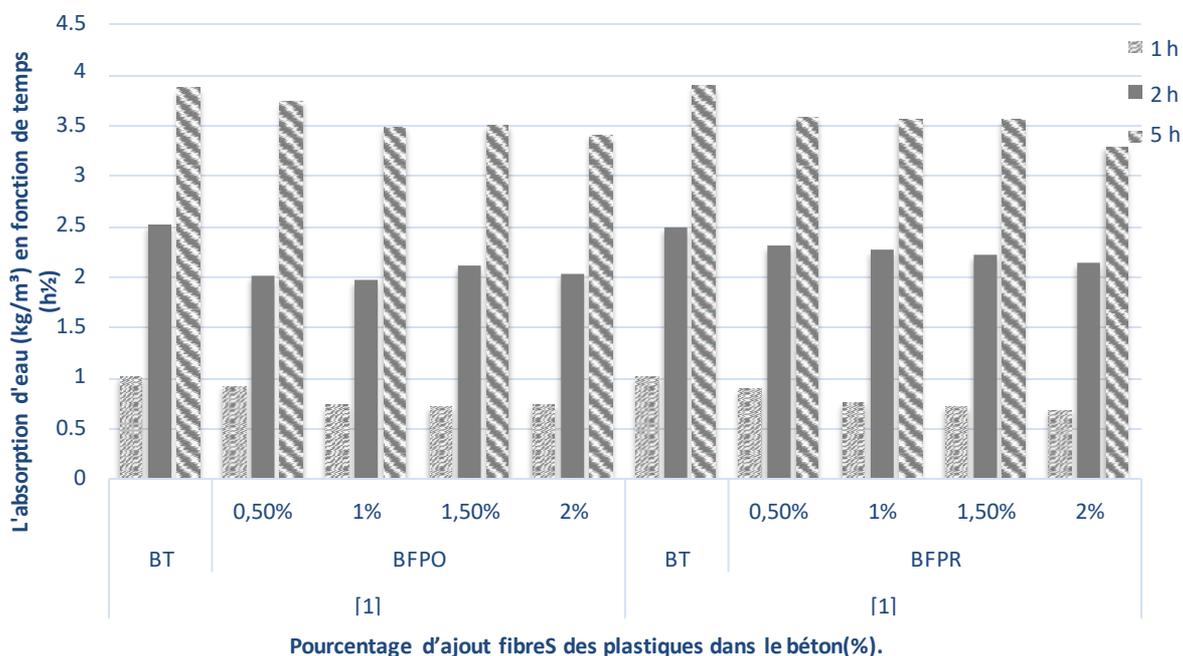


Figure II.27 : Absorption d'eau pour béton de fibres plastiques.

## II.9 Conclusions

La synthèse bibliographique sur les déchets plastiques et leur utilisation dans les mortiers et bétons a montré ce qui suit :

- La valorisation de déchets est nécessaire pour préserver l'environnement
- Les déchets plastiques sont utilisés dans le domaine de la construction et spécialement dans le ciment ou béton comme poudre, fibres ou agrégats, Chaque forme a un effet différent sur le béton
- Tous les bétons à base de déchets plastiques présentent une mauvaise ouvrabilité par rapport au béton témoin.
- La densité diminue pour tout le béton de déchets plastiques.
- Les différents types de déchets plastiques mènent à une augmentation de la résistance à la compression et traction.
- Les fibres plastiques contribuent à l'amélioration de la résistance à la traction par flexion du béton.
- Le retrait augmente en fonction du pourcentage de substitution en déchets.
- L'ajout de déchets plastiques dans la masse des bétons diminue le taux d'absorption d'eau.

Les résultats de cette enquête devraient apporter une contribution significative aux connaissances sur l'utilisation des déchets de matériaux sur les propriétés du béton.

**CHAPITRE III :**  
**MATERIAUX ET ESSAIS**

## CHAPITRE III : MATERIAUX ET ESSAIS

### III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons avec leurs caractéristiques (ciment, sable, gravier, eau, granulat plastique) et les différents essais physico-mécaniques faite au laboratoire de centre de recherche pédagogique CNERIB, Les différents essais réalisés au cours de ce travail sont :

Essais sur béton frais :

- Essai d'ouvrabilité (l'affaissement)
- Essai air occlus
- Essai de densité

Essais sur béton durci :

- La masse volumique
- Essai d'ultrasonique
- Essai de scléromètre
- Essai de résistance à la compression
- Essai de résistance à la traction par flexion
- Essai d'absorption d'eau
- Essai de porosité

### III.2 CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX UTILISÉS

#### III.2.1 Ciment (Liant hydraulique) :

Le ciment utilisé dans notre projet, est un ciment de classe CEM II/A (Matine) (figure III.1) qui est un ciment Portland sa résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques de notre ciment, sont déterminées au laboratoire CETIM de Boumerdes, (Tableaux III.1 & III.2).



Figure III.1 : Ciment Matine

**Tableau III.1 : Composition chimique du ciment.**

Composition chimique	Teneur en %
SiO <sub>2</sub>	18,29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,042
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,97
CaO	60,03
MgO	1,69
K <sub>2</sub> O	0,59
Na <sub>2</sub> O	0,01
SO <sub>3</sub>	2,28
CaO libre	1,362
Cl	0,020
Ins	3,59
P.F	9,36

**Tableau III.2 : Analyse minéralogique du ciment.**

Phase	Constituants minéraux du clinker	Teneur rapportée au clinker (%)
Clinker	C <sub>3</sub> S	56
	C <sub>2</sub> S	20
	C <sub>3</sub> A	05
	C <sub>4</sub> AF	13
	CaO libre	01
Régulateur de prise	gypse	05
Ajouts	Calcaire(L)	20

Les caractéristiques mécaniques du ciment ont été déterminé à la norme **NF EN 196-1** [36] .  
Le **Tableau III.3** récapitule les résultats des essais à la compression et à la flexion du ciment.

**Tableau III.3 : Caractéristique mécanique du ciment.**

Échéances jours	Charge à la flexion (KN)	Contrainte de compression(MPa)
28	2.53	41.12

Le temps de prise a été déterminé selon la norme **NF 480-2** [37] par l'observation de la pénétration d'une aiguille dans une pâte de ciment de consistance normalisée, jusqu'au moment où elle atteint une valeur spécifiée (**Tableau III.4**).

**Tableau III.4 : propriétés physiques de ciment.**

Consistance normale de la pâte de ciment (%)	Temps de prise	
	Début de prise (min)	Fin de prise (min)
27,50	120	240

La masse volumique absolue de ciment a été obtenue par la mesure la masse volumique absolue du ciment anhydre qui varie en fonction de la composition du ciment.

$$\rho_c = \rho_t \times \frac{m_c}{m_t}$$

$$\rho_c = 2,9 \text{ g/cm}^3$$

$\rho_t$  : la masse volumique de toluène (licence)

$m_c$  : la masse de ciment

$m_t$  : la masse de toluène (nous avons remplacé le toluène par licence)

### III.2.2 Les granulats :

Pour la réalisation de notre programme expérimental, nous avons utilisé quatre classes granulaires différentes 0/3, 0/4, 3/8, 8/16, qui sont tous naturels et obtenus par concassage. Les graviers provenant à Sétif. Les deux types de sable, sable de Baghlija classe **0/4** et sable de Boughezoul classe **0/3** sont présentés dans les **figures III.2&III.5**.

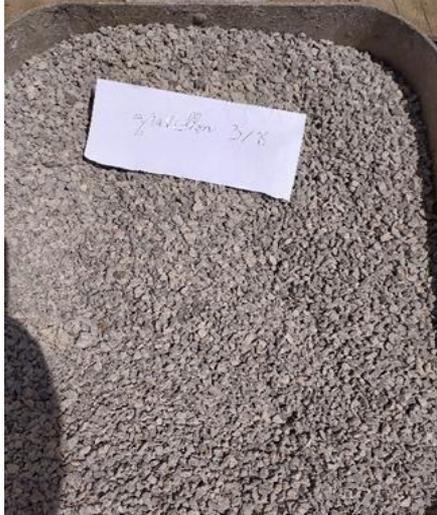


Figure III.2 : Gravier 3/8.



Figure III.3 : Gravier 8/16.



Figure III.4 : Sable fins  
de Bougezoul.



Figure III.5 : Sable grossier  
de Baghlia.

### III.2.3 Eau de gâchage :

L'eau utilisée pour la confection des différents bétons, est une eau potable de robinet de laboratoire sans traitement supplémentaire. Il est approprié pour la fabrication du Béton.

### III.2.4 Granulats de déchets plastiques :

Dans notre travail, nous avons utilisé 2 types de déchets plastiques :

#### *Déchet plastique en forme de grain (DGP) :*

Les déchets plastiques de forme grains (**Figure III.6**), obtenus par le recyclage des bouteilles plastiques PET (polyéthylène téréphtalate) aux l'entreprise EPWG CET Blida à Guerouaou.

La densité est inférieure à celle de l'eau. Les déchets plastiques présentent une bonne résistance chimique. L'incorporation de grain plastique dans le béton par rapport à la masse du gravier en pourcentage de 10%, 20%.



**Figure III.6 : Déchets des grains plastiques.**

***Déchet plastique en forme de fibre (DFP) :***

Les fibres plastiques (**Figure III.7**), obtenues par le recyclage des bouteilles plastiques PET (polyéthylène téréphtalate). Cette fibre de dimension de 2,5 cm de longueur, et de (1 à 2 mm) de diamètre, nous avons déterminé à la main. L'incorporation de ces déchets dans le béton par addition par rapport à la masse du ciment avec les pourcentages suivant : 0,5% ; 1%.



**Figure III.7 : Déchets des fibres plastiques.**

### III.2.5 Les adjuvants :

Les adjuvants les plus utilisés sont les plastifiants, sont des adjuvants à pouvoir de réduction d'eau. Ils permettent ainsi d'obtenir un béton plus résistant.

Nous avons utilisé un plastifiant réducteur d'eau commercialisé sous le nom : NOVA PLAST WR150 (**figure III.8**). Cette Dosage entre (0.5 à 2%) du poids du ciment. Il présente les caractéristiques suivantes (**Tableau III.5**) :

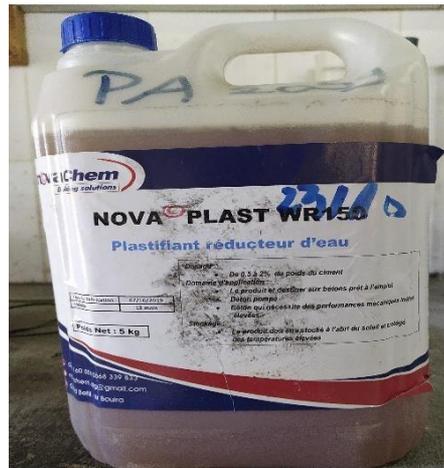


Figure III.8 : plastifiant NOVA PLAST WR150.

Tableau III.5 : Caractéristiques de L'adjuvant.

Caractéristique	Valeur
forme	Liquide
couleur	Brun clair
densité	1.098
délai de conservation	12 mois

### III.3. Analyse granulométrique des granulats

Les mesures de la granularité consistent à déterminer la distribution dimensionnelle des grains, et appelée aussi granulométrie, exprimée en pourcentage de masse, passant au travers d'un ensemble spécifié de tamis, cette essai réalisé conformément à la norme NA2607[38].

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

Les résultats analytiques des différentes classes granulaires des granulats naturels (sable et gravier) sont consignés dans les **tableaux III.6 a III.9** ci-après :

**Tableau III.6 : Analyse granulométrique du sable grossier 0/4 (baghlia).**

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus Ri(g)	Pourcentage (%)	
		Refus Cumulés	Tamisats cumulés
8.0	0	0%	100%
5	0	0%	100%
4.0	42,4	7,06%	92,94%
2.0	272,8	53,20%	46,80%
1.0	91,9	68,52%	31,48%
0.5	69,6	80,12%	19,88%
0.20	58,1	89,80%	10,20%
0.125	40,9	96,60%	3,40%
0.063	20	99,95%	0,05%

**Tableau III.7 : Analyse granulométrique du sable fin 0/3 (boughezoul).**

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus Ri(g)	Pourcentage (%)	
		Refus Cumulés	Tamisats cumulés
8.0	0	0%	100%
5	0	0%	100%
4.0	2,4	0,40%	99,60%
2.0	31,1	5,58%	94,42%
1.0	40,6	12,35%	87,65%
0.5	255,1	54,86%	45,14%
0.20	242,3	95,25%	4,75%
0.125	18,8	98,38%	1,62%
0.063	9,1	99,90%	0,10%

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

**Tableau III.8 : Analyse granulométrique du gravillon 3/8 :**

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus Ri(g)	Pourcentage (%)	
		Refus Cumulés	Tamisats cumulés
16	0	0%	100%
8.0	2,3	0,38%	99,62%
5	208,3	35,10%	68,50%
4.0	208,1	69,78%	30,22%
2.0	181,3	100%	0%
1.0	0	100%	0%
0.5	0	100%	0%
0.20	0	100%	0%
0.125	0	100%	0%
0.063	0	100%	0%

**Tableau III.9 : Analyse granulométrique du gravillon 8/16.**

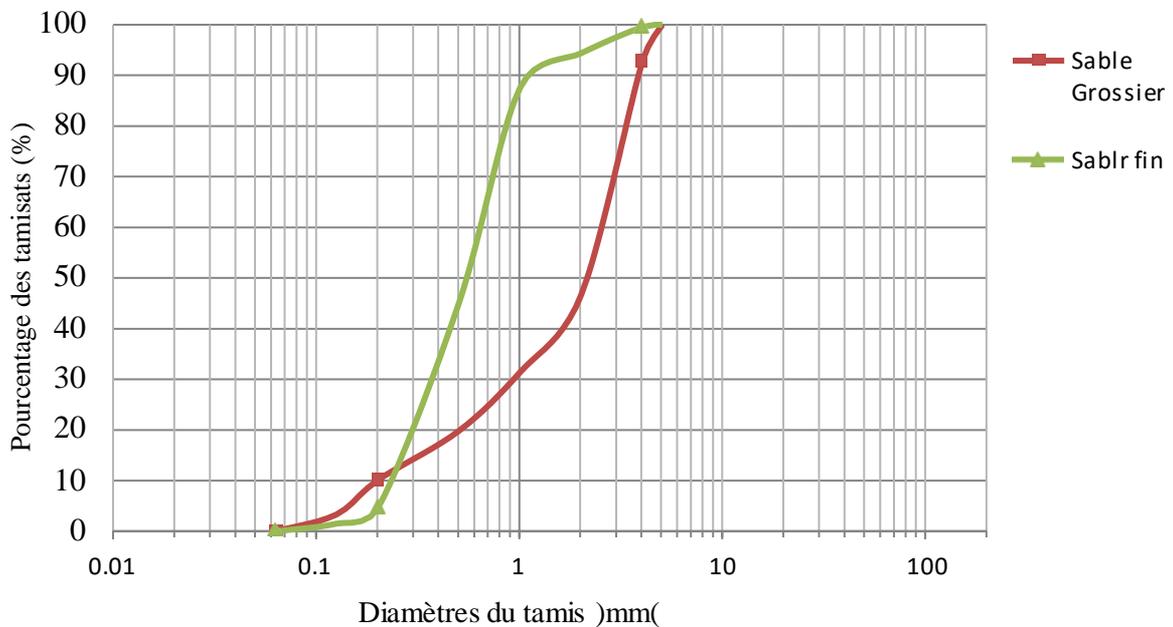
Ouverture des tamis(mm)	Masse de refus Ri(g)	Pourcentage (%)	
		Refus Cumulés	Tamisats cumulés
31,5	0	0,00%	100%
16	135,4	5,20%	94,80%
8.0	2400	97,50%	2,50%
5	63,7	99,96%	0,04%
4.0	0,8	99,99%	0,01%
2.0	0	99,99%	0,01%
1.0	0	99,99%	0,01%
0.5	0	99,99%	0,01%
0.20	0	99,99%	0,01%
0.125	0	99,99%	0,01%
0.063	0	99,99%	0,01%

Le tableau III. 10 présente l'analyse granulométrique des grains de déchets de plastique :

**Tableau III.10 : Analyse granulométrique du grain plastique.**

Ouverture des tamis (mm)	Masse de refus Ri(g)	Pourcentage (%)	
		Refus Cumulés	Tamisats cumulés
16	0	0,00%	100,00%
10	6,3	1,05%	98,95%
8.0	104,3	18,43%	81,57%
5	261	61,93%	38,07%
4.0	78,5	75,00%	25,00%
2.0	149,9	100,00%	0,00%
1.0	0	100,00%	0,00%
0.5	0	100,00%	0,00%
0.20	0	100,00%	0,00%
0.125	0	100,00%	0,00%
0.063	0	100,00%	0,00%

Les courbes granulométriques des sables et des gravillons et de grains plastiques sont données par les figures III.9 a III.11 :



**Figure III.9 : Courbes granulométriques du sable grossier 0/4(baghlia) & sable fin 0/3(boughezoul).**

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

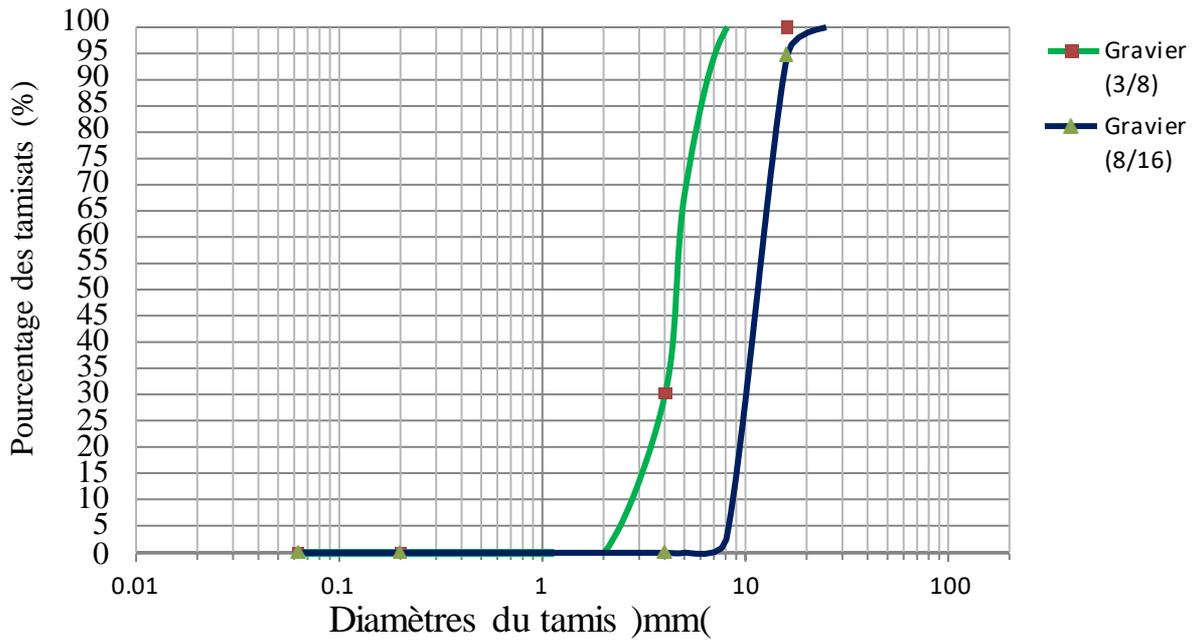


Figure III 10 : Courbes granulométriques du gravillon 3/8 & gravillon 8/16.

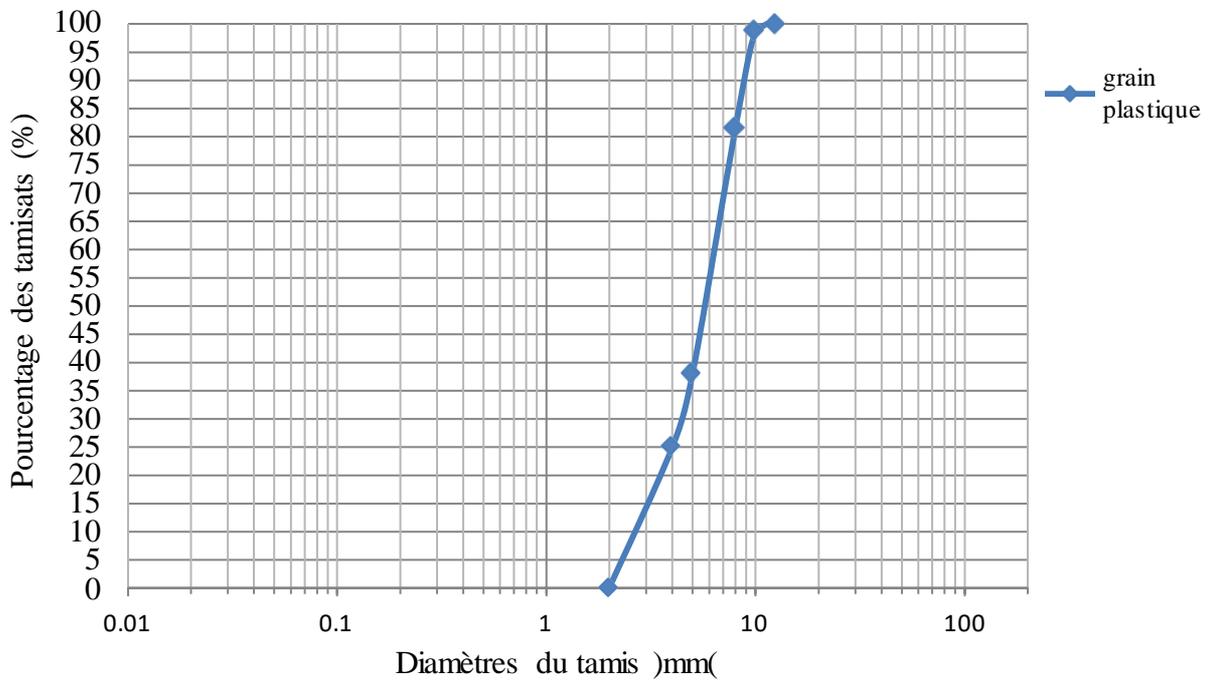


Figure III.11 : Courbe granulométrique de grains plastiques

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

Tous les granulats doivent être désignés en termes de classes granulaires d/D, La classe granulaire est définie par deux dimensions d'ouverture de mailles carrées « d/D », réservée à la désignation des granulats dont les dimensions s'étalent de la plus petite dimension « d » à la dimension supérieure « D ». Cette appellation doit satisfaire aux conditions déterminées sur les tamisats et les refus, comme il est défini dans la norme **NA 2607**[38].

Le sable grossier de Baghlia, dont D est 4 mm, répond aux exigences de la classe granulaire 0/4 (**Tableau III.11**).

Le sable fin de Bougezoul, dont D est 3 mm, répond aux prescriptions de granularité d'un sable 0/3 (**Tableau III.12**).

Les gravillons de classe d/D répondent bien aux exigences de granularité des graviers 3/8 et 8/16 (**Tableau III.13**).

Les grains plastiques, dont D est 10 mm, répondent aux prescriptions de granulats (2/10) selon le **Tableau III. 14**.

**Tableau III.11 : Exigences relatives aux granularités applicables aux sables (0/4) :**

Dimensions		Limites en % de tamisats		
Granularité	D ≤ 4 mm et d = 0	2D	1.4 D	D
		100	100	93

**Tableau III.12 : Exigences relatives aux granularités applicables aux sables (0/3) :**

Dimensions		Limites en % de tamisats		
Granularité	D ≤ 4 mm Et d = 0	2D	1.4 D	D
		100	100	99-94

**Tableau III.13 : Exigences relatives aux granularités applicables aux gravillons (3/8 & 8/16) :**

Dimensions		Limites en % de tamisats		
		2D	1.4 D	D
Granularité	D/d ≤ 2 Où D ≤ 11,2 mm	100	100	99
	D/d > 2 Et D > 11,2 mm	100	100	95

**Tableau III.14 : Exigences relatives aux granularités applicables aux grains plastiques :**

Dimensions		Limites en % de tamisats		
		2D	1.4 D	D
Granularité	D/d ≤ 2 Où D ≤ 11,2 mm	100	99	82

Le **tableau III.15** résume les résultats précédents :

**Tableau III.15 : Classe granulaire réelle des gravillons :**

Gravillons	Classe granulaire réelle
gravier	03/08
gravier	08/16
Grain plastique	02/10

#### **III.4 Forme des gravillons ‘coefficient d’aplatissent’ :**

La forme des gravillons est déterminée par la mesure du coefficient d’aplatissement « A ».

Ce coefficient est déterminé selon les modalités de la norme algérienne **NA 5125** [39].

Le coefficient est exprimé en pourcentage et arrondi au nombre entier le plus proche comme il est indiqué dans l’équation ci-après :

$$A = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

$M_1$  : est la somme des masses des granulats élémentaires  $d_i / D_i$  (en grammes).

$M_2$  : est la somme des masses de passants sur les grilles à fentes correspondantes d’écartement  $D_i / 2$  (en grammes).

Les coefficients d’aplatissement obtenus pour les deux gravillons testés sont indiqués dans le **tableau III. 16**. Selon la norme **EN 933-3** [39], il est bien clair que les deux différentes classes granulaires ont les mêmes catégories, ce qui est adéquat pour la confection d’un béton hydraulique.

**Tableau III.16 : Coefficients d’aplatissement des gravillons :**

Gravillons	Coefficient d’aplatissement «A»	Catégorie Selon la norme EN933-3
3/8	12%	FI <sub>15</sub>
8/16	5%	FI <sub>15</sub>

### III.6 Caractérisation du sable

#### Module de finesse

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Conformément à l'annexe B de la norme **NA 5113** [40], le module de finesse « FM » est défini comme étant égal au centième de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages sur les tamis de la série suivante : 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2 et 4 mm. La méthode d'Abrams permet de contrôler la régularité d'un sable et aussi le calcul rapide de la correction granulaire.

$$FM = \frac{\Sigma(RC4+RC2+RC1+RC0,5+RC0,25+RC0,125)}{100}$$

Pour le béton hydraulique, trois types de sables sont à distinguer selon leur module de finesse

- CF : sable grossier.
- MF : sable moyen.
- FF : sable faible.

**Tableau III.17 : Grosseur ou finesse de sable mesurée à partir du module de finesse :**

Module de finesse		
CF (grossier)	MF (moyen)	FF (fins)
4,0 à 2,4	2,8 à 1,5	2,1 à 0,6

Pour notre sable qui est un sable de concassage de classe granulaire 0/3 et 0/4, le module de finesse est égal à :

$$FM_{Fins} = 1.68$$

$$FM_{Gross} = 2.99$$

**Tableau III.18 : Le module de finesse des sables :**

Le sable	Module de finesse	Type de finesse
Sable Fins 0/3	1.68	fins
Sable Gross 0/4	2.99	grossier

Modification du module de finesse FM :

$$FM = 2.5 \rightarrow G_1 = 63\%$$

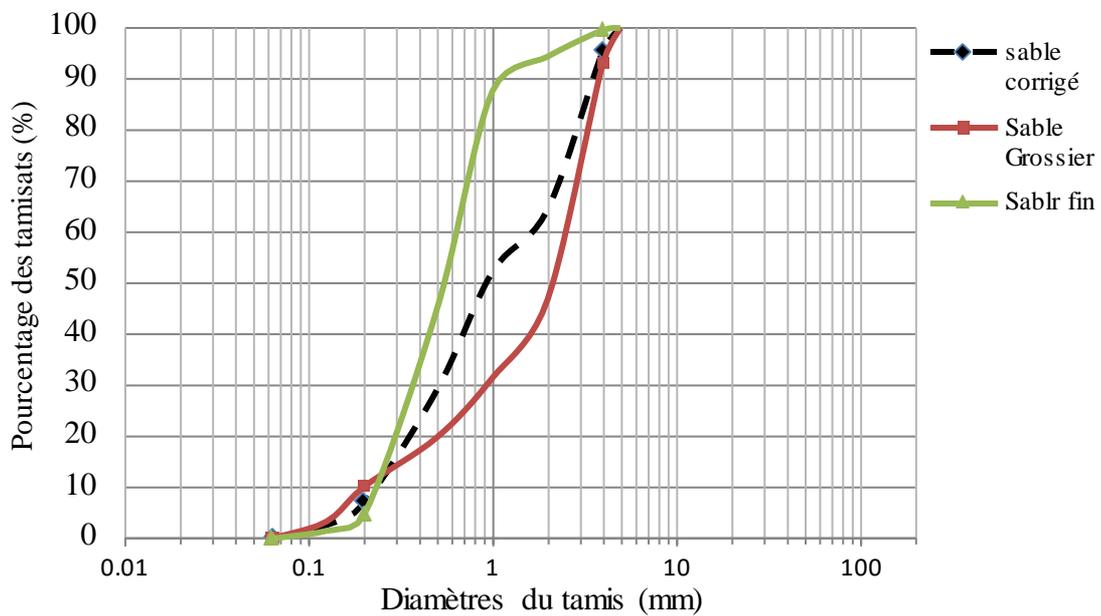
$$et G_2 = 37\%$$

Le tableau III. 19 présentes Les tamisats cumulent de Sable corrigé :

**Tableau III.19 : Les tamisats cumules de Sable corrigé :**

Module	Tamis	sable corrigé	Sable Grossier	Sable fin
19	0,063	0,07	0,05	0,1
22	0,125	2,74	3,4	1,62
24	0,200	7,03	10,2	4,75
28	0,500	29,23	19,88	45,14
31	1,000	52,26	31,48	87,65
34	2,000	64,42	46,8	94,42
37	4,000	95,4	92,94	99,6
38	5,000	100	100	100

La courbe granulométrique mélange des sables sont données par la figure III.12 :



**Figure III.12 : Courbe granulométrique mélange des sables.**

### Teneur en eau des sables

La teneur en eau des sables « W » est déterminée, conformément à la norme **NF EN 1097 [59]**

$$W = \frac{300 - M_s}{M_s} \times 100$$

- Sable grossier :  $W = 0,57 \%$ .
- Sable fins :  $W = 0\%$ .

### Teneur en fine des sables

La teneur en fines des sables « f » est déterminée par l'analyse granulométrique par tamisage conformément à la norme **NF EN 933-8+A1 [60]**. Elle représente le pourcentage des éléments passant à travers le tamis de **0,063 mm** qui est calculé conformément à l'équation suivante :

$$f = 100 - \frac{M_2 (100 + w)}{M_1}$$

Avec :

$M_1$  : La masse de la seconde prise d'essai 300 g.

$M_2$  : La masse  $M_1$  laver sur tamis de 0,063mm et sécher.

w : Teneur en eau des sables

$M_3$  : La masse des granulats humides provenant de sous-échantillon

$M_4$  : La masse du sable correcteur sec.

- Sable grossier :  $f = 20\% \rightarrow f > 10\% \rightarrow M_4 = 120 - \frac{1200}{f} = 59,75\text{g}$

$$\text{Prise d'essai de sable grossier : } M_T = \underbrace{\frac{1200}{f} \left(1 + \frac{W}{100}\right)}_{M_3} + M_4 = 120,94\text{g}$$

- Sable fin :  $f = 6,54\% \rightarrow f \leq 10\%$

$$\text{Prise d'essai de sable fins : } M_T = \frac{120 \times (100 + W)}{100} = 120\text{g}$$

L'évaluation des fines est obtenue par l'essai d'équivalent de sable. L'essai est réalisé selon les modalités de la norme **NF EN 933-8+A1 [60]**, il est utilisé pour évaluer la propreté

des sables. Il est défini par un rapport volumétrique entre les sédiments sableux et les éléments fins qui flocculent (floculat). L'équivalent de sable est donné par la formule :

$$Es = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

Pour les deux sables testés, les valeurs de l'équivalent de sable sont de l'ordre de **63 %** pour le sable grossier (baghlia), et **62%** pour le sable fins (bougezoul) '**sables légèrement argileux**'.

Le tableau suivant résume les résultats précédents de la caractérisation du sable.

**Tableau III.20 : Résultats d'essai évaluation des fines-équivalent de sable.**

sable	Teneur en fine (g)	Teneur en eau (%)	Prise d'essai (g)	Équivalent de sable (%)	Catégorie
sable fins	6.54	0	120	62	Sables légèrement argileux
sable grossier	20	0.57	120.94	63	

### III.7 : Propriétés physiques et mécaniques des granulats

#### Essai Los-Angeles

L'essai los-Angeles permet de mesurer la résistance à la fragmentation par choc des gravillons conformément à la norme algérienne **NA458** [41]. L'essai doit être effectué sur un granulat élémentaire **10/14** et **4/6,3** (granularité de référence). Le coefficient Los Angeles « **LA** » est déterminé à partir de l'équation suivante :

$$LA = \frac{5000-m}{50}$$

Avec :

m : La masse du refus à 1,6 mm, exprimée en g.

- La valeur de **LA** obtenue de classe 4/6,3 (3/8) est égale à 22.
- La valeur de **LA** obtenue de classe 10/14 (8/16) est égale à 30.

Classement la nature des graviers sont données par le tableau suivant :

**Tableau III.21 : Classement la nature du gravier :**

gravillons	LA	Catégorie
Gravier (3/8)	22	Gravier dur
Gravier (8/16)	30	Gravier assez dur

### Essai de micro-Deval

L'essai consiste à mesurer l'usure produite dans des conditions définies par frottements réciproques des granulats dans un cylindre en rotation avec une charge abrasive, doit être déterminée conformément à la norme **NA5129** [42]. Le coefficient de micro-Deval «**M<sub>DE</sub>** » est déterminé à partir de l'équation suivante :

$$M_{DE} = \frac{500-m}{5}$$

m= la masse de refus à 1,6mm en grammes

- La valeur de M<sub>DE</sub> obtenue de classe 4/6,3 (3/8) est égale à 18.
- La valeur de M<sub>DE</sub> obtenue de classe 10/14 (8/16) est égale à 19.

Les catégories des graviers sont données par le tableau suivant :

**Tableau III.22 : Catégorie des graviers.**

gravillons	MDE	Catégorie
Gravier (3/8)	18	Bon à moyen
Gravier (8/16)	19	Bon à moyen

### Mesure de la masse volumique réelle et l'absorption d'eau

La méthode de pycnomètre est celle utilisée que ce soit pour les sables ou les gravillons pour déterminer leurs différentes caractéristiques. Les types des masses volumiques réelles ( $\rho_{rd}$  et  $\rho_{ssd}$  selon le cas), calculer en mégagrammes par mètre cube.

L'absorption d'eau « WA<sub>24</sub> », elle est par définition le rapport de l'augmentation de masse d'un échantillon de granulats à sa masse sèche, après passage à l'étuve, du fait de la pénétration de l'eau dans les pores accessibles à l'eau. Le coefficient d'absorption d'eau (en pourcentage de la masse sèche), après immersion pendant 24 h. L'essai est conduit selon les modalités de la norme **NF EN 1097-6**[43]. Ces différentes masses volumiques réelles ainsi que l'absorption d'eau sont données par les formules suivantes :

- Masse volumique réelle déterminée par séchage à l'étuve :

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

- Masse volumique réelle saturée surface sèche :

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

- L'absorption d'eau :

$$WA_{24} = \frac{M_1 - M_4}{M_4} \times 100$$

Avec :

- M1 : masse des granulats saturés et superficiellement secs dans l'air, en g
- M2 : masse du pycnomètre contenant l'échantillon de granulats saturés, en g
- M3 : masse du pycnomètre rempli d'eau uniquement, en g
- M4 : masse de la prise d'essai séchée à l'étuve dans l'air, en g

Les résultats trouvés des granulats testés sont résumés dans le tableau III.23 ci-après :

**Tableau III.23 : Masses volumiques réelles et absorption d'eau des granulats :**

Classe granulaire	Masse volumique Réelle (t/m <sup>3</sup> )		Absorption d'eau WA <sub>24</sub> (%)
	ρ <sub>rd</sub>	ρ <sub>ssd</sub>	
Sable fins (0/3)	1,49	1,83	0,46
sable grossier (0/4)	2,3	2,41	0,54
Gravillon 3/8	0,91	1,58	0,63
Gravillon 8/16	1,29	1,82	0,71

**Mesure des masses volumiques absolues et apparente :**

**La masse volumique apparente** est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel, après passage à l'étuve à 105±5°C (la norme **NF EN 1097-6** [43]), notée ρ<sub>app</sub> et exprimée en (gr/cm<sup>3</sup>, kg/m<sup>3</sup>)

$$M_3 = M_1 - M_0$$

Avec :

- M<sub>3</sub>= la masse de l'échantillon seul
- M<sub>1</sub>= la masse de récipient rempli
- M<sub>0</sub>= la masse de récipient vide

Nous avons refait l'essai trois fois et calculer la moyenne, les résultats présents sur le **tableau III.24**

**La masse volumique absolue** est la masse d'un corps par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains

Après passage à l'étuve à 105±5°C (la norme **NF EN 1097-6**[43]), notée ρ<sub>ab</sub> et exprimée en (gr/cm<sup>3</sup> ; kg/m<sup>3</sup>).

L'équation de la masse volumique absolue suivant :

$$\rho_{ab} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

- M= la masse d'échantillon sec de granulats
- V2= le volume d'eau + échantillon
- V1= le volume d'eau

**Tableau III.24 : Les résultats de masse volumique absolue et apparente :**

Classe granulaire	Masse volumique absolue	Masse volumique apparente
sable fins (0/3)	2,68	1,4
sable grossier (0/4)	2,57	1,43
gravillon 3/8	2,63	1,43
gravillon 8/15	2,56	1,47
fibre plastique	1,25	-

### III. 8 Formulation de béton

Plusieurs méthodes de formulation utilisées parmi lesquelles la méthode pratique simplifiée dite méthode **Dreux-Gorisse**. Cette méthode est retenue pour sa simplicité à déterminer les différents constituants du béton. La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux – Gorisse, qui se base sur l'utilisation de courbes granulaires.

**Tableau III.25 : L'analyse granulométriques des sables corrigé et des gravillons.**

Module	Tamis	sable corrigé(%)	Gravier (3/8)(%)	Gravier (8/16)(%)
19	0,063	0,08	0	0,01
22	0,125	2,59	0	0,01
24	0,200	7,72	0	0,01
28	0,500	31,35	0	0,01
31	1,000	56,97	0	0,01
34	2,000	68,5	0	0,01
37	4,000	95,94	30,22	0,01
38	5,000	100	68,5	0,04
40	8,000	100	99,62	2,5
43	16,000	-	100	94,8
45	25,000	-	-	100
46	31,500	-	-	100

La courbe granulométrique des sables corrigé et des gravillons et la courbe de référence sont données par les **figures III.13 & III.14** :

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

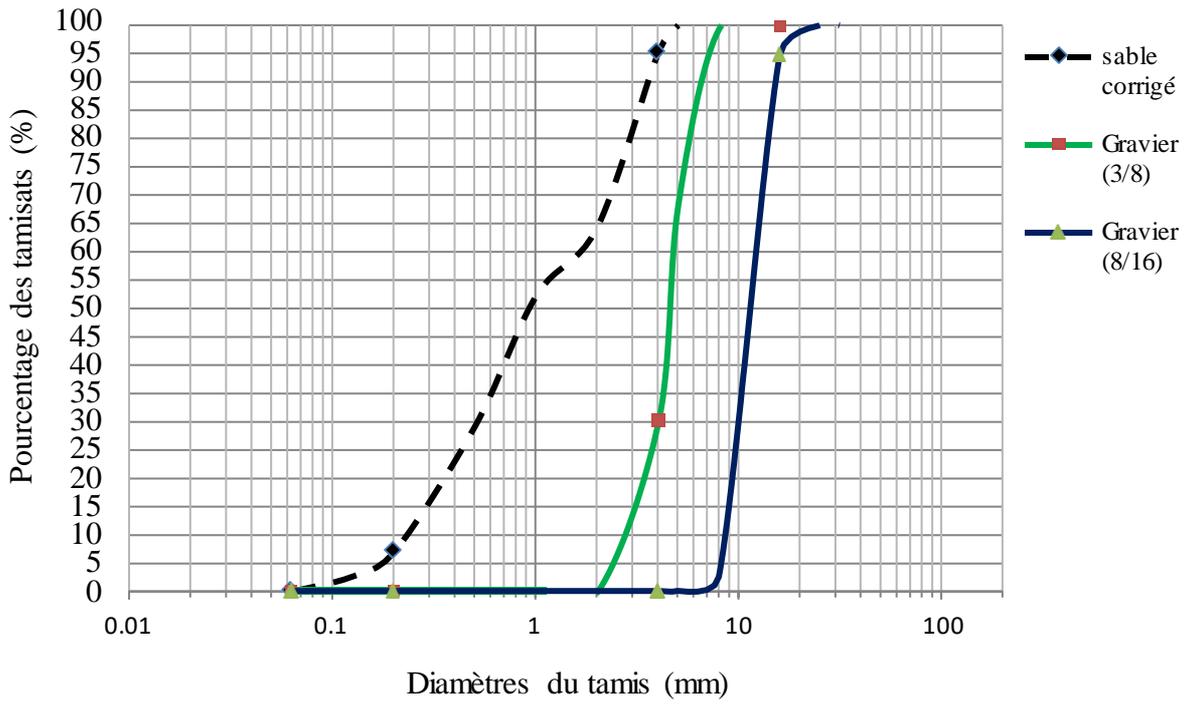


Figure III.13 : Courbe granulométrique des sables corrigé et des gravillons.

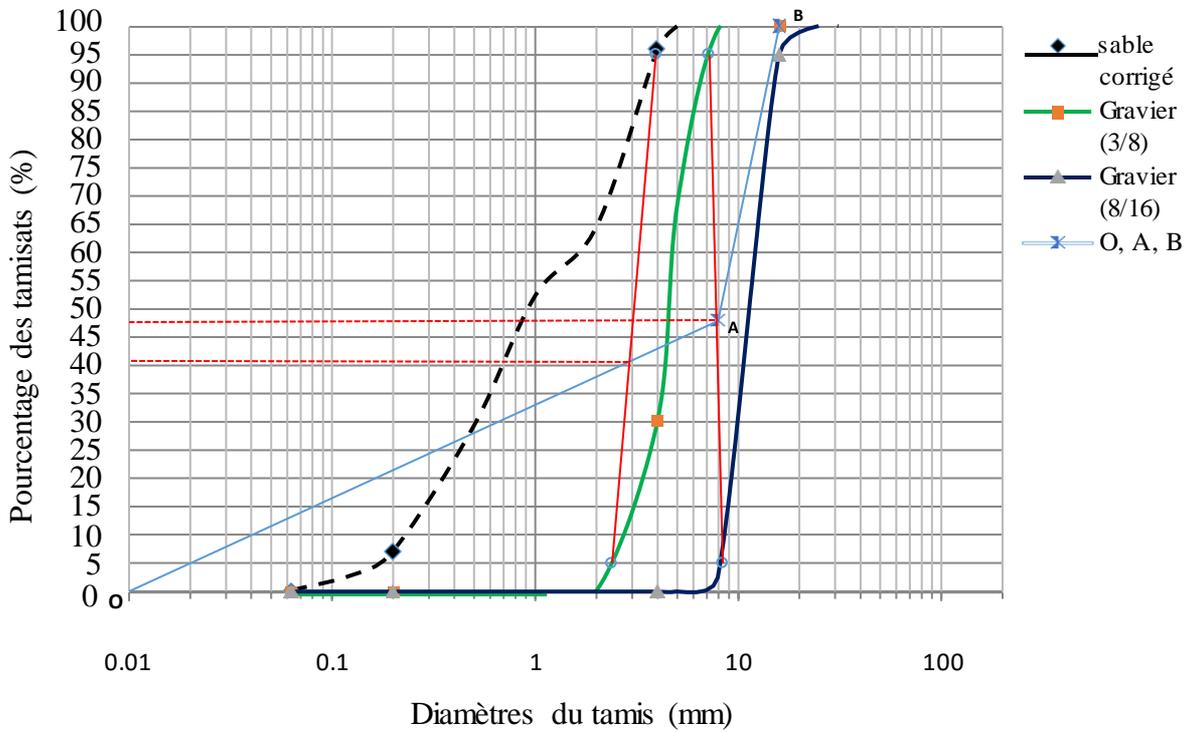


Figure III.14 : Courbe de référence.

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

Les tableaux suivant résumement :

- Les proportions de mélange du béton (tableau III.26).
- Les différentes compositions pour 1 m<sup>3</sup> de chaque béton (tableau III.27).

**Tableau III.26 : proportion de mélange du béton (kg/m<sup>3</sup>) (voir Annexe 7) :**

Constituant		Quantité	Remarque
Ciment		408.6kg	CEM II /42.5
Gravier	3/8	121.53kg	Max 8 mm
	8/16	878.7kg	Max 16 mm
Sable	Boughezoul	268.33kg	Max 3 mm
	Baghlia	438.13kg	Max 4 mm
Eau		213.93kg	Eau du robinet
E/C		0.52	-
G/S		1.42	-

**Tableau III.27 : composition des bétons pour 1 m<sup>3</sup> :**

	BT	BDGP		BFP	
		10%	20%	0,5%	1%
Ciment (kg)	408,6				
sable fins (kg)	268,33	268,33	268,33	268,33	268,33
sable gros (kg)	438,13	438,13	438,13	438,13	438,13
Gravier 3/8(kg)	121,53	109,38	97,22	121,53	121,53
Gravier 8/16(kg)	878,7	878,7	878,7	878,7	878,7
Eau (kg)	213,93				
E/C	0,52				
Déchets (kg)	-	12,15	24,31	2,043	4,086
Plastifiant (kg)	0	2,043	2,043	0	0

**Remarque :**

- Nous avons utilisé les pourcentages des grains plastiques par rapport à la masse de gravier 3/8.
- Nous avons utilisé les pourcentages des fibres plastiques en fonction de la masse du ciment.

### III.9 Techniques expérimentales

Nous allons exposer la méthodologie des expériences menées sur les différents échantillons confectionnés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur (NF EN 480-1) [44].

#### Mise en œuvre :

Les étapes constituent le mode de fabrication de béton de déchets plastiques.

- ✓ Introduction du gravier 8/16 ensuite gravier 3/8 ensuite le ciment et en dernier lieu le sable.
- ✓ L'homogénéisation du mélange à sec (ciment et sable et gravier) pendant deux minutes le malaxage se fait à vitesse lente.
- ✓ Introduction de l'eau de gâchage au cours du malaxage, ce qui a pour but de mouiller le mélange et de faciliter la mise en place, ceci pendant deux minutes à vitesse rapide. Les déchets plastiques progressivement en pluie au mélange lors de la première phase de malaxage à grande vitesse. Cette étape prendra deux minutes aussi.

L'homogénéisation est réalisée à l'aide d'un malaxeur à axe vertical d'une capacité de 40 litres pour les essais de formulation et de caractérisation (**Figure III.15**).

La confection des éprouvettes se fait dans les 30 min qui suivent la fin du malaxage.



**Figure III.15 : Malaxage de béton.**

#### Essais sur béton frais

Les essais de caractérisation sur béton frais sont résumés dans le (tableau III.28) Suivant :

**Tableau III.28 : Les essais de caractérisation sur béton frais :**

Réf	Mélanges	Essais
A-1	BT	ouvrabilité
A-2	BDGP (10%)	
A-3	BDGP (20%)	
A-4	BFP (0,5%)	
A-5	BFP (1%)	
B-1	BT	densité
B-2	BDGP (10%)	
B-3	BDGP (20%)	
B-4	BFP (0,5%)	
B-5	BFP (1%)	
C-1	BT	air occlus
C-2	BDGP (10%)	
C-3	BDGP (20%)	
C-4	BFP (0,5%)	
C-5	BFP (1%)	

**a. L'ouvrabilité (affaissement au cône d'Abrahams) :**

L'ouvrabilité a été mesurée selon la norme **NF P18-451** [45]. Cet essai consiste à remplir un moule tronconique ( $D=20$  cm,  $d= 10$ cm,  $h= 30$ cm) en trois couches tassées par une tige d'acier de 16 mm de diamètre et d'extrémité arrondie. Le piquage est exécuté selon un ordre de 25 coups par couche avec répartition des coups uniformément sur la section de chaque couche. On soulève, ensuite, le moule verticalement avec précaution et sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, puis, on mesure l'affaissement.



**Figure III.16 : L'essai d'Affaissement au cône d'Abrahams.**

**b. L'air occlus :**

L'air occlus a été mesurée selon la norme **NF 12350-7**[46]. L'air occlus est le volume d'air relatif qui restera piégé dans le béton, même après la mise en œuvre. Pour réaliser un béton le plus compact possible, il faut diminuer le volume d'eau sans augmenter le volume d'air occlus et par conséquent sans diminuer la maniabilité du mélange. Il est possible d'évaluer la quantité d'air enfermée lors de remplissage d'un volume en exploitant un volume de référence cylindrique. Nous avons utilisé pour cela un aéromètre de huit litres. (**Figure III.17**).

On commence par remplir la chambre inférieure de l'appareil, sur trois couches égales tout en vibrant (par piquage) à chaque fois. On fixe ensuite la chambre supérieure, on injecte de l'eau à l'aide d'un tube dans le premier robinet.

Le deuxième est ouvert. Quand l'eau commence à sortir par ce dernier, on ferme les deux robinets et on applique une pression en actionnant la pompe manuelle intégrée jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre de l'appareil indique la valeur de référence 0 %. On ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres (supérieure et inférieure), le mélange est alors comprimé et le pourcentage d'air occlus est directement indiqué par l'aiguille du manomètre (**Figure III.18**).



**Figure III.17 : L'aéromètre.**



**Figure III.18 : Réalisation d'essai (air occlus ).**

**c. La densité :**

La masse volumique du béton a été mesurée selon la norme **NF P18- 440**[47].

La masse volumique est calculée selon la formule :

$$M_v = \frac{m_2 - m_1}{v}$$

- $M_v$  : la masse volumique du béton frais, en kilogrammes par mètre cube ( $\text{kg/m}^3$ )
- $m_1$  : la masse du récipient, en kilogramme (kg)
- $m_2$  : la masse du récipient plus la masse de béton contenu dans le récipient en kilogrammes (kg)
- $v$  : le volume du récipient, en mètre cube



**Figure III.19 : Mesure des masses ( $m_1$ ,  $m_2$ ).**

**d. Coulage et vibration :**

Les différents types de bétons sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Pour les différents essais sur le béton durci, nous avons choisis des éprouvettes Cubique de type  $15 \times 15 \times 15$  cm pour les essais de compression simple, et les essais de flexion. Des prélèvements sont réalisés dans des moules déjà graissés par un produit de décoffrage ce dernier est rempli à raison deux couches puis vibré, selon la condition d'hypothèse de formulation. À la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle. La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse est bien finie.



**Figure III.20 : Confection des éprouvettes.**

***e. Mode de conservation :***

Nous avons conservé les éprouvettes dans leurs moules pendant les premières 24 heures dans une ambiance à 20°C.

Après démoulage, elles sont conservées dans la même chambre de conservation jusqu'au moment de la réalisation des essais. Ces derniers se font à 7 jours et à 28 jours.

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection les éprouvettes ont été démoulées et conservées dans l'eau à 20°C ± 2°C (**Figure III.21**).

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.



**Figure III.21 : Conservation dans l'eau.**

**Essai sur béton durci**

Les essais de caractérisation sur béton durci sont résumés dans le **tableau III.29** suivant :

**Tableau III.29 : Les essais de caractérisation sur béton durci :**

Réf	Mélanges	nombre d'éprouvette	Dimension (cm <sup>3</sup> )	Age (jours)	type d'essai	
1	BT	30	15×15×15	7 et 28	compression	
2	BDGP					
3	BFP					
1	BT	30	7×7×28		flexion	
2	BDGP					
3	BFP					
1	BT	30	10×10×10	28	Absorption d'eau	
2	BDGP					
3	BFP					
1	BT	30				porosité
2	BDGP					
3	BFP					

**a. La masse volumique :**

Pour déterminer la masse volumique de différents bétons, nous avons mesuré 3 éprouvettes pour chaque béton et on prend la moyenne et multiplie par le volume de moule, selon la norme **NF EN 12390-7**[48].

$$MV = \frac{M_1}{V}$$

MV : la masse volumique en kg/m<sup>3</sup>

M<sub>1</sub> : la masse d'éprouvette en kg

V : volume de moule (cube) en m<sup>3</sup>

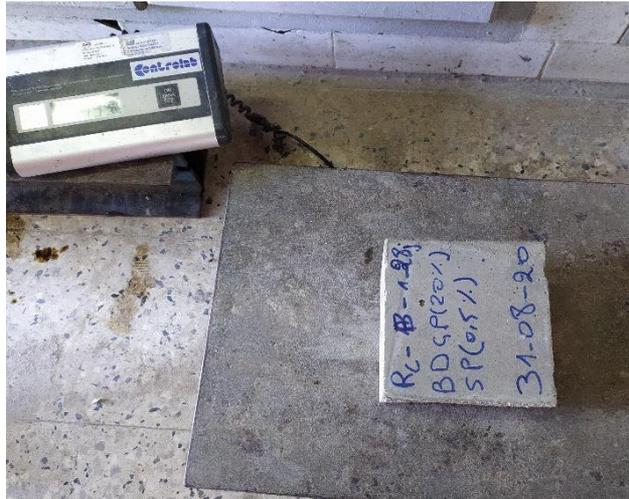


Figure III.22 : La masse volumique de béton.

***b. Essai d'ultrasonique :***

Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton et vérifier l'homogénéité du béton (**Fig.III.23**).

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

Avant faire cet essai, doit toujours contrôler par l'essai d'étalonnage avant chaque utilisation après il faut vérifier la température de chaque éprouvette.

Nous avons utilisé la méthode de mesure en transparence directe (**Fig. III.24**).

La vitesse des ultrasons calculée est exprimée à 0,01km/s près, selon la norme **EN 12504-4** [49].

$$V = \frac{L}{T}$$

V : est la vitesse de propagation du son (km/s).

L : est la longueur de parcours, en mm.

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en  $\mu$ s.

### CHAPITRE III MATERIAUX ET ESSAIS



Figure III.23 : Ultrasons.

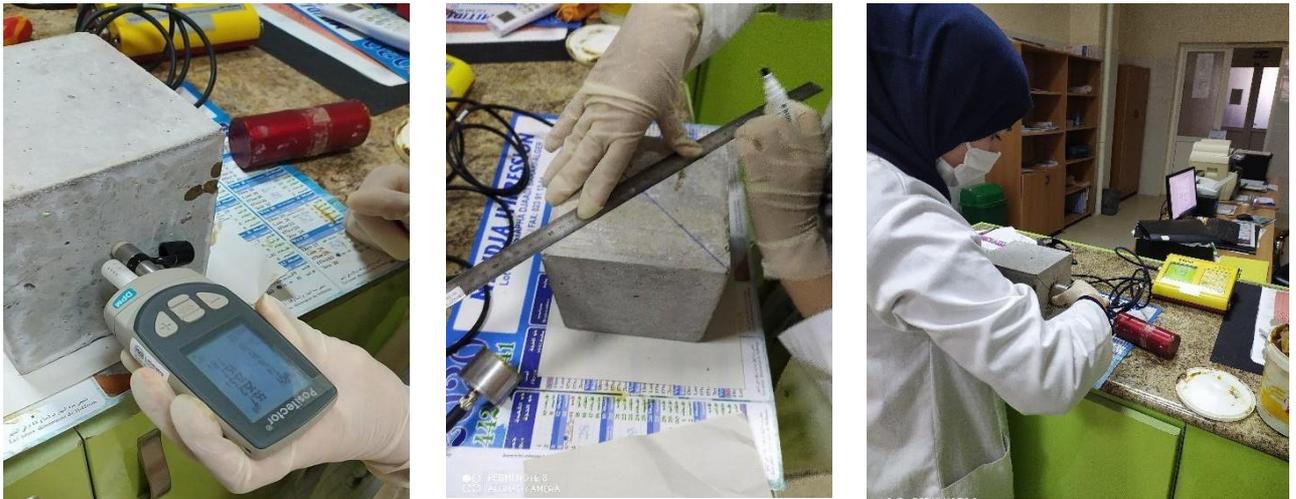


Figure III.24 : L'essai d'ultrasonique.

#### *c. Essai de scléromètre :*

Cet essai permet de déterminer la résistance à la compression et l'indice de rebondissement d'une surface de béton durci (évaluer l'homogénéité du béton in situ), à l'aide d'un marteau en acier projeté par ressort. Chaque surface d'essai doit être testée avec un minimum de 8 à 10 impacts. Les différents points d'impact doivent être à une distance minimale de 20 mm (fig. III.25).

Positionnez le marteau d'essai à béton perpendiculairement à et contre la surface. Appuyez sur le marteau pour essais de béton contre la surface d'essai à une vitesse modérée, jusqu'au déclenchement de l'impact, Les résultats de l'essai sont exprimés par la mesure de la distance

de rebondissement de la tige, nous utilisons le graphe suivant pour lire ses résistance du béton Conformément à la norme **EN 12504-2**[50].



Figure III.25 : Scléromètre.

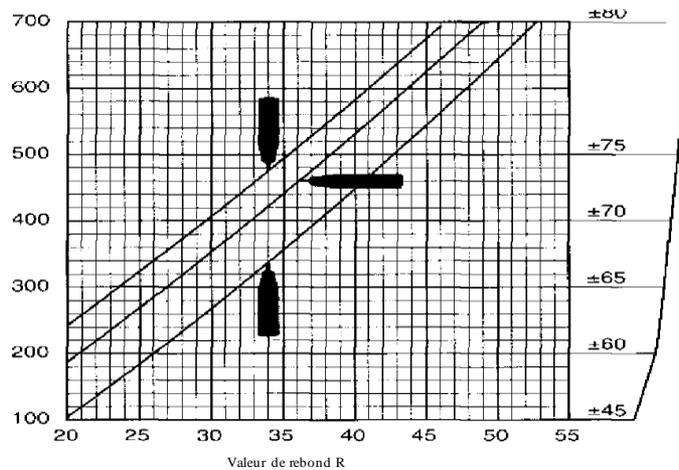


Figure III.26 : Les valeurs de compression en fonction de la distance indique au scléromètre.

**d. Résistance à la compression :**

Les essais de compression sur des éprouvettes cubique (de 15cm) de béton de déchets plastiques et témoin sont réalisés à l'aide d'une Presse de compression (norme **EN12390-4** [51]).

La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse d'une capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme **NF12390-3**[52] (**Figure III.27&III.28**).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacée pendant 24 heures. Après démoulage les éprouvettes sont conservées jusqu'à réalisation des essais dans le même milieu ambiant.

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La conduite de l'essai est la suivante :

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de  $\pm 0.2$  MPa. Pour des éprouvettes de 15x15x15 cm, cela signifie une montée en charge de 10 KN /s, 4 KN / s}. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.



Figure III.27 : Machine de compression.



Figure III.28 : Essai de compression.

***e. Résistance à la traction par flexion :***

Des éprouvettes prismatiques normalisées, de dimensions 7x 7x28 cm ont été utilisés pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui

répond aux normes munies d'un banc de flexion trois points et d'une capacité de 100 KN (Figure III.29 & III.30).

Cet essai est homologué de norme NF12390-5[53], et permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté « a » et de longueur « 4a » (7 x 7 x 28 cm). Pour une charge totale « P », le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :

$M = Pa / 3$  et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est  $F_{tj} = 3,6M / a$

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante :

$$F_{ct} = \frac{F \cdot I}{d_1 - d_2^2}$$

- $F_{ct}$  : la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré)
- $F$  : la charge maximale, en newtons
- $I$  : l'écartement entre les rouleaux d'appui, en millimètres
- $d_1, d_2$  : les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres



Figure III.29 : Machine de traction par flexion.



Figure III.30 : Essai de traction par flexion.

*f. L'absorption d'eau*

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà séché et on le pèse ( $m_0$ ), après on introduire le dans un bac remplir de 5 mm d'eau (Fig.31), pendant chaque intervalle de temps (1min,2min,5min 10min,20min, 30 min ,1 h, 2h ,4h ,6h,24h,48h, etc.) on remesure les morceaux ( $m_i$ ), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé ( $m_i - m_0$ ),selon la norme **C1585 – 11** [54].



Figure III.31 : L'essai d'absorption d'eau.

*g. Porosité :*

La mesure de la porosité accessible à l'eau du béton durci selon la norme **NF P 18-459** [61] implique la détermination par pesées des :

CHAPITRE III  
MATERIAUX ET ESSAIS

- Masse apparente dans l'eau après immersion dans l'eau (pesées hydrostatique) d'un corps d'épreuve de béton préalablement imprégné à l'eau sous vide.
- Masse dans l'air libre du même corps d'épreuve imbibé.
- Masse à l'état sec.

g.1. Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente  $\rho_d$  exprimée en kilogramme par mètre cube, est donnée par l'équation :

$$\rho_d = \frac{M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times \rho_{eau}$$

Avec :

$\rho_{eau}$  : masse volumique de l'eau, exprimée en  $kg/m^3$ , utilisée pour les pesées hydrostatiques.

g.2. Porosité :

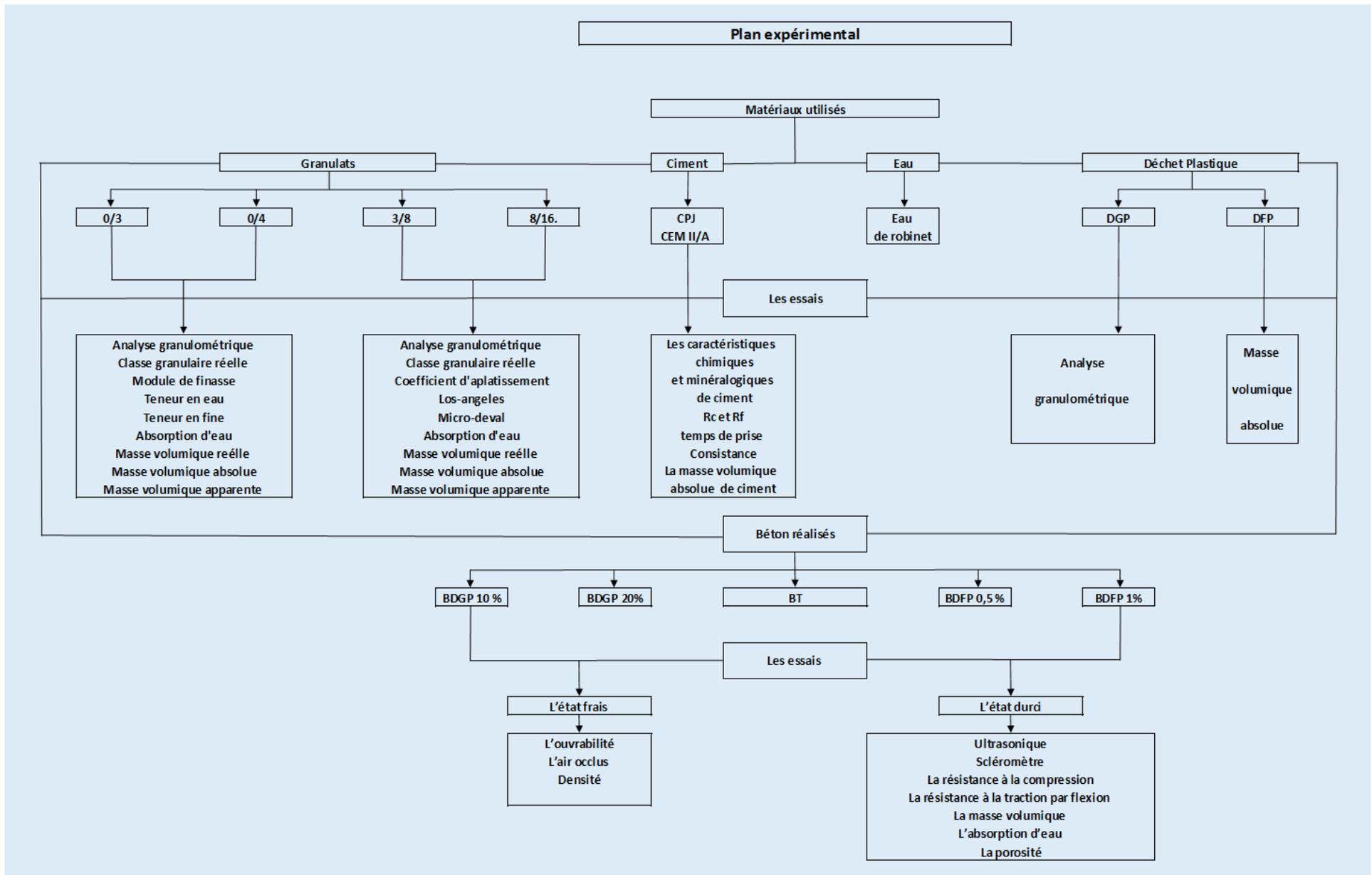
Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, la porosité accessible à l'eau,  $\varepsilon$  exprimée en pourcentage volumique, est donnée par l'équation :

$$\varepsilon = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{au}} \times 100$$



Figure III.32 : Porosité de béton.

Organigramme III.1 résumés notre travail dans laboratoire :



**Organigramme III.1 : Les essais expérimentaux**

### **III.10. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés (ciment, les granulats plastifiants). Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons ordinaires et bétons de déchets plastiques. Pour déterminer leurs ouvrabilités (essais d'affaissement au cône d'Abrams) et les essais de densité et l'air occlus.

Ensuite, les essais mécaniques ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, flexion, scléromètre, ultrasonique) et les essais de durabilité (absorption d'eau, porosité) Pour reconnaître l'effet des fibres et des grains plastiques sur le béton ordinaire que ce soit à l'état frais ou durci.

**CHAPITRE IV :**

**RESULTATS DES ESSAIS  
PRELIMINAIRES**

## CHAPITRE IV : RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

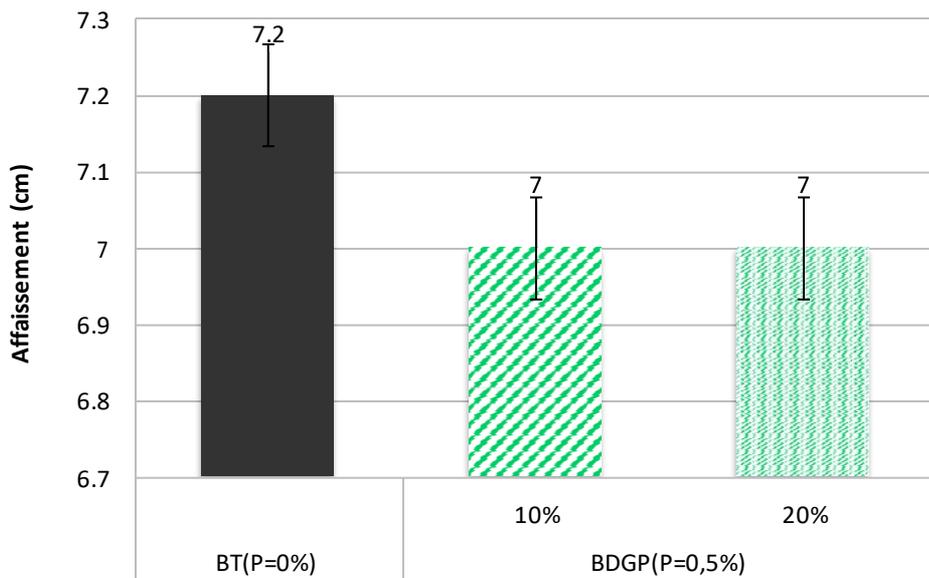
### IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les résultats obtenus à partir des différents essais cités dans le chapitre III, On a caractérisé le comportement physico-mécanique à l'état frais et durci tels que les résistances mécaniques des bétons avec et sans ajout des grains et fibres plastiques ainsi que les masses volumiques à l'état durcis. On présente, aussi, les résultats des essais de durabilité.

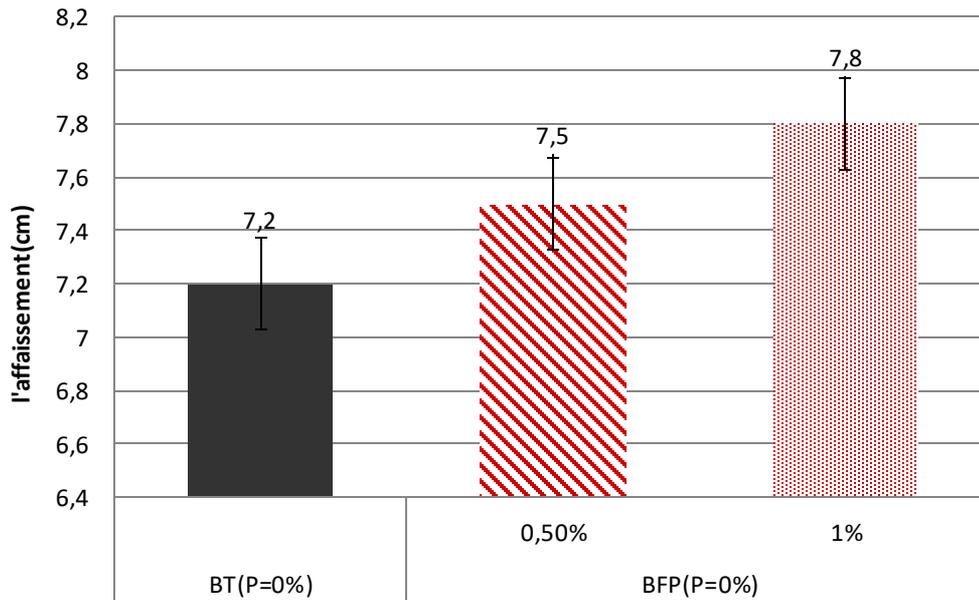
### IV.2 L'état frais

#### IV.2.1 L'ouvrabilité :

Pour comparer l'ouvrabilité des différents bétons, nous avons mesuré l'affaissement par le cône d'Abrams. Nous avons ajouté une quantité de plastifiant sur les bétons de grains plastique pour rester toujours dans la même phase (plastique), les **figure IV.1** & **Figure IV.2** montrent l'affaissement de chaque béton.



**Figure IV.1 : Effet du déchet grains plastiques sur l'affaissement.**



**Figure IV.2 : Effet du déchet fibres plastiques sur l'affaissement.**

D'après ces figures, on peut dire que l'affaissement du béton témoin (7.2cm) et l'affaissement de béton de déchets de fibre plastique (7.5et7.8cm pour BDFP0.5% et BDFP1% respectivement) restent dans la même classe de consistance. Par contre, l'affaissement de béton grains plastique a diminué d'une façon remarquable (affaissement =5cm pour les deux type de BDGP). L'ajout de 0.5% de plastifiant par rapport à la masse du ciment a compensé la perte d'ouvrabilité pour BDGP.

### IV.2.2 L'air occlus

Cet essai permet de mesurer l'air occlus en pourcentage pour tous les bétons réalisés, les résultats sont résumés dans les figures IV.3 et IV.4 :

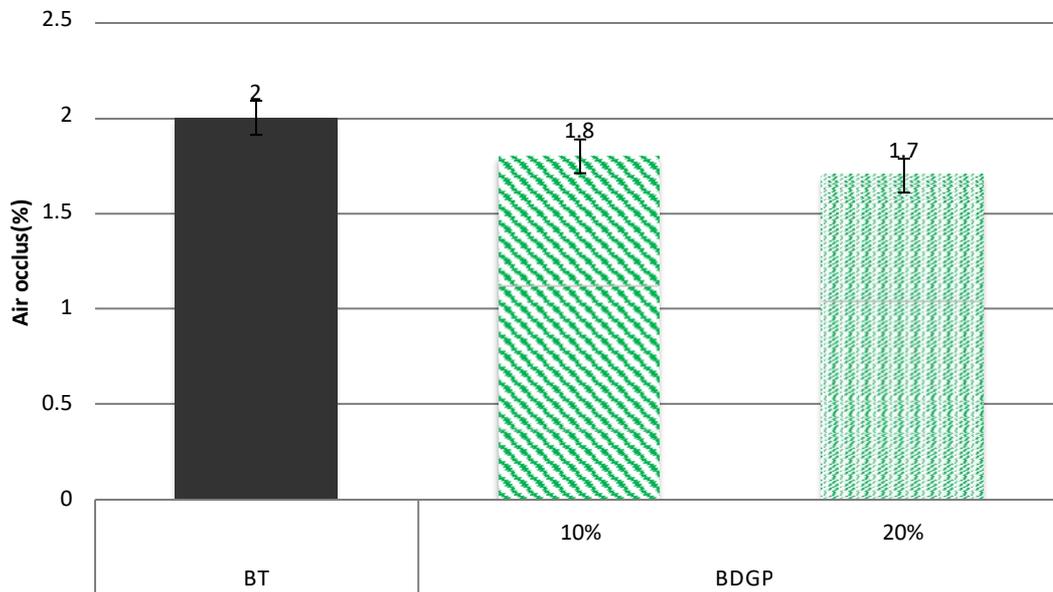


Figure IV.3 : Air occlus des bétons de déchet des grains plastiques.

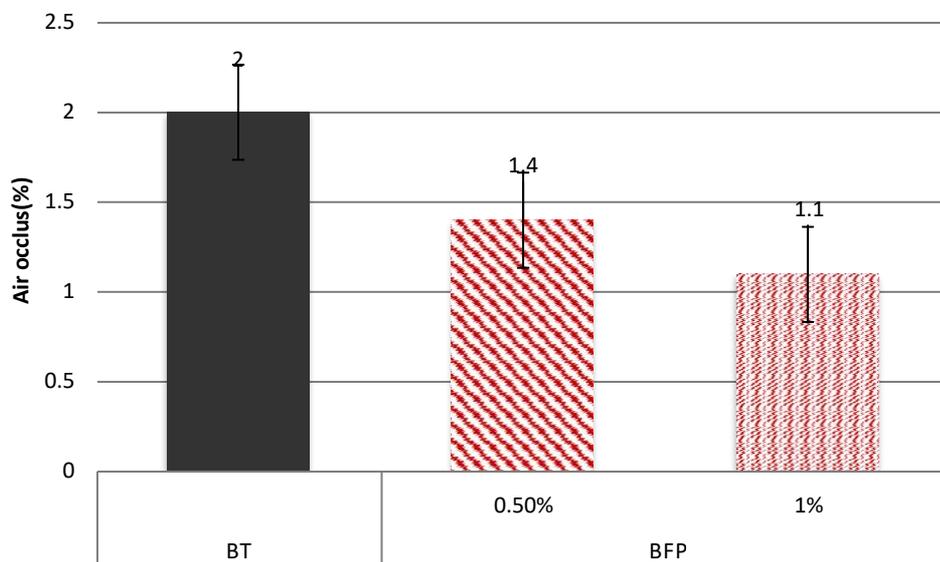


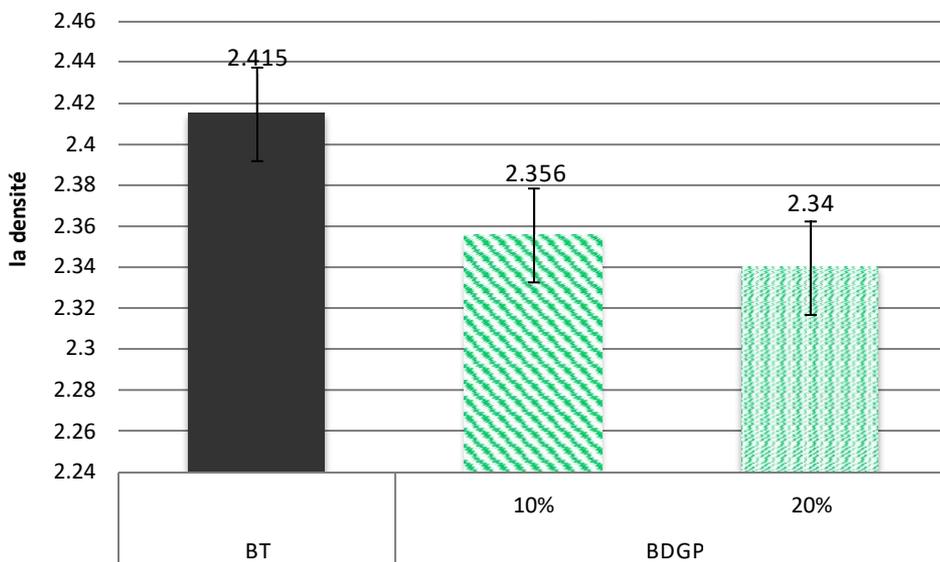
Figure IV.4 : Air occlus des bétons de déchet des fibres plastiques.

La **figure IV.3**, montre que les déchets des grains plastiques causent moins d'air occlus dans le béton (1,8% ; 1,7%) pour 10% et 20% respectivement de grains de plastique en comparaison au béton témoin. Il semble que le béton à base de déchets de grains plastique est bien compacté et par conséquence moins poreux par rapport au béton témoin.

La **figure IV.4** montre que les fibres plastiques causent moins d'air occlus dans le béton par rapport aux grains plastique. Le béton à base de fibres semble aussi facile à compacter par rapport aux autres bétons, et par conséquence moins poreux.

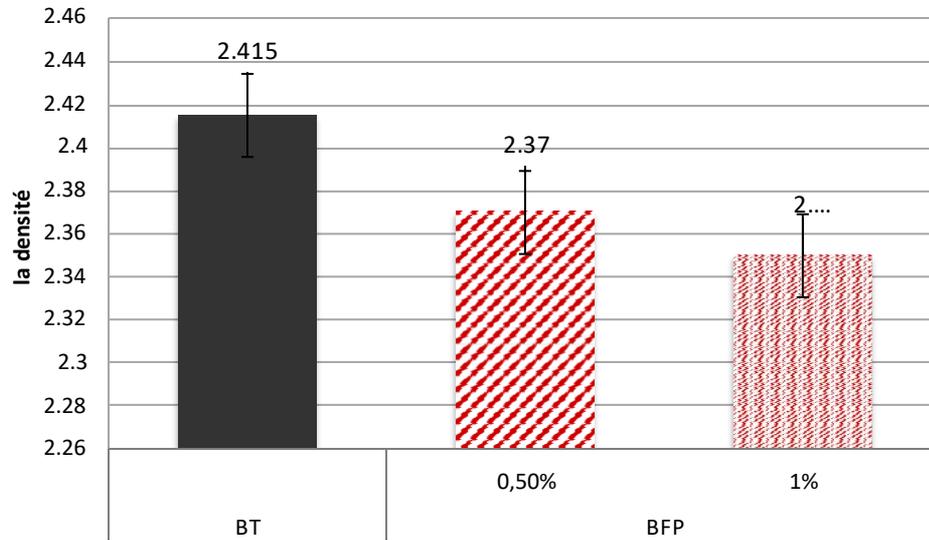
### IV.2.3 Densité

La densité des différents bétons réalisés est résumée dans les figures IV.5 et IV.6 :



**Figure IV.5 : Densité du béton des déchets de grains plastiques.**

CHAPITRE IV  
RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES



**Figure IV.6 : Densité de béton des déchets de fibre plastiques.**

Nous remarquons que la densité du béton témoin est 2,415 et diminue à 2,35 et 2,34 pour respectivement 10% et 20% de déchets de grains plastiques (Figure IV.5). Ceci est due à la faible densité des grains de plastique en comparaison à celle des granulats de béton.

Les déchets de fibre plastique présentent le même effet de diminution de la densité (Figure IV.6).

### IV.3 L'état durci

#### IV.3.1 La masse volumique

Les résultats de la masse volumique pour les bétons durci, présentes sur les figures suivants :

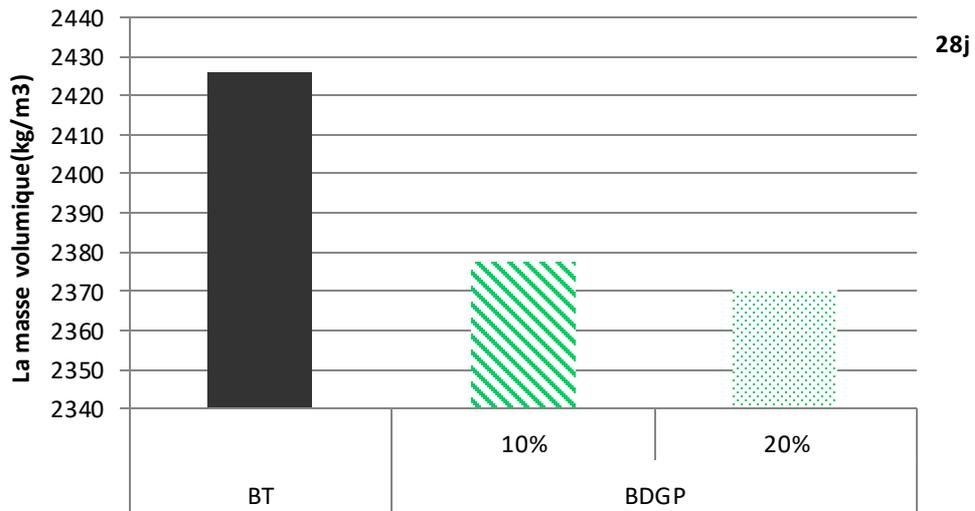


Figure IV.7 : Masse volumique de béton à base de déchets grains plastiques.

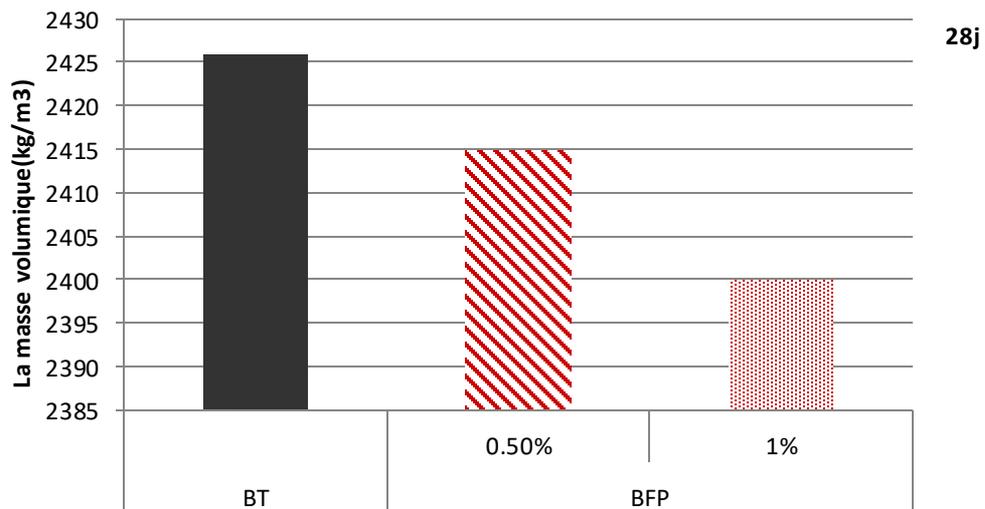


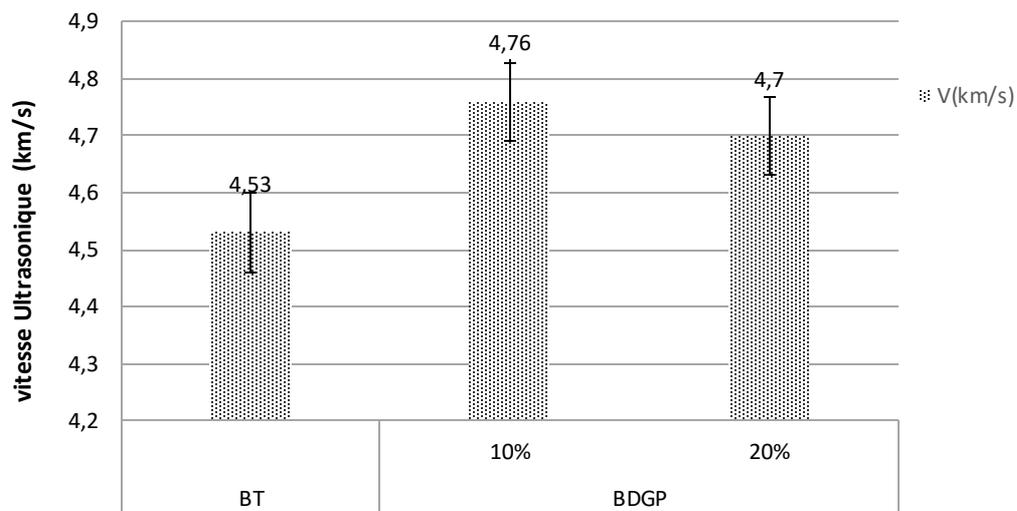
Figure IV.8 : Masse volumique de béton à base de déchets plastiques.

A partir de **figureIV.7**, nous avons observé que la masse volumique de béton témoins et plus grands ( $2426\text{kg/m}^3$ ) par rapport au béton de grains plastiques qui diminue de  $2377.78\text{ kg/m}^3$  à  $2370.37\text{ kg/m}^3$  de 10% et 20% respectivement.

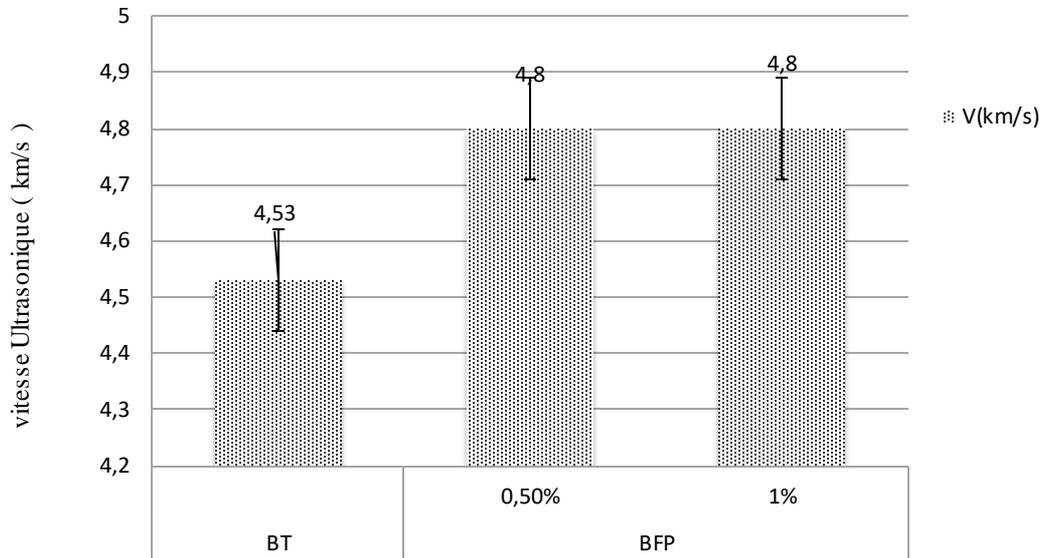
**Figure IV.8** : La masse volumique de béton fibre plastique diminue avec l'augmentation de pourcentage des fibres et reste toujours la masse volumique de béton témoin plus élevée par rapport au les autres bétons

### IV.3.2 Essai Ultrasonique

Avant l'écrasement des éprouvettes en compression, nous avons réalisé un essai non destructif de type ultrasonique sur les différents bétons. Les résultats obtenus sont résumé dans les Figures IV.9 et IV.10.



**Figure IV.9** : Vitesse ultrasonique du béton de déchets grains plastiques.



**Figure IV.10 : Vitesse ultrasonique du béton de fibres plastiques.**

Les résultats montrent que l'incorporation de grains ou fibres plastiques augmentent la vitesse à l'ultrason. Ceci confirme les résultats de l'air occlus qui ont montré un volume d'air plus faible avec du béton de grains ou fibres plastiques par rapport au béton témoin. La vitesse diminue avec l'augmentation de la quantité d'air.

### IV.3.3 Essai de scléromètre

Le scléromètre permet d'estimer la résistance à la compression des éprouvettes de différents bétons grâce à l'application d'un choc contrôlé. Les résultats des indices sclérométriques obtenus sont résumés dans les figures IV.11 et IV.12.

CHAPITRE IV  
RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

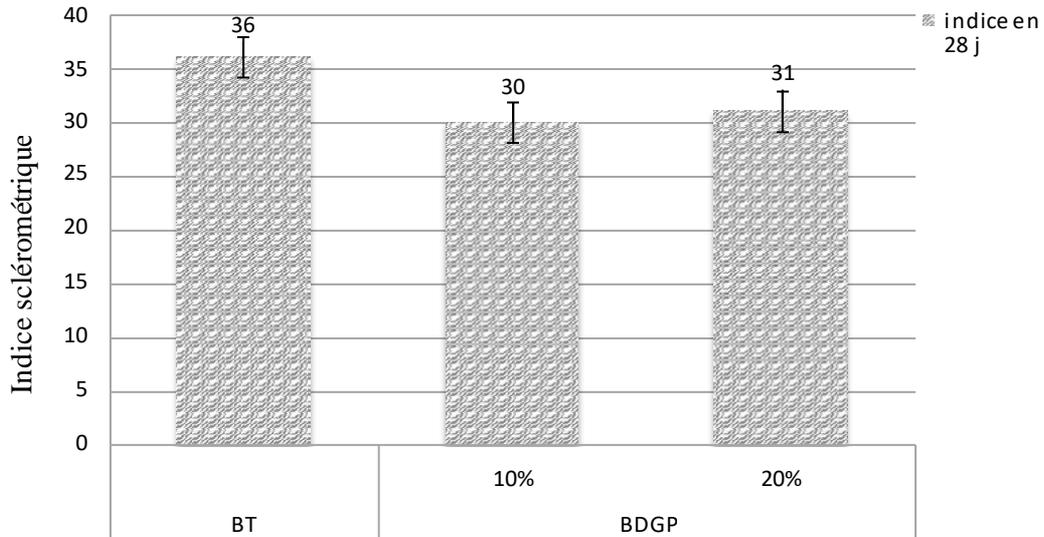


Figure IV.11 : Indice sclérométrique du béton des déchets grains plastiques.

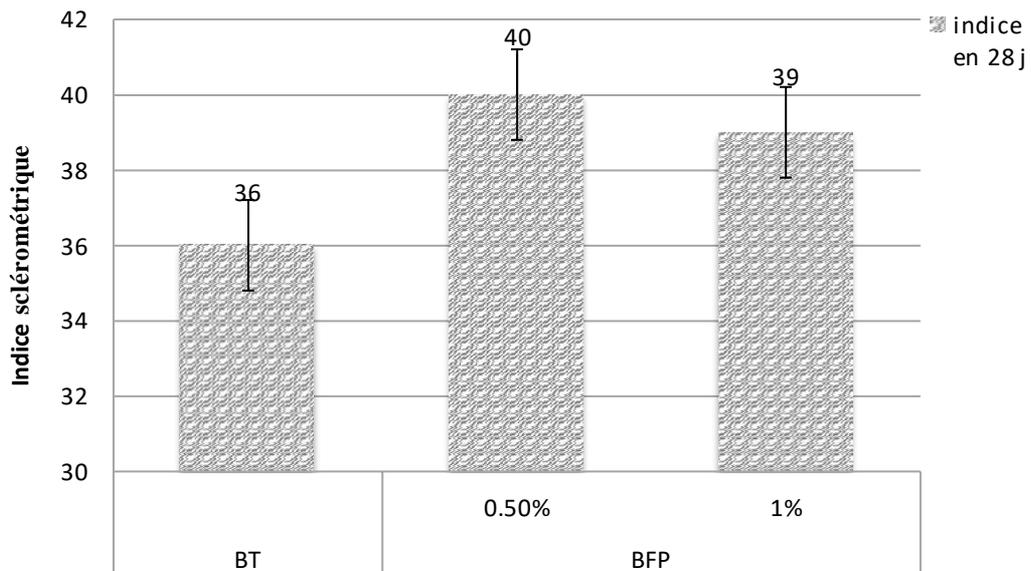


Figure IV.12 : Indice sclérométrique du béton des déchets fibres plastiques.

On remarque que l'ajout de grains de plastique diminue la résistance à la compression du béton (diminution de l'indice sclérométrique). Par contre, l'ajout de fibres plastiques augmente la résistance à la compression. La variation n'est pas statistiquement significative en raison des erreurs de mesures de l'indice sclérométrique et de la difficulté de mesurer l'indice sclérométrique sur des éprouvettes de petites dimensions.

#### IV.3.4 La résistance à la compression

Les résultats de la résistance à la compression sont donnés dans les Figures IV.13 et IV.14. Les résultats sont la moyenne de 3 mesures à l'âge de 7 et 28 jours avec des dosages en déchets de 10%, 20% pour les bétons des déchets de grains plastiques, et de 0.5%, 1% pour les bétons de fibres plastiques.

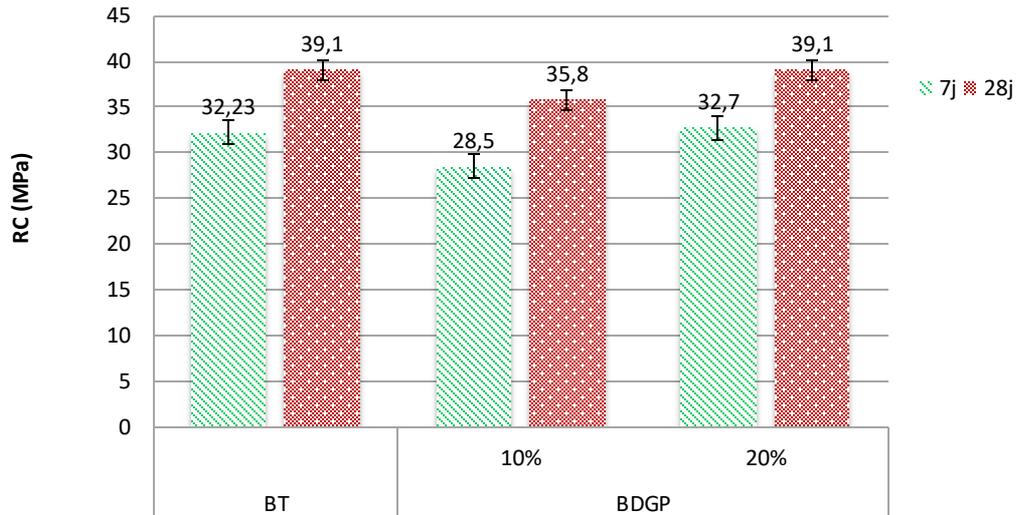


Figure IV.13 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage d'ajout des grains des plastiques dans le béton.

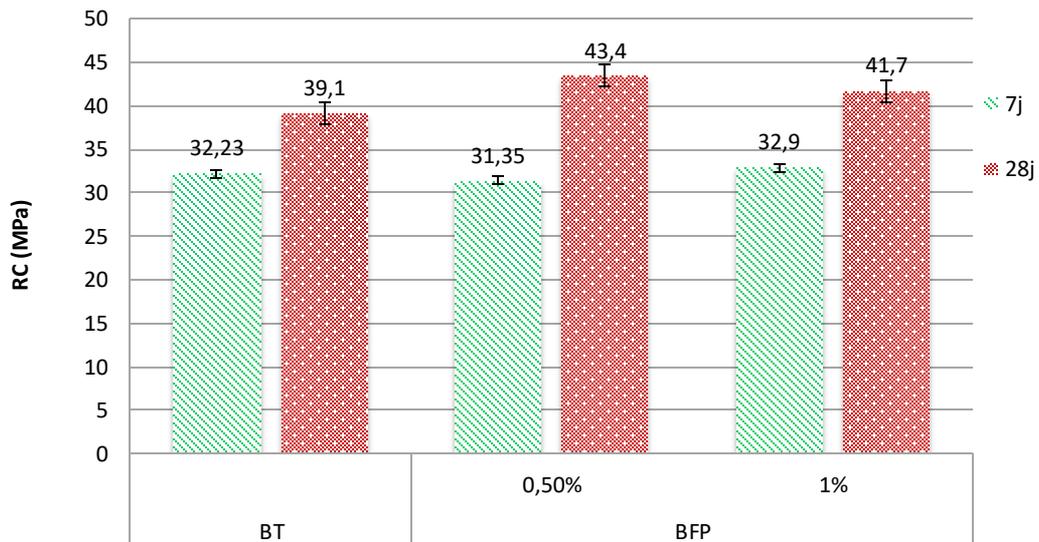
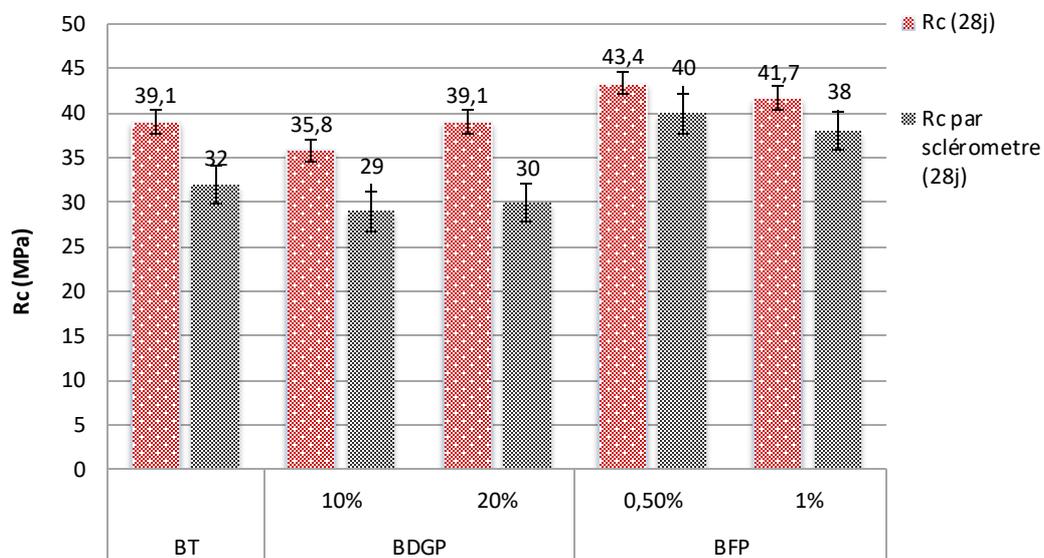


Figure IV.14 : Résistance à la compression en fonction du pourcentage des fibres des plastiques dans le béton.

D'après les résultats de compression ci-dessus, nous avons vu que la résistance du béton de grain plastiques augmenté en fonction de pourcentage des grains dans le béton, mais elle reste plus petite quand en comparé avec béton témoin.

Figure IV.14 : on remarque que le béton de fibre plastique a une amélioration de résistance à la compression sur tous quand on a ajouté 0.5% de fibre (43.4MPa) une valeur maximale après elle diminue (au 41.7MPa), donc les fibres plastiques améliorent la résistance à la compression (à 28 jours)



**Figure IV.15 : Résistance à la compression de différents déchets plastiques (fibre et grain) mesuré avec la presse de compression ou avec scléromètre.**

Cette figure résumée les résultats de résistance à la compression mesure avec la presse de compression et avec le scléromètre, on peut dire après la comparaison entre eux que les résultats sont toujours proche ceci confirme que les résultats de compression juste.

#### IV.3.5 La résistance à la traction par flexion

Les mesures des résultats sont faites de la même façon que la résistance à la compression.

CHAPITRE IV  
RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

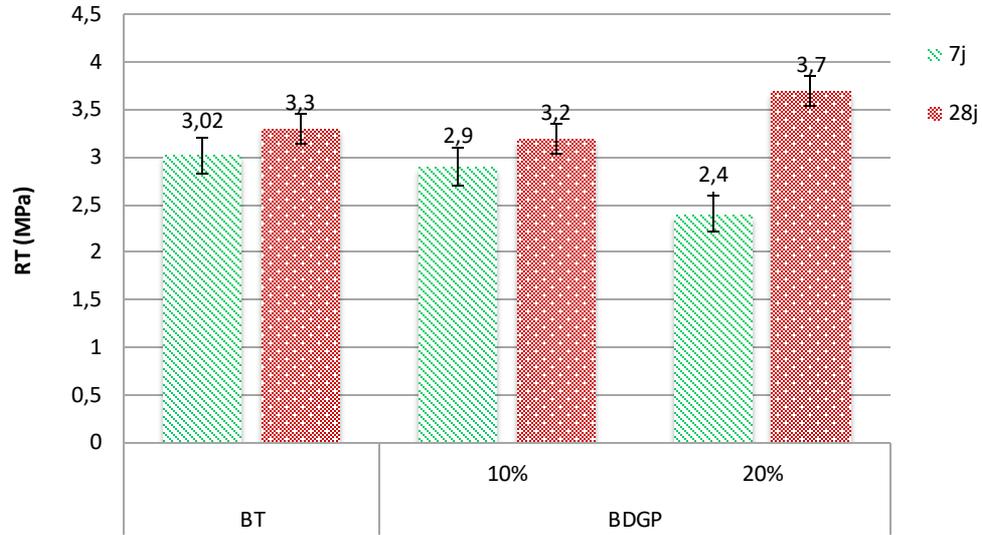


Figure IV.16 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage d'ajout des grains des plastiques dans le béton.

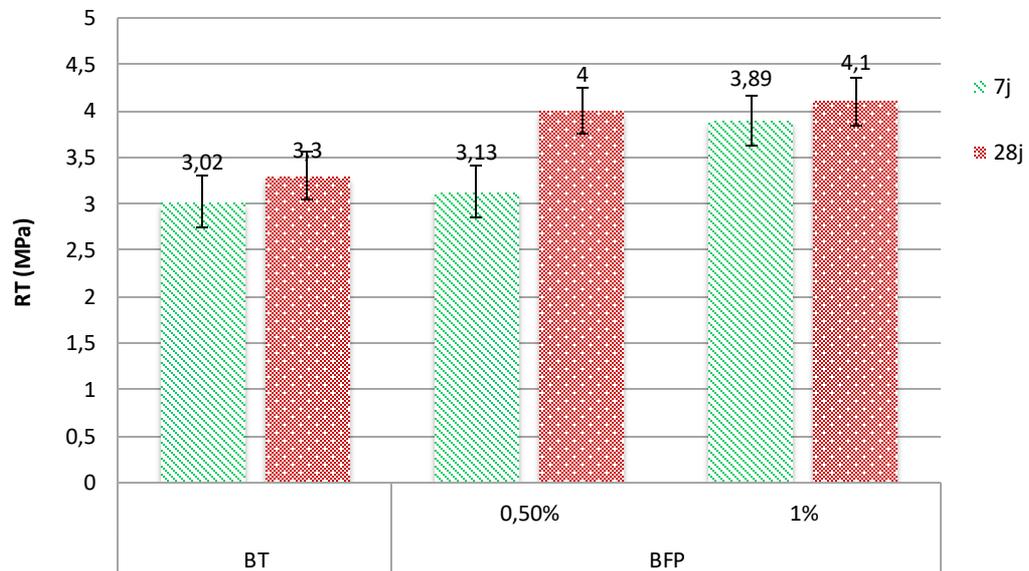


Figure IV.17 : Résistance à la flexion en fonction du pourcentage d'ajout des fibres des plastiques dans le béton.

CHAPITRE IV  
RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

La figure IV.16 montre que la résistance à la flexion est augmentée avec l'augmentation des grains plastiques, mais le béton de grains plastiques (10%) a une résistance à la flexion plus petite que celle de béton témoin (à 7 et 28 jours).

Par contre les résultats de figure IV.17 montrent que la résistance à la flexion est améliorée d'une façon remarquable pour les bétons de fibres plastiques par rapport au béton témoin. On a constaté aussi que plus le pourcentage des fibres augmente dans le béton plus la résistance augmente aussi (à 7 et 28 jours).

### IV.3.6 L'absorption d'eau

Les résultats d'absorption capillaire sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV.1 : Les résultats d'absorption d'eau :**

$\sqrt{t}$ (s)	BT		BDGP (10%)		BDGP (20%)		BDFP (0,5%)		BDFP (1%)	
	Masse	$\Delta mi/A$								
	$\Delta mi (g)$	(g/m <sup>2</sup> )								
0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
7,75	3,2	316,83	4,5	459,14	3,2	313,69	1,9	188,12	3,2	316,83
10,95	3,9	386,14	5,2	530,56	4	313,69	2,6	257,43	3,3	326,73
17,32	4,9	485,15	6	612,18	4,5	441,13	2,9	287,13	4,2	415,84
24,49	5,7	564,36	6,2	632,59	5,5	539,16	3,5	346,53	5,1	504,95
34,64	6,5	643,56	6,9	704,01	6,3	617,59	4,4	435,64	6,2	613,86
60,00	7,2	712,87	7,7	785,63	6,5	637,19	4,8	475,25	6,7	663,37
84,85	8,4	831,68	8,7	887,66	7,9	774,43	5,7	564,36	8	792,08
103,92	10,5	1039,60	10	1020,30	9,2	901,87	7,2	712,87	9,9	980,20
120,00	11,7	1158,42	11,1	1132,54	11	1078,33	7,9	782,18	10,7	1059,41
146,97	12,7	1257,43	12,2	1244,77	12,3	1205,76	9,1	900,99	11,6	1148,51
293,94	13,9	1376,24	13,2	1346,80	13,3	1303,79	13,7	1356,44	12,8	1267,33
415,69	19,9	1970,30	19,8	2020,20	19,2	1882,17	17,1	1693,07	19,1	1891,09
509,12	23,9	2366,34	24,6	2509,95	26,8	2627,19	18,1	1792,08	23,5	2326,73
587,88	28,9	2861,39	27,8	2836,45	27,8	2725,22	20,1	1990,10	26,5	2623,76
657,27	31,5	3118,81	28,8	2938,48	31,8	3117,34	21,1	2089,11	31,5	3118,81
720,00	33,7	3336,63	32,8	3346,60	32,8	3215,37	22,1	2188,12	33,3	3297,03
777,69	36,1	3574,26	34,5	3520,05	33,9	3323,20	24,1	2386,14	34,7	3435,64
831,38	36,8	3643,56	34,9	3560,86	34,8	3411,43	24,1	2386,14	35,3	3495,05
A(m <sup>2</sup> )	0,0101		0,009801		0,010201		0,0101		0,0101	
C (g/m <sup>2</sup> /√s) (1h)	22,16		17,19		16,63		11,42		15,99	
C (g/m <sup>2</sup> /√s) (8jours)	4,002180326		3,838373889		3,891894485		2,729129961		3,916035398	

CHAPITRE IV  
 RESULTATS DES ESSAIS PRELIMINAIRES

Les résultats présents dans les figures suivantes (fig. IV.18 & IV.19) :

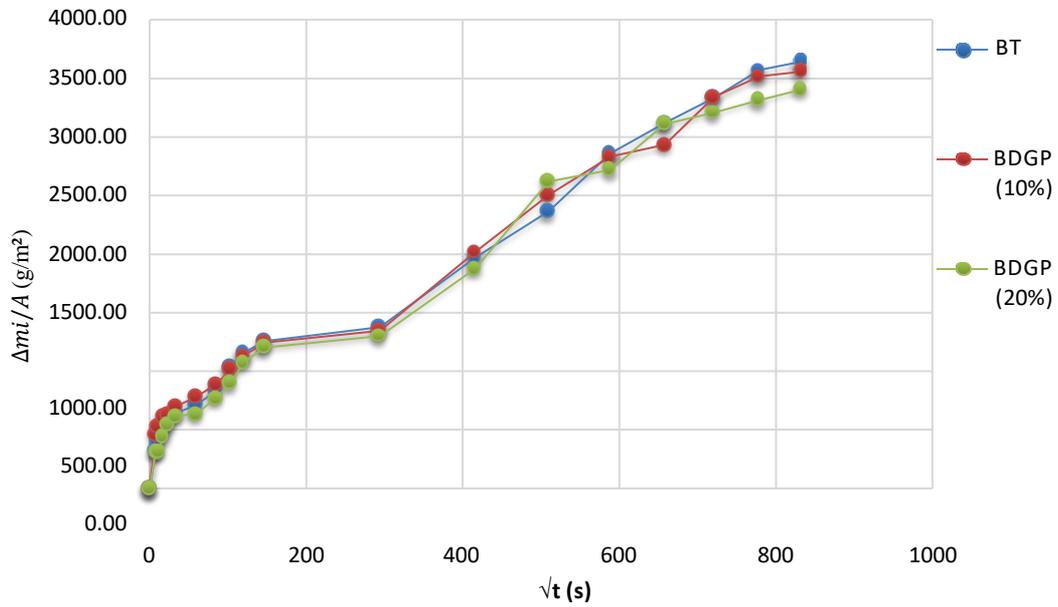


Figure IV.18 : Absorption d'eau du béton de déchets grains plastiques.

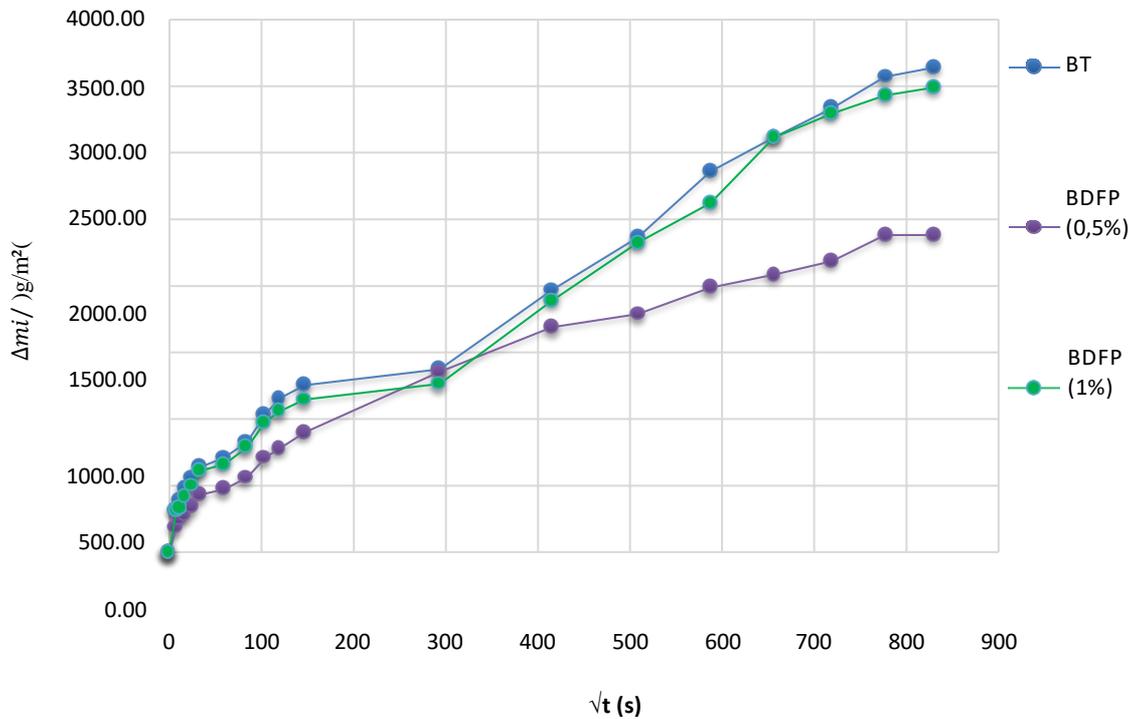


Figure IV.19 : Absorption d'eau du béton de fibres plastiques.

La figure IV.18 montre que le béton à base des déchets de grain plastiques absorbe moins d'eau par rapport au béton témoin. Puisque les grains plastique n'absorbe pas d'eau ce qui diminue la capacité d'absorption dans le béton des grains plastiques.

Les résultats de figures IV.19 montre que l'absorption d'eau dans le béton de fibres plastiques 0.5% est plus faible par rapport au béton témoin et béton de fibre plastique 1%, des grains plastiques.

### IV.3.7 La porosité

Les figures IV.20 et IV.21 présentent les résultats de la porosité accessible à l'eau de béton de déchets grains plastiques et béton de fibres de plastiques.

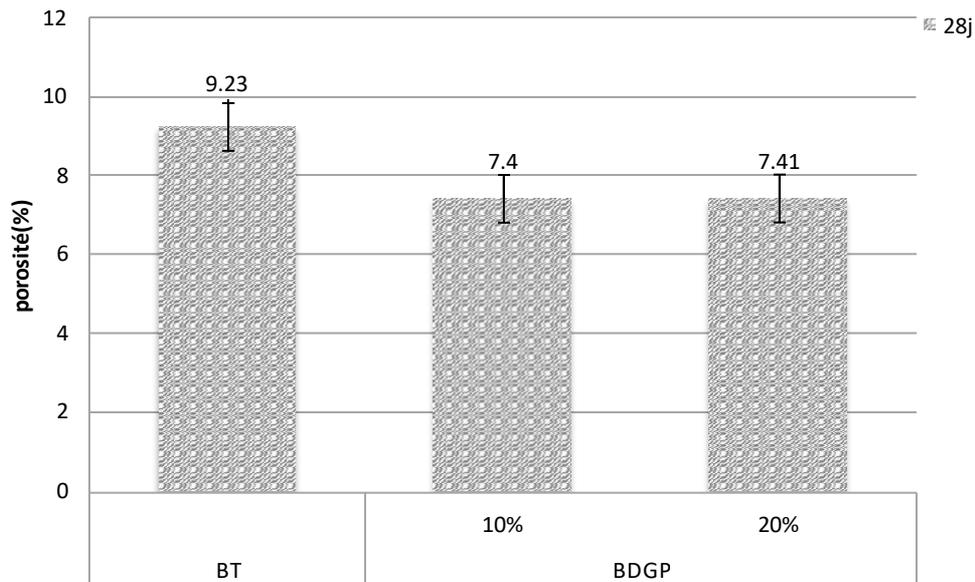
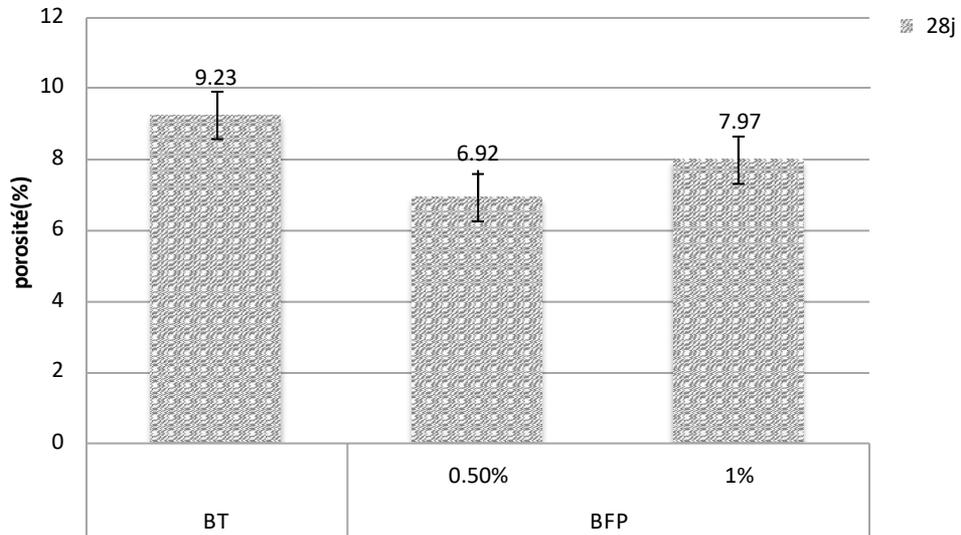


Figure IV.20 : La Porosité du béton de déchets grains plastiques.



**Figure IV.21 : La Porosité du béton de déchets fibres plastiques.**

Les résultats obtenus des bétons contenant les grains plastiques (figure IV.20) montrent que la porosité accessible à l'eau est faible par rapport à la porosité de béton témoins, le béton de grains plastiques (10%) et (20%) avec une porosité accessible à l'eau de 7.4 % et 7.41 % respectivement. Elle est liée directement à la porosité des granulats plastiques qui est moins poreux par rapport aux granulats naturels.

D'après la figure IV.21, on remarque que la porosité de béton témoins est plus élevée par rapport au béton de fibre plastique, la meilleure porosité de béton est celle de béton de fibre plastique (0.5%) égale à 6.92.

#### IV.4 Conclusion

D'après cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- Les bétons à base de déchets de fibres plastiques présentes une bonne ouvrabilité et les bétons de grains plastiques aussi une ouvrabilité acceptable par rapport au béton témoin.
- Le béton de déchets fibres plastiques présente une résistance à la compression meilleure par rapport au béton de grains plastiques.
- Les bétons de déchets plastiques améliorent la résistance à la flexion (grains /fibre) mais les fibres améliorée la flexion d'une façon remarquable.
- L'ajout des déchets plastiques dans le béton diminue sa masse volumique.
- Le béton de déchets plastiques quel que soit la forme de déchets (grains/fibres) est bien compacté et moins poreux (confirme d'après les essais d'air occlus et porosité des bétons).

**CONCLUSIONS  
ET  
RECOMMANDATIONS**

## CONCLUSIONS

L'objectif de cette étude est de faire une synthèse bibliographique sur la performance du béton à base de déchets plastiques sous forme de grains et de fibres à l'état frais et durci ainsi que la réalisation d'essais préliminaires.

La synthèse bibliographique et l'étude expérimentale préliminaire nous amènent aux conclusions suivantes :

- Le recyclage de déchets plastiques est nécessaire pour préserver l'environnement (minimiser les déchets).
- Les déchets plastiques peuvent être valorisés comme matériaux de construction.
- L'ouvrabilité du béton à base de déchets de plastique diminue et l'ajout de plastifiant est nécessaire pour la garder constante.
- Le béton de déchets de plastique quel que soit la forme de déchets (grains/fibres) donne un béton bien compacté et moins poreux.
- La densité des bétons de déchets plastique est plus faible que celle du béton ordinaire en raison de la faible densité du plastique par rapport aux granulats de béton.
- La résistance à la compression est légèrement affectée par l'incorporation des déchets de plastique.
- Les grains et fibres plastique améliorent considérablement la résistance à la flexion du béton par la limitation de fissuration et la retardation de la propagation des fissures.
- L'absorption capillaire et la porosité sont affectées par la substitution de ciment par les fibres en plastiques et la substitution des grains de gravier induisant des modifications du réseau poreux (volume total poreux, taille des pores, connectivité des pores).

## **ROCOMMANDATIONS**

Des essais préliminaires ont été réalisés mais le temps était limité en raison de la crise sanitaire. Nous recommandons pour les futurs travaux d'étudier :

- L'effet de différents types de déchets plastiques sur la rhéologie du béton.
- L'effet des déchets de plastique sur la performance mécanique et durabilité du béton à long terme.
- L'effet des déchets de plastique sur la conductivité thermique.
- L'effet des déchets de plastique sur la performance acoustique du béton.
- Analyser l'effet des déchets de plastique sur la performance du béton autoplaçant.

# **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE**

- [1] P. Touzé, D. André, and K. Ounoughi, “Elimination des résidus de décapage des peintures sur les ouvrages métalliques État de la législation française en 1999,” *Bull. Des lab. Des ponts chaussees*, no. 223, 1999.
- [2] P. Naturels, *Comportement des bétons à base de granulats recyclés*, Constantine, pp. 1–128, 2006.
- [3] M. S. Stambouli, “Valorisation de débris de verre dans les infrastructures routières: Application au verre industriel, verre ménager et verre mixte.” Université Mouloud Mammeri TiziOuzou, 2016.
- [4] L. Courard, “Valorisation des déchets et sous-produits dans le génie civil,” *Notes cours (Université Liège, Fac. des Sci. Appliquées, Serv. des Matériaux Constr. 1998)*.
- [5] M. Quebaud, “Caractérisation des granulats recyclés, étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats.” Béthune, Université d’Artois, 1996.
- [6] . G. T., “Recycled Plastic Used in Concrete Paver Block,” *Int. J. Res. Eng. Technol.*, vol. 03, no. 21, pp. 33–35, 2014, doi: 10.15623/ijret.2014.0321009.
- [7] “les plastiques,” <http://positiveimpakt.eu/wp-content/uploads/2018/0/>.”
- [8] T. Clark, “Plastics : Establishing The Path To Zero Waste,” p. 131, 2015.
- [9] “Composition du plastique,” <http://sindaleachadatpe.e-monsite.com/pages/le-plastique-principal-constituant-du-7eme-continent/composition-du-plastique.html>. .
- [10] M. Fontanille and Y. Gnanou, *Chimie et physico-chimie des polymères*. Dunod, 2014.
- [11] S. Benimam, F. Debieb, M. Bentchikou, and M. Guendouz, “Valorisation et Recyclage des Déchets Plastiques dans le Béton,” *MATEC Web Conf.*, vol. 11, pp. 5–8, 2014, doi: 10.1051/mateconf/20141101033.
- [12] P. Europe, “An analysis of European plastics production, demand and waste data,” *Plast. facts*, 2015.
- [13] “Déchet plastique,” [planetoscope/https://www.planetoscope.com/eau-oceans/96-dechets](http://planetoscope.com/eau-oceans/96-dechets). .
- [14] D. C. Wyld, “Taking out the trash (and the recyclables): Rfid and the handling of municipal solid waste,” *Int. J. Softw. Eng. Appl.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–13, 2010.
- [15] N. Rudolph, R. Kiesel, and C. Aumnate, *Understanding plastics recycling: Economic, ecological, and technical aspects of plastic waste handling*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, 2017.
- [16] N. George and T. Kurian, “Recent developments in the chemical recycling of postconsumer poly (ethylene terephthalate) waste,” *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 53, no. 37, pp. 14185–14198, 2014.
- [17] S. M. Al-Salem, P. Lettieri, and J. Baeyens, “The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 36, no. 1, pp. 103–129, 2010.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [18] D. S. Achilias *et al.*, “Recent advances in the chemical recycling of polymers (PP, PS, LDPE, HDPE, PVC, PC, Nylon, PMMA),” in *Material Recycling-Trends and Perspectives*, InTechOpen, 2012.
- [19] G. P. Karayannidis and D. S. Achilias, “Cover Picture: Macromol. Mater. Eng. 2/2007,” *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 292, no. 2, p. 105, 2007.
- [20] Y.-J. Wee, J.-N. Kim, and H.-W. Ryu, “Biotechnological production of lactic acid and its recent applications,” *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 44, no. 2, pp. 163–172, 2006.
- [21] W.-T. Tsai, “Human health risk on environmental exposure to Bisphenol-A: a review,” *J. Environ. Sci. Heal. Part C*, vol. 24, no. 2, pp. 225–255, 2006.
- [22] A. D. Fairbanks, “The Good, the Bad, and the Garbage: The Making of Modern Florida Solid Waste Policy,” 2012.
- [23] A. S. Benosman *et al.*, “L’effet de l’ajout du PET sur les performances mécaniques des matériaux composites mortier-PET,” *J. Mater. Environ. Sci.*, vol. 6, no. 2, pp. 559–571, 2015.
- [24] Y. Ghernouti and B. Rabehi, “Récupération et Valorisation des déchets de sacs en plastique dans le domaine de construction,” in *Proceeding of 1st international conference on sustainable built environment infrastructures in developing countries*, 2009, pp. 12–14.
- [25] M. Guendouz, F. Debieb, and E. H. Kadri, “Formulation et caractérisation d ’ un béton de sable à base de déchets plastiques Formulation et caract ’ erisation d ’ un b ’,” no. May, 2015.
- [26] D. Dhaarani, N. Shanmuganathan, M. Gokila, A. Akalya, D. Abirami, and J. Dhilshath, “Crushed plastic waste in concrete,” pp. 5–7, 2018.
- [27] A. Jahami, J. Khatib, A. Bakri, R. Alaina, and N. Lushnikova, “Study of the Influence of Waste Plastic Straw Fibers on Concrete Properties,” *SSRN Electron. J.*, no. April, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3560342.
- [28] Purushothama. S and Dr. Jagadish G Kori, “Hand Made Plastic Aggregates in Concrete,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. V6, no. 07, pp. 493–497, 2017, doi: 10.17577/ijertv6is070286.
- [29] S. Alsadey, “Utilization of Plastic Bottle Waste in Concrete,” *J. Biol. Environ. Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–5, 2016, [Online]. Available: <http://www.aiscience.org/journal/jbee..>
- [30] Y. Ghernouti, B. Rabehi, B. Safi, and R. Chaid, “USE OF RECYCLED PLASTIC BAG WASTE IN THE CONCRETE Youcef Ghernouti, Bahia Rabehi, Brahim Safi and Rabah Chaid Research Unit: Materials, Processes and Environment, University M’Hamed Bougara of Boumerdes. Algeria.,” *J. Int. Sci. Publ. Mater. Methods Technol.*, vol. 8, pp. 480–487, 2009.
- [31] R. Siddique, J. Khatib, and I. Kaur, “Use of recycled plastic in concrete: A review,” *Waste Manag.*, vol. 28, no. 10, pp. 1835–1852, 2008, doi: 10.1016/j.wasman.2007.09.011.
- [32] K. I. Aziz, “Mechanical Properties for Ordinary Concrete Containing Waste Plastic

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Fibers,” vol. 1, 2017.
- [33] C.- Pontoise, “Soutenue publiquement le 29 Octobre 2015,” p. 95, 2015.
- [34] Hachemi.Samya, influence du type de béton et de la nature des constituants, biskrap.“doctorat en sciences en : genie civil option : materiaux de construction etude du comportement du béton soumis à haute température : p. 13, 2015.
- [35] G. Camps, “Etude des interactions chemo-mécaniques pour la simulation du cycle de vie d’un élément de stockage en béton,” Doctorat de l’univerité de Toulouse,” p. 99, 2008.
- [36] N.F .EN 196-1, “Méthodes d'essais des ciments,”partie 1: resistance mecaniques du ciment ,1995.
- [37] N. F.480-2,"Méthode d'essaides ciment",partie-2:determination de temps de prise,1996.
- [38] S. Norme and I. Technique, “P 18-560 Granulats Analyse granulométrique par tamisage analyse descripteurs modifications corrections,” no. 1, pp. 1–9, 1992.
- [39] N. Algerienne, “NA5125 EN 933-3.” essai pour determiner les caracteristique geometriques des granulats,"determination de forme des granulats-coefficient d'aplatissement",1997.
- [40] AVPN NA EN12620 NA5113, granulats pour beton,"caracterisation du sable",2009.
- [41] NA 458.Granulats,"essai los angeles",1990 pdf.
- [42] NA 5129,Essais pour determiner les caracteristiques mecaniques et physiques des granulats détermination de la résistance à l'usure,"micro-deval",2014.
- [43] N. F. En 1097-6, “Essais pour d é terminer les caract é ristiques m é caniques et physiques des granulats Partie 6 : D é termination de la masse volumique r é elle,” 2001.
- [44] N. F. En 480-1, Méthodes d'essais“ Béton et mortier de référence pour essais(conféction du béton)” 1998.
- [45] N.F P18-451. béton frais, "essai d'effaissement",1981pdf.
- [46] N. F. 12350-7, Essais pour béton frais "Partie 7 : Teneur en air — Méthode de la compressibilité", 2001.
- [47] N. FP18-440. Essai pour béton frais "Partie 6 : Masse volumique", 1999.
- [48] N. F.En 12390-7, Essai pour béton durci "Partie 7 : Masse volumique du béton"vol. 33, no. 0, 2001.
- [49] N. F. En 12504-4 Essais pour béton dans les structures "Partie 4 : Détermination de la vitesse de propagation du son",2005.
- [50] N. F. En 12504-2, Essais pour béton dans les structures Partie 2 : Essais non destructifs — "Détermination de l'indice de rebondissement", 2004.
- [51] N. F. 12390-4, Essais pour béton durci "Partie 4 : Résistance en compression — Caractéristiques des machines d'essai",2000.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- [52] NF EN 12390-3:Essai pour béton durci ,"partie 3: Résistance à la compression sur éprouvettes",2012.
- [53] NF EN 12390-5 :Essai pour béton durci, "Partie 5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes," vol. P18-433, 2001.
- [54] C. C. Test, T. Drilled, C. Ag-, C. Concrete, H. Concrete, and D. Mass, "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-," vol. 41, no. 147, pp. 1–6, 2012, doi: 10.1520/C1585-11.2.
- [55] L. Zeghichi, "Etude des bétons basiques à base des différents granulats." Université Mohamed Khider Biskra, 2006.
- [56] "[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Plastic\\_objects.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Plastic_objects.jpg)." .
- [57] N. Rudolph, R. Kiesel, C. Aumnate, N. Rudolph, R. Kiesel, and C. Aumnate, "Optimization of Plastics Recycling," *Underst. Plast. Recycl.*, pp. 75–86, 2017, doi: 10.3139/9781569906774.006.
- [58] A. Van der Auweraert, R. Caubergs, C. Thoen, and A. De Ron, "Le recyclage des plastiques," *Doss. sur l'environnement "mens sana terra sana,"* pp. 1–20, 2001.
- [59] NF EN 1097: Détermination de la teneur en eau des granulats, Octobre, 2008.
- [60] NF EN 933-8+A1: Evaluation des fines-Equivalent de sable, 17 juillet, 2015.
- [61] NFP18-459 : Essai pour béton durci, essai de porosité et de masse volumique, Mars, 2010.

# **ANNEXE**

**Annexe 1 : les caractéristique mécanique du ciment**



**Annexe 2 : Propriétés physiques du ciment**



**Annexe 3 : Analyses granulométriques des granulats**



**Annexe 4 : Caractérisations des sables**



### Annexe 5 : Equivalent de sable



### Annexe 6 : Propriétés mécaniques des granulats



### Annexe 7 : Présentation aux résultats : "METHODE DE DREUX GORISSE"

1- METHODE DE DREUX GORISSE

2- DONNEES INDISPENSABLES

#### Données sur le béton :

Résistance à 28 jours  $f_{c28}$  en MPa=25MPa

Affaissement en cm : A= 7 cm

Serrage : vibration normale

Pompage ou non du béton : non pompé

**Tableau : Evaluation de l'ouvrabilité par référence à l'affaissement au cône ou au test C.E.S :**

Plasticité	Serrage	Affaissement en cm	N nombre de chocs test C.E.S.
Béton très ferme	Vibration puissante	0 à 2	> 60
Béton ferme	Bonne vibration	3 à 5	30 à 50
Béton plastique	Vibration courante	6 à 9	15 à 25
Béton mou	Piquage	10 à 13	10 à 15
Béton fluide	Léger piquage	≥ 14	< 10

**Données sur le ciment :**

Classe vraie à 28 jours :  $\sigma'_c = 42.5 \text{ MPa}$

Mv réelle en  $g/cm^3$ : 2.9

**Données sur les granulats :**

Qualité des granulats : courante

Forme des granulats : concassée

Propreté (ES) : ES=65

Tableaux d'analyse granulométrique des granulats : donnés

Module de finesse : MF=2.5 (sable mélange)

Dimension maximale des granulats : D max=16 mm (gravier)

**DETERMINATION DU DOSAGE EN CIMENT**

Données nécessaires :  $f_{c28}$  (béton) ;  $\sigma'$  (classe vraie du ciment) ; D max ; Affaissement ; qualité des granulats

1- Résistance moyenne à 28 jours :

$$f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$$

Calcul de

$$\sigma'_{28} = f_{c28} \times 15\% f_{c28} = 28.75 \text{ Mpa}$$

2- Détermination de G :

$$D_{max} = 16 \text{ mm}$$

**Tableau : Valeurs approximatives du coefficient granulaire G. Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe).**

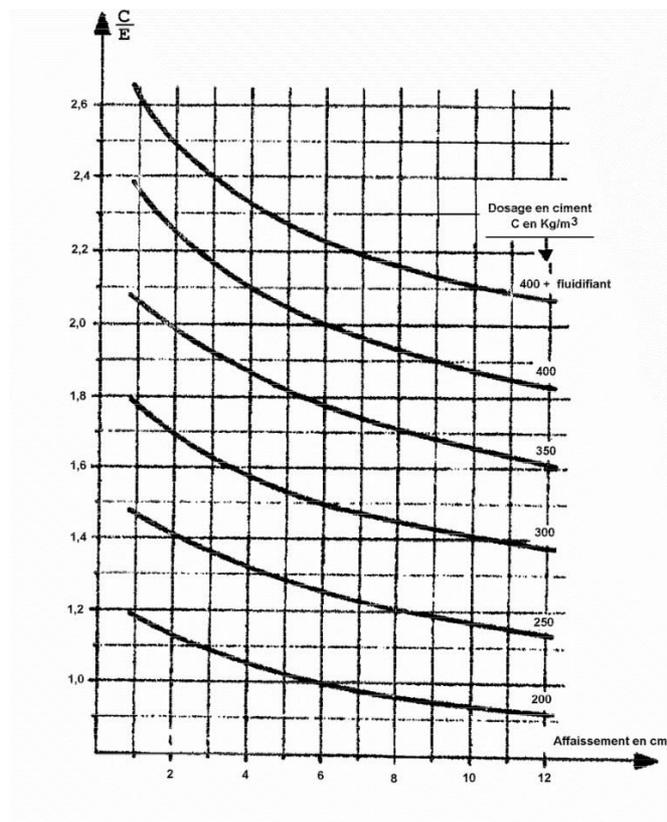
Qualités des granulats	Dimension des granulats		
	Fins (D < 12.5 mm)	Moyens (20 < D < 31.5 mm)	Grossier (D > 50 mm)
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,40	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

$$G = 0,47 \rightarrow \frac{C}{E} = 1,91$$

Formule de BOLOMEY donne :

1-3 Dosage en ciment :

$$c f \left( \frac{C}{E}, A \right) \rightarrow x = 42,9 \rightarrow C = 350 + 42,9 \rightarrow C = 392,9 \frac{kg}{m^3}$$



**Figure : Influence du dosage en eau à un dosage de ciment fixé**

**DOSAGE EN EAU**

Données nécessaires : (  $D_{max}$  ;  $\frac{C}{E}$  )

1. Calcul de E :

$$E = 205.7 \frac{kg}{m^3}$$

2. Correction sur E :

$D_{max} = 16$  donc la Correction : +4 %

**E = 213.93 kg/m<sup>3</sup>**

**C = 408.6 kg/ m<sup>3</sup>**

**CONTROLE QUALITE DES GRANULATS**

Données nécessaires : ES ; MF (sable)

1- Propreté des granulats :

ES=65

Sable légèrement argileux

2- Module de finesse MF :

MF=2.5

Sable préférentiel

**TRACE COURBE GRANULAIRE OAB**

Données nécessaires :  $D_{max}$  ; Vibration ; forme granulats ; dosage en ciment ; Mf ; pompage ou non

$D_{max} = 16$  mm ou module AFNOR : 43

**TRACE DE LA LIGNE DE PARTAGE**

Données nécessaires : courbes granulométriques ; courbe granulaire OAB :

O (0, 0) ; A (x, y) ; B ( $D_{max}$ , 100)

$$D = 16 < 25mm \rightarrow x = \frac{D}{2} \rightarrow x = 8mm$$

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$$

**Tableau : Valeur du terme correcteur K :**

Vibration	Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en ciment						
400 + fluide	-2	0	-4	-2	-6	-4
400	0	2	-2	0	-4	-2
350	2	4	0	2	-2	0
300	4	6	2	4	0	2
250	6	8	4	6	2	4
200	8	10	6	8	4	6

**NOTA 1 :** Correction supplémentaire  $K_s$  :

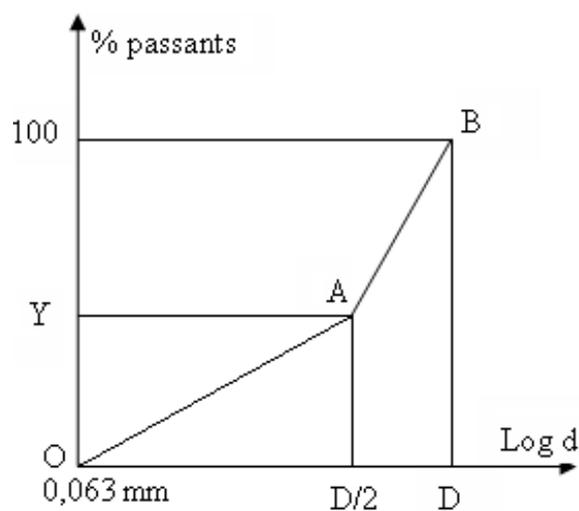
Si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point **A**, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur **K**) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s = 6 M_f - 15$  ( $M_f$  étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de **2,5** pour laquelle la correction préconisée est alors nulle).

**NOTA 2 :** Correction supplémentaire  $K_p$  :

Si la qualité du béton est précisée « pompable », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur **K** de la valeur  $K_p = + 5$  à **10** environ, selon le degré de plasticité désiré.

**Donc :**

$$Y = 50 - \sqrt{16} + 2 = 48 \rightarrow (8 \text{ ou module AFNOR } 40, 48)$$



**Figure : Courbe optimale type selon la méthode Dreux-Gorisse**

**DETERMINATION DU DOSAGE DES GRANULATS**Données nécessaires : Consistance béton ; serrage ;  $D_{max}$  ; forme granulat**1- Les pourcentages :**

$$8/15 = 52 \%$$

$$3/8 = 7\%$$

$$\text{Sable} = 41\%$$

**Tableau : Valeur du coefficient de compacité :**

Consistance	Serrage	$\gamma$ coefficient de compacité						
		D = 5	D=10	D = 12,5	D=20	D = 31,5	D=50	D=80
Molle	<i>Piquage</i>	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	<i>Vibration faible</i>	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	<i>Vibration normale</i>	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	<i>Piquage</i>	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	<i>Vibration faible</i>	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	<i>Vibration normale</i>	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	<i>Vibration puissante</i>	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	<i>Vibration faible</i>	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	<i>Vibration normale</i>	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	<i>Vibration puissante</i>	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

NOTA :  
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés, sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

- Sable roulé et gravier concassé ( $c_1 = - 0,01$ )
- Sable et gravier concassé ( $c_1 = - 0,03$ )

Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0.03 les valeurs de  $c$  : ( $c_2 = -0.03$ ).

Pour un dosage en ciment  $C \neq 350\text{Kg}/\text{m}^3$  on apportera le terme correctif suivant :  $c_3 = \frac{(c - 350)}{5000}$

$$\gamma_c = \gamma + c_1 + c_2 + c_3$$

$$\text{Béton plastique} \rightarrow \gamma = 0.819 \rightarrow \gamma_c = 0.819 - 0.03 + 0.012$$

$$\gamma_c = 0.801$$

**1- Volume absolu des constituants (pour 1 m<sup>3</sup> de béton):****Volume absolu de ciment :**

$$C = \frac{408.6}{2.9} = 140.9 \text{ l}$$

$$V_g = 1000 \times \gamma_c - C$$

$$V_g = 1000 \times 0.807 - 140.9 = 666.1 \text{ l}$$

**Volume absolu de sable :**

$$V_1 = 666.1 \times \frac{41}{100} = 270.6 \text{ l}$$

**Gravier 3/8 :**

$$V_2 = 666.1 \times \frac{7}{100} = 46.21 \text{ l}$$

**Gravier 8/16 :**

$$V_3 = 666.1 \times \frac{52}{100} = 343.25 \text{ l}$$

**2- Dosage pondéral des granulats (pour 1 m<sup>3</sup> de béton) :**

$$\text{Sable : } G_{gross} = 63\% \rightarrow S = 270.6 \times 63\% \times 2.57 = \mathbf{438.13 \text{ kg/m}^3}$$

$$G_{fin} = 37\% \rightarrow S = 270.6 \times 37\% \times 2.68 = \mathbf{268.33 \text{ kg/m}^3}$$

$$\text{Gravier : 3/8 : } S = 46.21 \times 2.63 = \mathbf{121.53 \text{ kg/m}^3}$$

$$8/16 : S = 343.25 \times 2.56 = \mathbf{878.7 \text{ kg/m}^3}$$