

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année 2019

Faculté des sciences de l'ingénieur  
Département de Génie Civil  
Laboratoire Matériaux, Géomatériaux et Environnement

## MÉMOIRE

*Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master*

Intitulé du mémoire

**Les bétons drainants à base de granulats recyclés : de la formulation  
au comportement**

Domaine : Sciences techniques

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux

*Par :*

DORBANI Kamar

BOUHANICHI Nesrine

DEVANT LE JURY

Président :	ACHOURA Djamel	PR	U. Badji Mokhtar Annaba
Directeur du mémoire :	ARABI Nouredine	PR	U. Badji Mokhtar Annaba
Examineur :	MELAIS Fatma Zohra	MCB	U. Badji Mokhtar Annaba

# ***REMERCIEMENTS***

Nous exprimons également toute notre parfaite gratitude et remerciement à *Allah*, le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté de mener à bien ce travail,

Aucun remerciement ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que nous avons toujours eu pour nos PERES décédés trop tôt, DORBANI Abdelmadjid et BOUHANICHI Nacer, Ce travail est le fruit de vos sacrifices fournis jour et nuit pour nous, Paix à vos âmes,

On remercie spécialement nos MAMANS adorées, qui n'ont jamais cessé de croire en nous, et qui ont été toujours présentes à nos cotés et qui nous ont soutenu durant toutes nos longues années d'études,

Nos sincères remerciements s'adressent à notre encadreur Professeur *ARABI Noureddine*, pour sa disponibilité, ses conseils judicieux, son aide consistante, ses remarques objectives, et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet,

Ainsi, nous remercions les membres de jury Pr ACHOURA Djamel et Mme MELAIS Fatma Zohra d'avoir accepté d'examiner notre travail,

Nous tenons à remercier DR KEBAILI Oussama pour sa disponibilité, son dévouement, ses conseils, sa générosité et surtout sa patience dans les moments difficiles au laboratoire,

Un grand merci à l'ensemble des techniciens du Laboratoire du département de génie civil, MR KAMEL et MR KHAIREDDINE, c'est grâce à eux qu'on a pu réaliser nos essais au laboratoire,

Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire.

# Résumé

Le béton drainant est généralement utilisé pour ses caractéristiques drainantes. Cependant, le béton drainant possède de faibles propriétés mécaniques comparativement au béton conventionnel. Ceci est dû à sa porosité effective relativement importante. Les granulats recyclés, ayant une forte porosité, une densité inférieure à celle des granulats naturels peuvent être utilisés en conséquence comme matériau de construction respectueux de l'environnement pour les applications de pavage. C'est dans ce contexte que le présent travail a été mené et pour ce faire onze (11) compositions de bétons ont été étudiés. Un béton de granulats naturels, un béton de granulats recyclés et 9 bétons drainants sur lesquels des variations du dosage en ciment et des variations de la fraction granulaire ont été envisagées. Les bétons de granulats naturels et recyclés ont servi comme bétons témoins. Les propriétés étudiées sont la maniabilité, à l'état durci la résistance mécanique (la compression et la traction) et la détermination de la perméabilité. Les résultats obtenus montrent que la maniabilité des bétons drainants ne peut pas être quantifiée par un essai simple de l'affaissement au cône. La résistance mécanique est fortement influencée par le dosage en pâte donc par un volume accru de pâte. L'influence de la variation de la fraction granulaire n'est pas déterminante dans l'amélioration de la résistance mécanique. L'essai de perméabilité a permis de dégager l'importance de la taille granulaire, la fraction 3/8 mm permet d'avoir une perméabilité du béton inférieure à celle obtenue avec un granulat de grande taille (fraction 8/16 mm). Une augmentation du volume des granulats au dépend du volume de pâte fait diminuer la résistance à la compression mais la perméabilité augmente.

## ملخص

يتم استخدام خرسانة الصرف بشكل عام لخصائص تصريف المياه. ومع ذلك، فإن تصريف الخرسانة له خواص ميكانيكية سيئة مقارنة بالخرسانة التقليدية. هذا بسبب مساميتها الفعالة الكبيرة نسبياً. يمكن استخدام الركام المعاد تدويره بدرجة مسامية عالية وكثافة أقل من المجاميع الطبيعية كمواد بناء صديقة للبيئة لتطبيقات الصرف. في هذا السياق، تم إجراء العمل الحالي، وتمت دراسة أحد عشر (11) تركيبة من الخرسانة. خرسانة من المجاميع الطبيعية، وخرسانة من المجاميع المعاد تدويرها و 9 خرسانة تصريف خضع للاختلافات في جرعة السمنت والاختلافات في الكسر الحبيبي. خدم الخرسانة الكلي المعاد تدويرها بمثابة خرسانة مراقبة. الخواص المدروسة هي قابلية التشغيل، في الحالة الصلبة، المقاومة الميكانيكية (الضغط والجر) وتحديد النفاذية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن قابلية عمل خرسانة الصرف ال يمكن قياسها عن طريق اختبار بسيط لانهيار المخروطي. تتأثر القوة الميكانيكية بقوة بجرعة العجينة وبالتالي زيادة حجم العجينة. تأثير اختلاف الكسر الحبيبي ليس حاسماً في تحسين القوة الميكانيكية. كشف اختبار النفاذية عن الحجم الحبيبي مم 16/8 الهام، حيث يتيح الجزء 8/3 مم نفاذية الخرسانة لتكون أقل من تلك التي تم الحصول عليها باستخدام حبيبات كبيرة زيادة حجم المجاميع على حساب حجم العجين يقلل من قوة الضغط ولكن نفاذية يزيد

# Summary

Drainage concrete is generally used for its draining characteristics. However, draining concrete has poor mechanical properties compared to conventional concrete. This is due to its relatively large effective porosity. Recycled aggregates with high porosity and lower density than natural aggregates can be used as environmentally friendly building material for paving applications. It is in this context that the present work was conducted and to do this eleven (11) concrete compositions were studied. A concrete of natural aggregates, a concrete of recycled aggregates and 9 draining concretes on which variations of the cement dosage and variations of the granular fraction were considered. Natural and recycled aggregate concretes served as control concretes. The studied properties are the workability, in the hardened state the mechanical resistance (the compression and the traction) and the determination of the permeability. The results obtained show that the workability of the draining concretes can not be quantified by a simple test of cone collapse. The mechanical strength is strongly influenced by the paste dosage and therefore by an increased volume of dough. The influence of the variation of the granular fraction is not decisive in the improvement of the mechanical strength. The permeability test revealed the important granular size, the 3/8 mm fraction allows concrete permeability to be lower than that obtained with a large granulate (fraction 8/16 mm). increasing the volume of the aggregates at the expense of the volume of the dough reduces the compressive strength but the permeability increases.

## Table des matières

Introduction général.....	1
<b>Chapitre I : Etude bibliographique .....</b>	<b>4</b>
Introduction .....	4
Le béton perméable ou le béton poreux.....	5
Utilisations .....	6
Les avantages de l'utilisation du béton drainant... ..	6
Pourquoi on utilise le béton drainant ? .....	9
-Gestion des eaux de ruissèlement et réduction des surfaces imperméables... ..	9
I.4/ Le recyclage, c'est quoi ? .....	10
La classification des déchets .....	10
Elaboration des granulats recyclés.....	11
Les avantages de recyclage .....	12
Cas de l'Algérie.....	13
CONCLUSION... ..	14
<b>Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale .....</b>	<b>15</b>
Matériaux utilisés .....	15
a. Ciment... ..	15
b. Les granulats... ..	16
i.b1. Le sable... ..	16
i.b2. Le gravier naturel... ..	18
- Gravier naturel 3/8.....	18
- Gravier naturel 8/16.....	18
i.b3. Le gravier recyclé.....	19
- Gravier recyclé 3/8.....	19
- Gravier recyclé 8/16.....	20
➤ Caractéristiques mécaniques.....	21
• Essai Los Angeles .....	21
• Essai Micro Deval.....	21
c. L'eau.....	22

Formulation des bétons ordinaires de référence...	22
Formulation d'un béton ordinaire avec des granulats naturels .....	22
Formulation d'un béton ordinaire avec des granulats recyclés .....	24
Formulation des bétons drainant étudiés...	25
a. Préparation des mélanges...	25
b. Choix du rapport E/C...	26
c. Procédures et essais de caractérisation...	28
o Formulation du Béton drainant 1...	30
o Formulation du Béton drainant 2.....	31
o Formulation du Béton drainant 3.....	32
o Formulation du Béton drainant 4.....	34
o Formulation du Béton drainant 5.....	35
o Formulation du Béton drainant 6.....	36
o Formulation du Béton drainant 7.....	37
o Formulation du Béton drainant 8.....	38
o Formulation du Béton drainant 9.....	40
i) A l'état frais...	41
• L'affaissement au cône d'Abrams .....	41
• La masse volumique.....	42
• L'air occlus.....	42
ii) A L'état durci.....	43
• Détermination de volume des vides .....	43
• Résistance à la compression.....	43
• Perméabilité.....	44
• Résistance à la traction par fendage.....	46
CONCLUSION.....	46
<b>Chapitre III : Analyse et résultats.....</b>	<b>48</b>
• Introduction.....	48
Comportement à l'état frais.....	48
Affaissement au cône d'Abrams .....	48
Masse volumique à l'état frais des bétons drainants.....	50
Volume d'air occlus des bétons drainants.....	51
Comportement à l'état durci .....	52
Résistance à la compression.....	52
Comparaison du béton drainant par rapport aux bétons naturel et recyclé.....	52

Comportement des bétons drainants...	54
III.2.1.2a Influence du dosage en ciment...	54
III.2.1.2b Influence de la fraction granulaire .....	58
Résistance à la traction par fendage .....	60
Perméabilité .....	61
CONCLUSION...	65
CONCLUSION GENERALE ET PRESPECTIVES...	67



LISTE DE FIGURES :

N°	Titre	Page
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>		
<b>Figure 1</b>	Stagnation des eaux de pluie sur une surface de béton	01
<b>Figure I.1</b>	Le béton est principalement utilisé dans le bâtiment	04
<b>Figures I.2</b>	Les bétons drainants.	07
<b>Figure I.3</b>	Béton drainant coloré en vert.	08
<b>Figure I.4</b>	Béton drainant coloré en rouge.	08
<b>Figure I.5</b>	Cycle de vie du béton	10
<b>Figure I.6</b>	Compositions des déchets.	11
<b>Figure I.7</b>	les granulats naturels	12
<b>Figure I.8</b>	les granulats recyclés	12
<b>Chapitre II : Matériaux utilisées et méthodologie expérimental</b>		
<b>Figure II-1</b>	les déchets de béton	16
<b>Figure II-2</b>	Courbe de la distribution granulométrique du sable	17
<b>Figure II-3</b>	Courbe de l'analyse granulométrique des graviers recyclés.	20
<b>Figure II-4</b>	Appareil Los Angeles	22
<b>Figure II-5</b>	Appareil Micro Deval	22
<b>Figure II-6</b>	Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,3	26
<b>Figure II-7</b>	Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,28	27
<b>Figure II-8</b>	Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,27	27
<b>Figure II-9</b>	Béton consolidé avec 5secondes de temps vibration	28
<b>Figure II-10</b>	Béton consolidé avec 10 secondes de temps vibration	29
<b>Figure II-11</b>	Béton consolidé avec 15secondes de temps vibration	29

<b>Figure II-12</b>	Béton consolidé par piquage avec la tige au cône d'Abrams	29
<b>Figure II-13</b>	Les étapes de l'essai du Cône d'Abrams au laboratoire	42
<b>Figure II-14</b>	Le moule vide	42
<b>Figure II-15</b>	Les moules remplis	42
<b>Figure II-16</b>	Les étapes de l'essai de l'air occlus réalisé au laboratoire.	43
<b>Figure II-17</b>	Essai de volume de vide	43
<b>Figure II-18</b>	L'appareil de compression	44
<b>Figure II-19</b>	Ecrasement d'un béton drainant	44
<b>Figure II-20</b>	Essai de perméabilité	45
<b>Figure II-21</b>	Appareil de la traction par fendage	46
<b>Chapitre III : Analyses et résultats</b>		
<b>Figure III-1</b>	Affaissement au cône d'Abrams des bétons BN, BR et bétons drainants	49
<b>Figure III-2</b>	Affaissement du béton BRD	50
<b>Figure III-3</b>	Variation de la masse volumique à l'état frais des bétons drainants	51
<b>Figure III-4</b>	Variation du volume du vide théorique des bétons drainants	51
<b>Figure III-5</b>	Variation du volume d'air occlus des bétons drainants	52
<b>Figure III-6</b>	Comparaison des bétons drainants par rapport au béton naturel et recyclé	53
<b>Figure III-7</b>	Béton poreux	54
<b>Figure III-8</b>	Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 300 kg	55
<b>Figure III-9</b>	Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 350 kg	55
<b>Figure III-10</b>	Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 400 kg	56

<b>Figure III-11</b>	Evolution de la résistance à la compression en fonction du volume de pâte	56
<b>Figure III-12</b>	Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport $V_G/V_P$	57
<b>Figure III-13</b>	Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport massique G/C	57
<b>Figure III-14</b>	Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire 3/8 mm	58
<b>Figure III-15</b>	Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire 8/16 mm	59
<b>Figure III-16</b>	Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire mélange 50/50	59
<b>Figure III-17</b>	Variation de la résistance à la compression obtenue à 28 jours en fonction de la composition granulaire	60
<b>Figure III-18</b>	Variation du volume théorique des vides de la composition granulaire en fonction du dosage en ciment	60
<b>Figure III-19</b>	Variation de la résistance à la traction par fendage à 28 jours en fonction du dosage en ciment et la composition granulaire	61
<b>Figure III-20</b>	Variation de la perméabilité en fonction du dosage en ciment	62
<b>Figure III-21</b>	Variation de la perméabilité en fonction des fractions granulaires	63
<b>Figure III- 22</b>	Evolution de la résistance à la compression et la perméabilité en fonction du rapport $V_G/V_P$	64
<b>Figure III- 23</b>	Evolution de la résistance à la compression et la perméabilité en fonction du volume de pâte	64
<b>Figure III- 24</b>	Evolution de la perméabilité en fonction des volumes théorique et réel des vides	65

**LISTE DES TABLEAUX :**

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Chapitre I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>		
<b>Tableau I.1</b>	les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie.	<b>13</b>
<b>Chapitre II : Matériaux utilisé et méthodologie expérimentale</b>		
<b>Tableau II-1</b>	Propriétés chimiques et minéralogique du ciment	<b>15</b>
<b>Tableau II-2</b>	Propriétés physiques du ciment	<b>15</b>
<b>Tableau II-3</b>	Equivalent du sable	<b>17</b>
<b>Tableau II-4</b>	Analyse granulométrique du sable	<b>17</b>
<b>Tableau II-5</b>	Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 3/8	<b>18</b>
<b>Tableau II-6</b>	Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 8/16	<b>19</b>
<b>Tableau II-7</b>	Analyse granulométrique du gravier recyclé de la fraction 3/8	<b>20</b>
<b>Tableau II-8</b>	Teneurs d'absorption d'eau des granulats recyclés	<b>21</b>
<b>Tableau II-9</b>	Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 3/8	<b>21</b>
<b>Tableau II-10</b>	Coefficients LA et MDE des granulats	<b>23</b>
<b>Tableau II-11</b>	Composition de béton ordinaire de granulats naturels pour 1 m <sup>3</sup>	<b>24</b>

<b>Tableau II-12</b>	Composition de béton ordinaire de granulats recyclés pour 1 m <sup>3</sup>	<b>26</b>
<b>Tableau II-13</b>	Composition du béton drainant 1	<b>33</b>
<b>Tableau II-14</b>	Composition du béton drainant 2	<b>34</b>
<b>Tableau II-15</b>	Composition du béton drainant 3	<b>36</b>
<b>Tableau II-16</b>	Composition du béton drainant 4	<b>37</b>
<b>Tableau II-17</b>	Composition du béton drainant 5	<b>38</b>
<b>Tableau II-18</b>	Composition du béton drainant 6	<b>39</b>
<b>Tableau II-19</b>	Composition du béton drainant 7	<b>41</b>
<b>Tableau II-20</b>	Composition du béton drainant 8	<b>42</b>
<b>Tableau II-21</b>	Composition du béton drainant 9	<b>43</b>
<b>Tableau II-22</b>	Tableau récapitulatif	<b>44</b>

### **Chapitre III : Analyses et résultats**

<b>Tableau III-1</b>	La désignation des mélanges de béton	<b>48</b>
<b>Tableau III-2</b>	Résistances en compression des bétons BN, BR et BDR	<b>53</b>

INTRODUCTION

GENERALE

## Introduction Générale

---

De grandes quantités d'eau de pluie tombent sur des surfaces imperméables telles que des parcs de stationnement, des allées, des trottoirs et des rues plutôt que de s'imprégner dans le sol. Cela crée un déséquilibre dans l'écosystème naturel et pose de nombreux problèmes, notamment l'érosion, les inondations et le non renouvellement des nappes phréatiques. Une solution simple pour éviter ces problèmes consiste à arrêter de construire des surfaces imperméables et de procéder à revêtir par béton drainant ou poreux perméable. Ce matériau offrant la durabilité inhérente et un faible coût du cycle de vie d'un revêtement en béton typique tout en préservant les eaux de ruissellement et en régénérant les eaux locales. Les photos suivantes montrent un cas typique de stagnation des eaux de pluie sur une surface piétonnière.



**Figure 1** : Stagnation des eaux de pluie sur une surface de béton

Des recherches considérables ont été menées sur le développement durable sur le plan environnemental. Cela a conduit à l'utilisation de béton sans fines particules, c'est-à-dire sans sable, à la place des surfaces de béton et d'asphalte classiques. Le béton perméable est une structure ouverte et nivelée avec des vides interconnectés à travers lesquels les eaux de pluie s'infiltrent sans gêne dans l'aquifère. Il se compose dans la majorité des cas de ciment, de gros granulats et d'eau.

Par ailleurs, des quantités assez importantes de gravats et matériaux de démolition sont entreposés parfois des décharges sauvages. Ces matériaux peuvent constituer une source non négligeable en matériaux granulaires pour béton. Le recyclage des déchets de construction et de démolition offre une solution durable pour réduire le taux de consommation des sites de stockage et des ressources naturelles.

## Introduction Générale

---

En Algérie, la quasi-totalité de la production du béton pour le bâtiment et travaux publics est composée seulement de granulats d'origine naturelle. En outre, une utilisation abusive de telle ressource non renouvelable est constatée même pour la production d'éléments de moindres importances à l'exemple de béton pour trottoir. Le stock disponible de ces granulats est devenu insuffisant pour satisfaire les chantiers par la demande en ces matériaux et qui s'est accentuée ces dernières années. C'est dans ce contexte que ce travail est entrepris en vue de valoriser les granulats recyclés en tant que granulats pour béton et ceci rentre dans le cadre du développement durable et l'économie circulaire.

Également, les granulats recyclés, ayant une forte porosité, une densité inférieure à celle des granulats naturels et une faible résistance mécanique, peuvent être recommandés comme matériau de base pour la confection du béton drainant. Ce dernier nécessite une forte porosité pour remplir la fonction de perméabilité et ne requiert pas une résistance mécanique importante. En conséquence, les granulats recyclés peuvent être utilisés comme matériau de construction respectueux de l'environnement pour les applications de pavage, y compris les allées, les trottoirs, les routes à faible trafic, les accotements et les aires de stationnement.

Le mémoire est réparti sur 3 (trois) chapitres :

- Le premier chapitre comporte une revue bibliographique sur le sujet traité, il englobe un aperçu général sur les bétons drainants dit également béton perméable ou béton poreux dans la production du béton ainsi qu'une synthèse de la littérature sur les bétons de granulats recyclés.
- Le second chapitre présente les matériaux utilisés pour cette étude ainsi que leurs caractérisations (physique et mécanique). Une méthodologie des tests menés sur les échantillons est également mentionnée dans ce chapitre. La formulation des bétons drainants inspirée des rapports des comités 211 et 522 del'ACI, est aussi présentée. Un test de perméabilité, conçu par nos soins et répondant aux exigences normatives, a été réalisé.
- Le chapitre trois est consacré à la présentation des résultats et les interprétations des phénomènes qui en découlent. Dans ce chapitre est envisagé d'évaluer l'effet des différents facteurs recensés influençant les comportements des bétons drainants. Ces facteurs concernent la variation du dosage en ciment (300, 350 et 400) en vue d'améliorer la résistance mécanique des bétons



## **Introduction Générale**

---

poreux et également la variation de la fraction granulaire pour remplir la fonction de perméabilité la plus possible.

- Les enseignements tirés de cette étude et quelques orientations constituent la conclusion générale et quelques recommandations.

**CHAPITRE I**

**ETUDE**

**BIBLIOGRAPHIQUE**

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## INTRODUCTION :

Le **génie civil** est un domaine très vaste. Il s'agit du domaine de l'urbanisme dont la fonction est de construire et, d'une manière plus générale, de mettre en œuvre les décisions d'aménagement du territoire. Les principales spécialisations du génie civil sont la structure, l'hydraulique, l'environnement et la géotechnique. On observe deux grandes distinctions au sein du génie civil : le bâtiment et les travaux publics. Ces domaines ne sont pas antonymes, mais les besoins de l'économie ont fait que ces spécialités se sont affûtées au fil du temps. Quelle que soit sa spécialisation, l'ensemble du travail d'un ingénieur civil repose sur deux concepts clés : l'évaluation des charges et la résistance des matériaux. En fait, l'objectif premier est de combiner un ensemble de matériaux afin de résister à des charges pour accomplir une fonction principale.

Le béton est un matériau de construction composé d'un mélange de granulats, de sable, et d'eau, aggloméré par un liant hydraulique (le plus souvent du ciment) qui sert de « colle ». On y ajoute éventuellement des adjuvants et d'autres ingrédients pour modifier ses caractéristiques. Pour fabriquer 1 m<sup>3</sup> de béton, il faut environ 300 kg de ciment, 800 kg de sable, 1.050 kg de granulats et 175 l d'eau.

Les premiers bétons remontent à plus de 3.000 ans avant J. C. Ils étaient alors composés d'argile, de sable, de gravier et d'eau et appelés béton de terre ou torchis. L'invention du « ciment romain » en 1796 puis du béton précontraint vont sceller le succès du béton. C'est aujourd'hui le matériau de construction le plus utilisé au monde : on estime sa production à environ une tonne par habitant sur la planète.

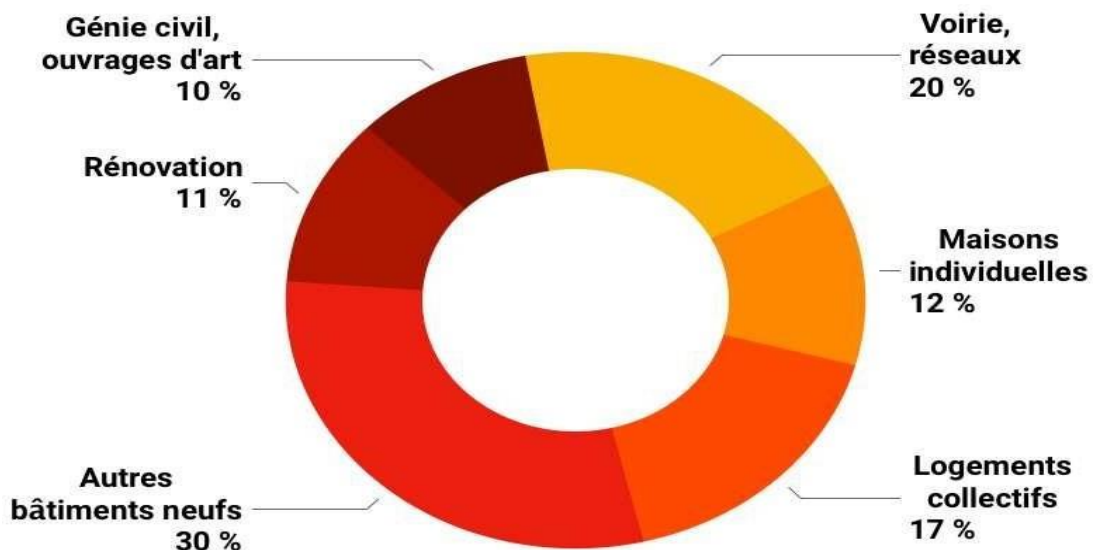


Figure I.1 : Le béton est principalement utilisé dans le bâtiment, la voirie et les ouvrages d'art.  
Source : Syndicat national du béton prêt à l'emploi (SNBPE). © C.D, Futura

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

## LE BETON PERMEABLE OU LE BETON DRAINANT :

Une plus grande quantité d'eau de pluie finit par tomber sur des surfaces imperméables telles que des parkings, les trottoirs, et les routes, plutôt que de s'imprégner dans le sol. Cela crée un déséquilibre dans l'écosystème naturel et conduit à une foule de problèmes, y compris l'érosion, les inondations, l'épuisement des nappes phréatiques.

Une solution simple à éviter ces problèmes consistent à cesser de construire des surfaces imperméables et de passer à un revêtement en béton perméable.

Le béton drainant est un matériau composé de vides interconnectés. Les vides, qui représentent de 15 à 35 % du volume du béton, permettent à l'eau d'y circuler et d'être évacuée vers un exutoire, et ce, de façon durable. Ces vides sont reliés à la formulation du béton et non à une consolidation insuffisante. Selon la taille des gros granulats et la densité du mélange, le béton drainant permet d'évacuer en une minute de 85 à 730 litres d'eau par mètre carré. Il est le matériau qui a connu un grand développement lors des dernières décennies à cause de ses propriétés environnementales [Environmental Protection Agency (EPA), 2011]. Il est capable de drainer les eaux de pluie et de ruissèlement et de réduire le bruit de frottement de pneus sur les chaussées. Le béton drainant contribue également à la diminution de l'effet des îlots de chaleurs dans les milieux urbains [Malhotra, 1976 ; J. T. Keven et al., 2009 ; Jan et al., 2003]. À cause de sa texture, il améliore l'adhérence des pneus sur la chaussée [Environmental Protection Agency (EPA), 2011].

La mise en place du béton drainant se fait avec des engins, tels que les rouleaux compacteurs, les règles vibrantes ou les dames sauteuses. Une attention particulière doit être faite lors de l'application de l'énergie de consolidation afin d'éviter le blocage des pores à la base du pavage avec la pâte de ciment, surtout pour les mélanges ayant un volume de pâte élevé et possédant une grande ouvrabilité.

La formulation du béton drainant n'est pas normalisée. Le béton drainant est confectionné avec les mêmes matériaux que le béton conventionnel. On trouve une méthode proposée par le comité 522 de l'ACI qui permet d'obtenir un matériau drainant de bonne qualité. Le principe de base de cette méthode est la détermination de la masse volumique pilonnée. À l'aide des abaques, on détermine le volume de pâte en fonction de la porosité effective désirée. Le problème qui se pose pour cette méthode est que les abaques fournis sont valables pour une certaine granulométrie, alors que l'énergie de consolidation n'est pas clairement définie, c'est à dire aucune quantification n'est proposée entre les niveaux de consolidation proposés.

Le béton drainant est généralement un mélange de gros granulats, du ciment et de l'eau. Suite aux récents progrès technologiques, des adjuvants et des ajouts cimentaires, tels que la fumée de silice et les cendres volantes, sont également utilisés. Les adjuvants comme les agents réducteurs d'eau, les super-plastifiants et les agents de viscosité sont également employés. De petites quantités de sable sont également utilisées pour améliorer les performances mécaniques du béton drainant. Le latex a été également utilisé dans une étude menée par

## **CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE**

---

Yang et Jiang (2003), sa combinaison avec la fumée de silice avait pour finalité l'amélioration de la microstructure de la pâte de ciment et des propriétés mécaniques.

### **UTILISATIONS :**

La première utilisation du béton drainant a été en Angleterre dans la construction des Bâtiments à deux niveaux [Malhotra, 1976]. Après la deuxième guerre mondiale et suite à la destruction d'une grande partie des infrastructures, le béton drainant a connu une forte utilisation qui est due à sa faible demande en matériau par rapport au béton conventionnel [Malhotra, 1976]. L'utilisation du béton drainant au Canada remonte en 1960 dans la construction des bâtiments résidentiels à plusieurs niveaux à Toronto (Ontario) [Malhotra, 1976]. L'utilisation dans les travaux de pavement a débuté en Floride aux États-Unis.

Le béton drainant est utilisé dans les applications ne requérant pas de grandes performances mécaniques. Les applications les plus courantes sont : les aires de stationnement, les chaussées à faible trafic, les murs porteurs dans la construction de bâtiments, et les courts de tennis.

L'utilisation la plus remarquable a été réalisée à Stuttgart en Allemagne où un grand bâtiment de 19 étages a été construit. Les six premiers étages sont construits avec un béton conventionnel, alors que les treize étages supérieurs sont construits avec du béton poreux [Malhotra, 1976].

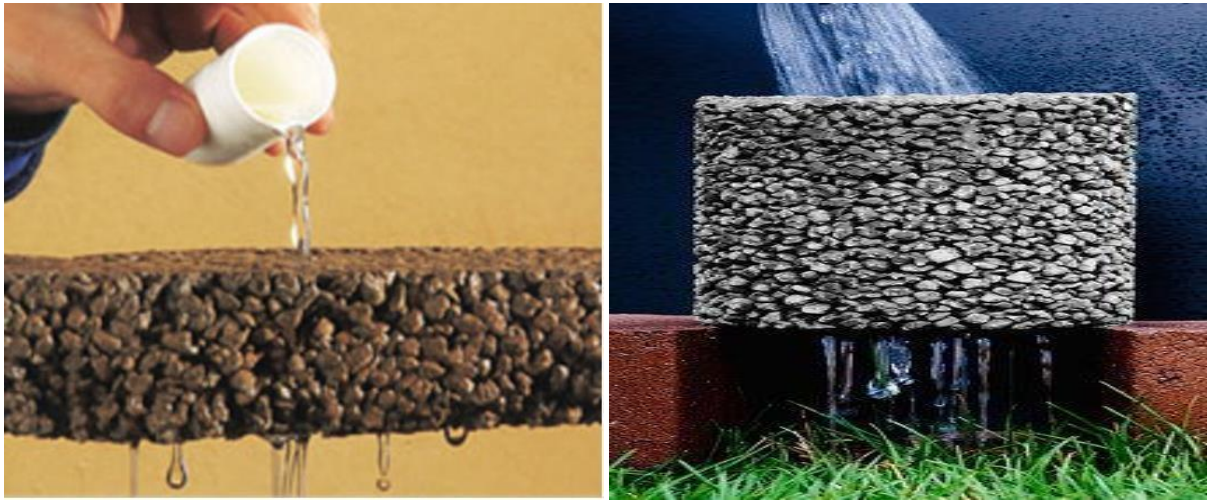
### **LES AVANTAGES DE L'UTILISATION DU BETON DRAINANT :**

Sont nombreux, à titre d'exemple, les bétons drainants favorisent la percolation des eaux de ruissèlement et assurent une bonne isolation thermique. Des recherches ont également démontré une bonne capacité d'absorption acoustique du béton drainant [N. Narayanan et al. 2005]. Bien qu'il possède des propriétés environnementales importantes, son utilisation reste assez limitée car il offre de faibles performances mécaniques et le risque d'obturation des pores nécessite un entretien soutenu.

L'urbanisation du territoire a entraîné le remplacement des sols perméables qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces imperméabilisées (les toits, les routes, les stationnements, etc.) ce qui cause une augmentation de la quantité d'eau de ruissèlement ainsi qu'une dégradation des milieux récepteurs. Jusqu'à tout récemment l'évacuation rapide et efficace des eaux pluviales s'est avéré le principal objectif par la mise en place des réseaux de drainage. Les conséquences de cette approche mènent aux inondations en aval, (une pollution hydrocarbures, matières en suspension, herbicides, etc.) accrue des récepteurs et des modifications au cours d'eau. Le béton drainant a été développé avec l'intention de diminuer la quantité d'eau de ruissèlement produite, de ralentir son écoulement et de déduire sa charge polluante pour une saine gestion des eaux de ruissèlement. Contrairement aux revêtements standards qui sont imperméables et qui génèrent d'importants volumes d'eau de ruissèlement lors de fortes pluies, la chaussée en béton drainant permet à l'eau de la traverser facilement et d'être évacuée dans une fondation drainante dimensionnée à cet effet. La fondation drainante

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

agit comme réservoir d'eau afin de permettre son infiltration dans le sol existant et ainsi permettre le réapprovisionnement des nappes phréatiques et des couches aquifères.



Figures I.2 : Les bétons drainants.

- La constitution du matériau lui donne une **propriété unique** : l'eau filtre à travers du revêtement pour finir sa course sous terre. Le béton drainant présente un fort degré de porosité qui lui permet de drainer de 16 à 20 litres par seconde.

D'autres avantages de l'utilisation du béton drainant :

- **Sécurité**

Ce matériau perméable évite que l'eau ne stagne à sa surface lors d'épisodes de fortes pluies. En conséquence :

- les **risques d'inondation** sont évités
- les **chutes** causées par une glissade sur l'eau sont supprimées
- les **effets d'éblouissements** sont réduits, plutôt pratique quand on doit rentrer sa voiture au garage par temps de pluie

- **Economique**

Installer un système supplémentaire **d'évacuation des eaux** est un investissement coûteux. Le béton drainant nous **affranchit de ces travaux** car il a la particularité d'aider naturellement au recyclage de l'eau.

- **Ecologique**

Puisqu'il laisse passer l'eau, le béton drainant permet le **réapprovisionnement des nappes phréatiques**. Fini le ruissellement à la surface de votre terrasse ou aux abords de votre piscine.



## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

Le cycle de l'eau est respecté et contribue à la **bonne hydratation** de vos terres. Par ailleurs, ce système permet de désengorger les réseaux d'égouts de votre ville !

### - Confort

Grâce à sa **perméabilité** élevée, dites au revoir aux flaques d'eau en surface ! Le béton drainant a des avantages lorsqu'il pleut, mais également lors de fortes chaleurs : grâce à une **ventilation naturelle**, la température du sol diminue ce qui vous permet de vous balader pieds nus même sous un soleil de plomb

### - Personnalisable

Le béton drainant peut être **coloré** selon vos envies ! Du vert, du rouge, de l'anthracite... Harmonisez la couleur en fonction de l'environnement de votre aménagement extérieur.

Quelques exemples de couleurs :



Figure I.3 : Béton drainant coloré en vert.



Figure I.4 : Béton drainant coloré en rouge.

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

Les **aménagements extérieurs** qui se prêtent le plus à l'utilisation du béton drainant sont :

- la terrasse
- l'allée de jardin
- l'allée de garage
- la plage de piscine

En conclusion, le béton drainant est un choix malin lorsque des **problématiques de gestion d'eau** se posent.

## POURQUOI ON UTILISE LE BETON DRAINANT ?

### - GESTION DES EAUX DE RUISSELEMENT ET REDUCTION DES SURFACES IMPERMEABLES :

La gestion des eaux de ruissellement est une préoccupation majeure en milieu urbain. Les boisés, les espaces verts, la végétation, les milieux humides ont fait place à des surfaces imperméables. Le développement urbain a pour effet de remplacer des sols perméables qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces imperméabilisées. L'emploi de revêtements perméables comme le béton drainant contribue à la gestion durable des eaux de pluie en permettant de :

- augmenter l'infiltration des eaux de ruissellement à proximité des sites où elles sont produites ;
- préserver la qualité de l'eau des milieux récepteurs (rivières, ruisseaux, lacs) en favorisant la filtration naturelle des eaux de ruissellement et en réduisant les effets de l'érosion des berges ;
- rationaliser les investissements en infrastructures par une allocation des ressources qui valorise la multifonctionnalité des espaces ;
- retarder et réduire les débits de pointe du système d'égout pluvial.

L'utilisation du béton drainant fait partie des stratégies d'aménagement contribuant à diminuer l'imperméabilisation des sols et est recommandée dans les documents « La gestion durable des eaux de pluie » et « Guide de gestion des eaux pluviales » du Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs et du Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire. L'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) des États-Unis considère l'utilisation du béton drainant parmi les meilleures pratiques de la gestion des eaux de ruissellement.

Il peut être utilisé dans plusieurs applications où la gestion des eaux de ruissellement (ou du bruit) est un enjeu. Sans s'y limiter, notons :

- Aires de stationnement commerciales et résidentielles
- Voies piétonnières
- Contrôle de l'érosion
- Aires de jeux et parcs
- Courts de tennis
- Fondations drainantes de routes
- Revêtements de serres
- Revêtements pour les bords de piscine
- Écrans antibruit (type absorbant)
- Rues à faible débit.



# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Par contre, il ne doit pas être utilisé dans les applications suivantes :

- Aux endroits où le béton doit être imperméable
- Aux endroits où il serait exposé à des charges supérieures à celles prévues
- Aux endroits où un risque important de déversement de contaminants est possible
- Pour le béton armé.

## I.4/ LE RECYCLAGE, C'EST QUOI ?

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus, dans un nouveau cycle de vie. L'un des exemples les plus connus illustrant ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles en verre grâce aux bouteilles usagées. Le verre est recyclable à l'infini.

Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume des déchets, et donc de la limitation de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles à se dégrader) et la préservation des ressources naturelles, car la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire.

*« Rien ne se perd, rien ne se crée : tout se transforme ». Antoine Lavoisier*

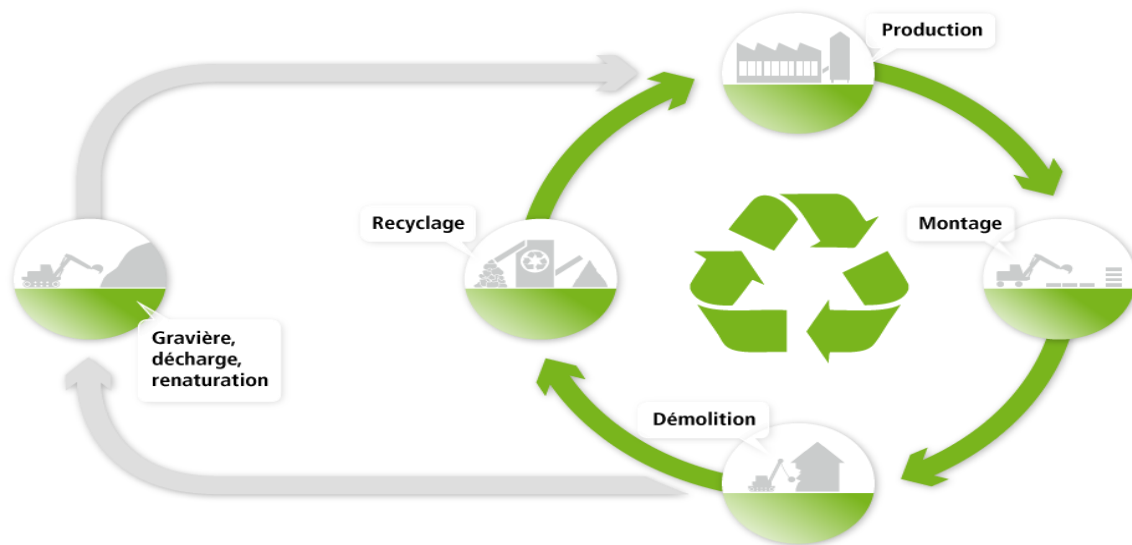


Figure I.5 : Cycle de vie du béton

## LA CLASSIFICATION DES DECHETS :

Les granulats recyclés proviennent des déchets de démolition de bâtiments ou de routes. Ces déchets de chantier sont constitués de résidus des procédés de production et de transformation (déchets chimiques, emballages, bois traités ou non traités...). Ces déchets de démolition font partis des déchets industriels dans la classification usuelle (à distinguer

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

des déchets urbains et des déchets agroalimentaire). Il est nécessaire de distinguer les différentes catégories des déchets industriels. Quatre grandes catégories permettent de classer ces déchets industriels :



Figure I.6 : Compositions des déchets, Source : chiffres <http://www.alcor-controles.fr>

### ELABORATION DES GRANULATS RECYCLES :

Les installations de production de granulats recyclés ne sont pas tellement différentes des installations de concassage des granulats naturels, ce qui les différencie c'est la présence des impuretés dans les matériaux.

Pour enlever ces impuretés, à différents moments au cours du processus de concassage des opérations de triage manuel ou mécanique sont effectuées. Les plus gros débris comme les plaques de métal, les panneaux de bois, les aciers d'armature, le papier, le plastique, etc. sont enlevés à la main avant l'entrée des matériaux au concasseur primaire, tandis que pour enlever les impuretés légères, deux procédés sont proposés: l'épuration à l'air et l'épuration par voie humide. Pour la première solution, les granulats sont entraînés par un courant d'air sur des distances variables selon leur forme et leur nature. Le deuxième cas, l'épuration par voie humide (flottaison), la séparation est réalisée au moyen d'un bain dans lequel les granulats recyclés sont transportés par bande immergée et les fractions légères qui flottent sont séparées par des jets d'eau à contre-courant.

Le nombre de concasseurs utilisés dépendra de la qualité de granulats à obtenir. L'utilisation d'un seul concasseur donnera des matériaux de plus ou moins bonne qualité, et ce, même si le matériau de départ est relativement propre. De plus, procéder à un seul concassage n'enlèvera pas toutes les impuretés, seuls les débris métalliques seront enlevés grâce à l'électro-aimant. Donc, l'utilisation d'un deuxième concasseur permettra de procéder à une deuxième opération de triage (manuel et magnétique), ce qui donnera un matériau beaucoup plus propre. Pour obtenir une plus grande propreté, le RILEM propose donc d'enlever la fraction inférieure à 10 mm après le premier concassage et de diriger le retenu vers le deuxième concasseur.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---



Figure I.7 : les granulats naturels



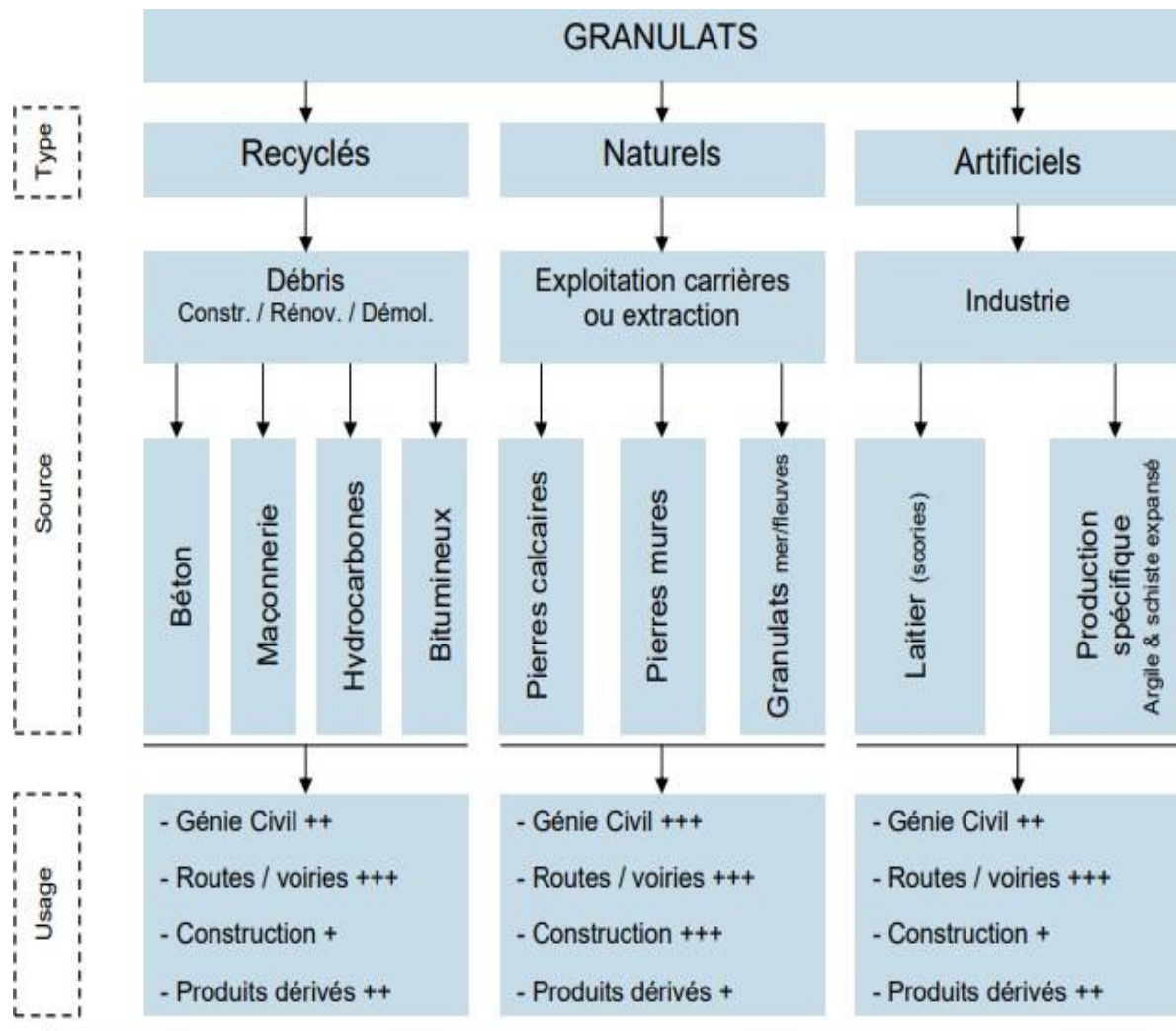
Figure I.8 : les granulats recyclés

### LES AVANTAGES DE RECYCLAGE :

Le recyclage des granulats sur les **chantiers routiers** et la réutilisation des matériaux sur place dans les **chantiers de démolition** de bâtiments permet :

- une économie de la ressource naturelle,
- une réduction du transport des matériaux, donc une réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre
- une mise en œuvre rapide minimisant la gêne pour les habitants,
- la réduction des quantités de matériaux mis en décharge
  
- Le recyclage évite la mise en **décharge** ou l'**incinération** qui sont des modes de **gestion des déchets** favorisant la pollution des sols et de l'air.
- Utiliser un déchet comme ressource, c'est aussi préserver les matières premières naturelles. Et cela peut être plus économique, comme dans le cas de la fabrication de **verre** ou d'**aluminium** à partir de matériaux usagés

# CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE



Le tableau I.1 de synthèse ci-dessus présente, les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie.

## CAS DE L'ALGERIE :

Recyclage des déchets en Algérie : un marché de 38 milliards DA en quête d'investisseurs (source du Ministère des Ressources en eau et de l'Environnement, année 2016).

Avec à peine 10% de taux de recyclage, l'Algérie ne figure pas sur la liste des nations qui valorisent le plus leurs déchets dont le volume est pourtant en augmentation avec la croissance démographique et celle de la consommation.

On estime à près de 23 millions de tonnes la quantité de déchets solides générée annuellement en Algérie, dont plus de la moitié est constituée de déchets ménagers et assimilés (DMA) - entreprises, hôpitaux, écoles, collectivités, etc. - représentant la part la plus importante des déchets solides générés en Algérie, soit autour de 11 millions de tonnes par an en 2014. Un Algérien génère en moyenne près de 1 kg de DMA par jour.

La quantité de ces déchets augmente annuellement de 3%, selon les chiffres de l'Agence nationale des déchets (AND). Une étude allemande (GIZ) a estimé à plus de 2,5 millions la

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

---

quantité annuelle des déchets industriels. Les déchets ne manquent pas, mais c'est le sort qui leur est réservé qui pose problème. Près de la moitié des déchets ménagers et assimilés sont déversés dans des décharges.

### CONCLUSION :

D'après ce qui a été présenté dans cette partie bibliographique, on peut conclure que :

Il y a un besoin énorme de remplacer les bétons imperméables comme les aires de stationnement, les chaussées à faible trafic, les murs porteurs dans la construction de bâtiments, les parkings...etc. qu'on retrouve à l'état naturel par des surfaces perméabilisées. Car ceci contribue à la gestion durable des eaux de pluie.

Plusieurs méthodes **de mise en place du béton drainant** sont effectuées tels que, les règles vibrantes, les dames sauteuses ou les rouleaux compacteurs qu'on va essayer de les utiliser dans notre recherche.

L'emploi des granulats recyclés a des avantages : l'aspect environnemental par l'élimination d'une pollution visuelle, la création de nouveaux domaines d'investissement, diminution de la consommation d'énergie, protection de sources naturelles de granulats. La sélection des matériaux de démolition, solution efficace pour la production d'une bonne qualité de béton.

Pour mieux connaître le comportement du béton drainant incluant des granulats recyclés, on a consacré le deuxième chapitre à la caractérisation des matériaux utilisés et les formulations des bétons.

# CHAPITRE II

MATERIAUX UTILISES ET

METHODOLOGIE

EXPERIMENTALE



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

L'objectif de cette étude expérimentale est d'élaborer un bon béton drainant à base de granulats recyclés de béton, en caractérisant ses performances physiques, mécanique et hydraulique. Pour cela, plusieurs compositions ont été préparées pour permettre une comparaison et de choisir la meilleure configuration.

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans cette étude et leurs effets sur les bétons étudiés, ainsi que la méthodologie d'investigation et le plan expérimental suivi.

### **Matériaux utilisés :**

#### **a. Ciment :**

Le ciment utilisé est un ciment portland composé CEM II / A-S 42.5 (85 % de Clinker ; 3 % de Gypse ; 10 % de Pouzzolane et 2 % de Calcaire sableux) conforme à la norme algérienne NA 442. Provenant de la cimenterie de HDJAR EL SOUD, ses propriétés chimiques, minéralogiques et physiques sont énumérées dans les tableaux II-1 et II-2, respectivement.

**Tableau II-1: Propriétés chimiques et minéralogique du ciment**

Composition chimique									
CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>3</sub>	P.A.F	CaO Libre
60.41	5.19	21.91	2.94	1.60	0.16	0.02	2.19	3.83	1.01
Composition Minéralogique									
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S		C <sub>3</sub> A		C <sub>4</sub> AF				
58.2	18.5		9.3		8.2				

**Tableau II-2: Propriétés physiques du ciment**

Surface spécifique Blaine cm <sup>2</sup> /g	3280
Densité réelle	3,10
Consistance normale (%)	27
Début de prise (min)	135
Fin de prise (min)	250
Finesse de mouture sur un tamis de 80µm (%)	11
Résistance vraie MPA	42

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### b. Les granulats:

Dans cette étude, on a utilisé trois types de granulats :

- Sable roulé (sable de dune), siliceux provenant la région d'Annaba.
- Graviers naturels (concassés), roche d'origine calcaire locale des carrières d'Annaba.
- Graviers recyclés de béton issus du concassage des bétons d'éprouvettes récupérées d'un laboratoire d'essai (Constub Est zone industrielle El Bouni Annaba)

Il est à noter que le sable et les granulats naturels sont exclusivement utilisés pour la confection de bétons témoins en vue de faire une comparaison avec les bétons drainants concernant uniquement la résistance mécanique.



Figure II-1 : les déchets de béton

#### i.b1. Le sable

- Masse volumique :

Le sable de dune est caractérisé par une masse volumique apparente de  $1.42 \text{ t/m}^3$  et une masse volumique absolue de  $2.61 \text{ t/m}^3$

- Equivalent du sable :

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau II-3 :

Tableau II-3: Equivalent du sable

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	ES
Essai 1	8.90	11.20	79.46

$$70 < ES = 79.46 < 80$$

Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

➤ L'analyse granulométrique :

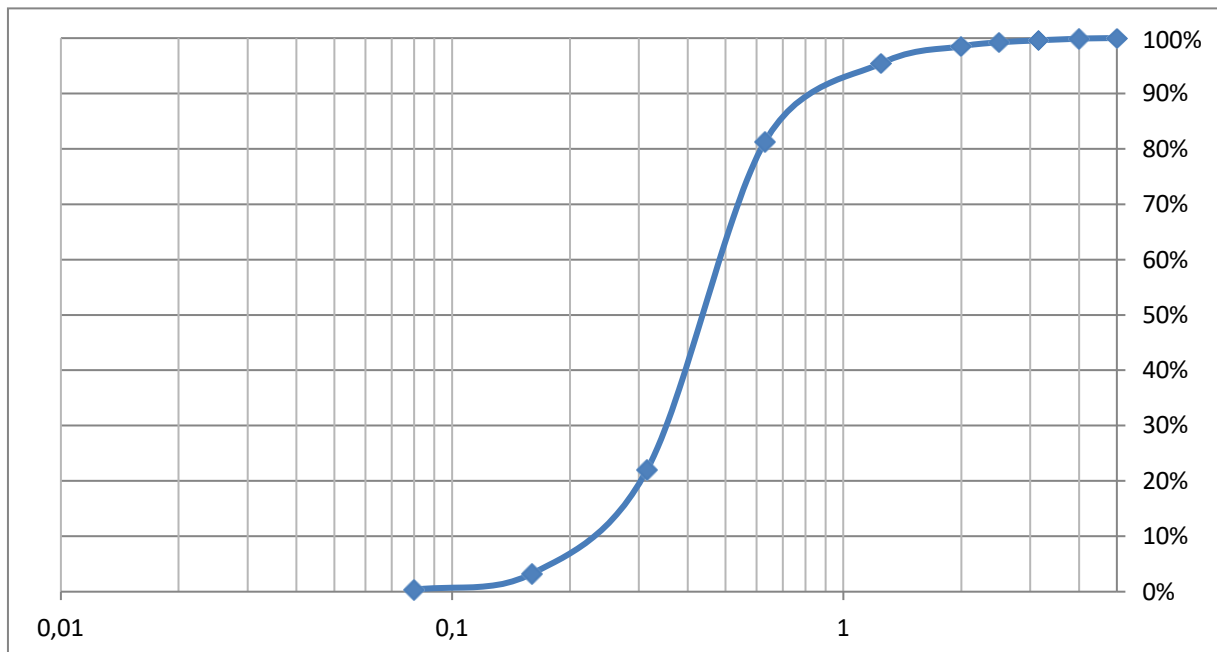
La masse initiale prise pour l'analyse est de 1000 g. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau II-4.

**Tableau II-4 : Analyse granulométrique du sable**

Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Ref. Cum. (%)	Tamisât (%)
<b>5</b>	0	0%	0%	100%
<b>4</b>	1,3	0%	0%	100%
<b>3,15</b>	3	0%	0%	100%
<b>2,5</b>	3,7	0%	1%	99%
<b>2</b>	7,2	1%	2%	98%
<b>1,25</b>	30,3	3%	5%	95%
<b>0,63</b>	141,6	14%	19%	81%
<b>0,315</b>	591,3	59%	78%	22%
<b>0,16</b>	187,1	19%	97%	3%
<b>0,08</b>	29,1	3%	100%	0%
<b>fond</b>	3	0%	100%	0%
<b>Somme</b>	997,6	Perte	2,4 g =	0,24% < 2%

Le module de finesse de ce sable est  $M_f = \frac{0+0.8+4.56+18.75+78.02+96.78}{100} = 2.0$

Les résultats de cette analyse granulométrique sont illustrés par la courbe de la figure II-1



**Figure II-2 : Courbe de la distribution granulométrique du sable**

### i. b2. Le gravier naturel

Le gravier naturel est utilisé pour la préparation des bétons témoins ordinaires. Deux fractions sont utilisées 3/8 et 8/16, dont les caractéristiques sont présentées ci-dessous.

#### - Gravier naturel 3/8

- Masse volumique :

Cette fraction du gravier naturel est caractérisée par une masse volumique apparente de 1.406 t/m<sup>3</sup> et une masse volumique absolue de 2.60 t/m<sup>3</sup>

- L'analyse granulométrique :

La masse initiale prise pour l'analyse est de 1600 g. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau II-5.

**Tableau II-5 : Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 3/8**

Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Ref. Cum. (%)	Tamisât (%)
<b>8</b>	6,6	0%	0%	100%
<b>6,3</b>	177,3	11%	12%	88%
<b>5</b>	480,6	30%	42%	58%
<b>3,15</b>	905,1	57%	98%	2%
<b>fond</b>	29,5	2%	100%	0%
<b>Somme</b>	1599,1	Perte	0,9 g =	0,06% < 2%

#### - Gravier naturel 8/16

- Masse volumique :

Cette fraction du gravier naturel est caractérisée par une masse volumique apparente de 1.2t/m<sup>3</sup> et une masse volumique absolue de 2.60 t/m<sup>3</sup>

- L'analyse granulométrique :

La masse initiale prise pour l'analyse est de 3200 g. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau II-6.

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

**Tableau II-6 : Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 8/16**

Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Ref. Cum. (%)	Tamisât (%)
<b>16</b>	48,6	2%	2%	98%
<b>12,5</b>	429,9	13%	15%	85%
<b>10</b>	869,9	27%	42%	58%
<b>8</b>	858,2	27%	69%	31%
<b>6,3</b>	349,7	11%	80%	20%
<b>fond</b>	629,3	20%	100%	0%
<b>Somme</b>	3185,6	Perte	14,4 g =	0,45% < 2%

### i. b3. Le gravier recyclé

Le gravier recyclé de béton est utilisé pour la préparation des bétons drainants d'étude. Deux fractions sont utilisées 3/8 et 8/16, dont les caractéristiques sont présentées ci-dessous.

#### - Gravier recyclé 3/8

➤ Masse volumique :

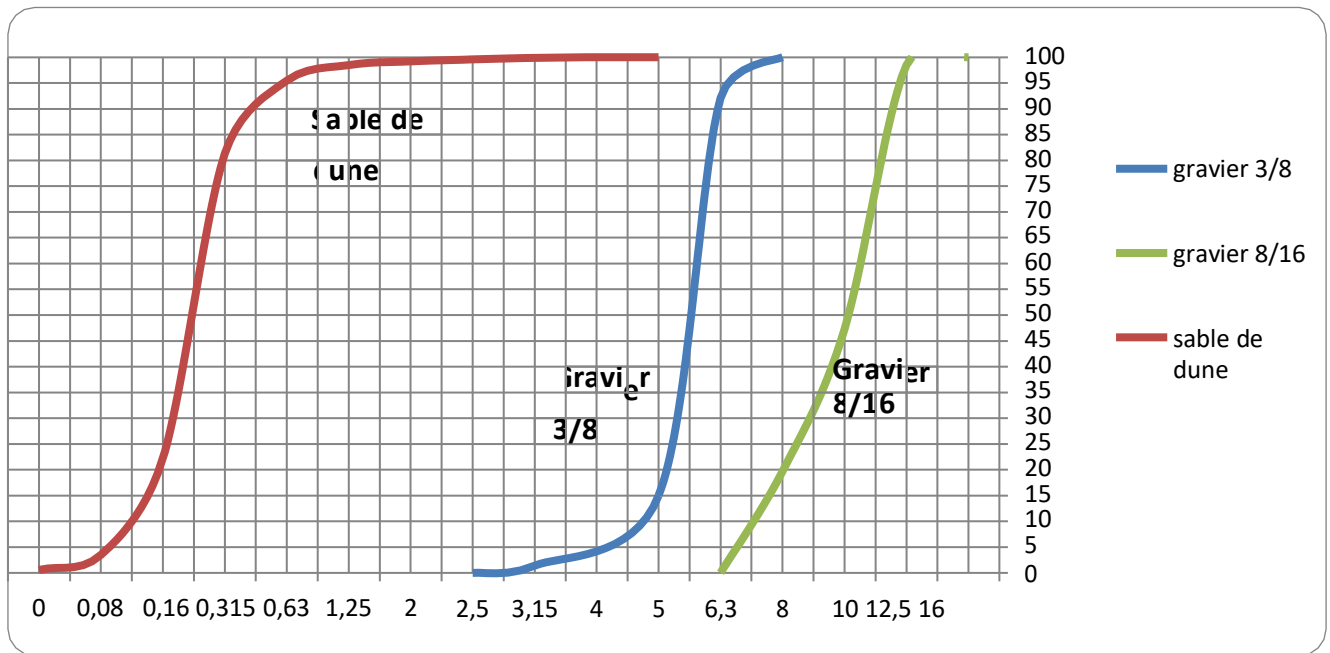
Cette fraction du gravier naturel est caractérisée par une masse volumique apparente de 0.995 t/m<sup>3</sup> et une masse volumique absolue de 2.44 t/m<sup>3</sup>

➤ L'analyse granulométrique :

La masse initiale prise pour l'analyse est de 200 D = 1600 g. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau II-7.

**Tableau II-7 : Analyse granulométrique du gravier recyclé de la fraction 3/8**

Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Ref. Cum. (%)	Tamisât (%)
<b>8</b>	63,3	4%	4%	96%
<b>6,3</b>	1294,7	81%	85%	15%
<b>5</b>	217	14%	99%	1%
<b>3,15</b>	16,5	1%	100%	0%
<b>Fond</b>	5,6	0%	100%	0%
<b>Somme</b>	1597,1	Perte	2,9 g =	0,18% < 2%



**Figure II-3 :** Courbe de l'analyse granulométrique des graviers recyclés.

➤ Capacité et cinétique d'absorption :

Les granulats recyclés sont connus par leur capacité d'absorption d'eau élevée, c'est pour cette raison qu'on a analysé cette propriété. La capacité d'absorption est déterminée après 24 heures d'immersion de l'échantillon de gravier. Pour mieux maîtriser cette propriété, une analyse de la cinétique d'absorption, qui est l'étude de la teneur en eau en fonction du temps d'immersion, est faite. Le tableau II-8 présente ces propriétés.

**Tableau II-8 :** Teneurs d'absorption d'eau des granulats recyclés

T (min)	3	4	5	12	16	30	24H
Abs (%)	4%	5%	7%	7%	7%	7%	7%
Saturation (%)	51%	74%	98%	95%	98%	96%	100%

- **Gravier recyclé 8/16**

➤ Masse volumique :

Cette fraction du gravier naturel est caractérisée par une masse volumique apparente de 1.108 t/m<sup>3</sup> et une masse volumique absolue de 2.25 t/m<sup>3</sup>

➤ L'analyse granulométrique :

La masse initiale prise pour l'analyse est de 3200 g. Les résultats de l'analyse sont présentés dans le Tableau II-9.

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

Tableau II-9 : Analyse granulométrique du gravier naturel de la fraction 3/8

Tamis	Refus (g)	Refus (%)	Ref. Cum. (%)	Tamisât (%)
<b>16</b>	48,2	2%	2%	98%
<b>12,5</b>	1624,5	51%	52%	48%
<b>10</b>	875	27%	80%	20%
<b>8</b>	535,6	17%	97%	3%
<b>6,3</b>	88,9	3%	99%	1%
<b>Fond</b>	19,7	1%	100%	0%
<b>Somme</b>	3191,9	Perte	8,1 g =	0,25% < 2%

### ➤ Caractéristiques mécaniques

La caractérisation mécanique des graviers naturels et recyclés a été observée par des essais Los Angeles et Micro Deval. Les essais ont été réalisés au laboratoire du département de génie civil de notre université.

#### • Essai Los Angeles :

Cet essai permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs des boulets et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

La valeur du coefficient Los-Angeles doit être  $\leq 40$  pour les granulats naturels type B et C suivant les normes "NF P18 573, EN 1097-2 § 5" et compris entre 25 et 50 selon les normes XP P 18 540 et ASTM C-33 pour les granulats recyclés.

#### • Essai Micro Deval :

L'essai Micro Deval peut être utilisé à sec ou en présence d'eau, méthode plus représentative. Les granulats résistent d'autant mieux à l'attrition que la valeur du coefficient Micro-Deval est faible. L'essai consiste à mesurer la quantité de matériau trituré passant au tamis 1,6 mm.

La valeur du (MDE) doit être  $\leq 35$  pour les granulats naturels "NF P18 577, NF EN 1097-1" et compris entre 15 et 50 pour les granulats recyclés selon la norme "XP P 18 540".

Les formules utilisées pour le calcul des coefficients LA et MDE :

$$\text{Los Angeles : } LA = [(5000 - m') / 5000] * 100$$

5000g : masse initiale du matériau

M' : masse passant le tamis 1,6 mm

$$\text{Micro Deval : } MDE = [(500 - m'') / 500] * 100$$

500g : masse initiale du matériau

M'' : masse passant le tamis 1,6 mm

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

Les figures II-2 et II-3 suivantes montrent les appareils Los Angeles et Micro Deval utilisés



Figure II-4 : Appareil Los Angeles



Figure II-5 : Appareil Micro Deval

Le tableau II-10 suivant récapitule les coefficients LA et MDE obtenus sur les fractions de graviers utilisées.

Tableau II-10 : Coefficients LA et MDE des granulats

Matériaux (gravier)	Classes granulaires	LA	MDE
Naturel	4-6.3	19.85	13.16
	10-14	26.13	12.18
Recyclé	4-6.3	30.20	15.96
	10-14	33.04	13.58

### c. L'eau :

L'eau utilisée pour la préparation des différents mélanges de l'étude provient du réseau public de distribution d'eau potable.

#### Formulation des bétons ordinaires de référence

Cette étude compare les bétons drainants avec 2 bétons témoins ordinaires l'un avec des granulats naturels et l'autre avec granulats recyclés.

#### Formulation d'un béton ordinaire avec des granulats naturels :

- Dosage en ciment :

$$F_c = G. f_{ce} \cdot \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right) \Rightarrow \frac{C}{E} = \frac{f_c}{G \cdot f_{ce}} + 0.5$$

$$F_c = f_{c28} * 1.15 = 30 * 1.16 = 34.5 \text{ MPA}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.5 * 44} + 0.5 = 2.07$$



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### Formulation d'un béton ordinaire avec des granulats recyclés :

- **Dosage en ciment :**

$$F_c = G. f_{ce} \cdot \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right) \Rightarrow \frac{C}{E} = \frac{f_c}{G \cdot f_{ce}} + 0.5$$

$$F_c = f_{c28} * 1.15 = 30 * 1.16 = 34.5 \text{ MPA}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{34.5}{0.5 * 44} + 0.5 = 2.07$$

- Vibration normale
- A-C = 7cm  $\Rightarrow C = 350 \text{ kg}$
- C/E = 2.0

- **Dosage en eau :**

$$E = \frac{C}{C/E} = \frac{350}{2.07} = 169.08$$

- **Dosage en granulats :**

Volume totale des granulats :

$$V_{GT} = 1000 \Psi - V_c$$

Détermination du coefficient de compacité :

- Béton plastique (A-C) = 7cm
- Vibration normale  $\rightarrow \Psi = 0.815$
- $D_{max} = 16 \rightarrow V_{GT} = 1000 (0.815) - \frac{350}{3.0} = 698.331$

- **Dosage volumique des granulats :**

$$V_s = V_{GT} \cdot \%S \quad V_g(3/8) = V_{GT} \cdot \%g(3/8) \quad V_g(8/16) = V_{GT} \cdot \%g(8/16)$$

$$V_s = 698.33 * 36.5 \% \quad V_g(3/8) = 698.33 * 12 \% \quad V_g(8/16) = 698.33 * 51.5\%$$

$$V_s = 254.89 \text{ LVg}(3/8) = 83.80 \text{ LVg}(8/16) = 359.64 \text{ L}$$

- **Dosage pondéral :**

$$S = V_s \cdot \rho_s \quad g(3/8) = V_g(3/8) \cdot \rho_g(3/8) \quad g(8/16) = V_g(8/16) \cdot \rho_g(8/16)$$

$$S = 236.04 * 2.61 \quad g(3/8) = 83.80 * 2.44 \quad g(8/16) = 405.03 * 2.25$$

$$S = 616.064 \text{ kg} \quad g(3/8) = 204.472 \text{ kg} \quad g(8/16) = 911.318 \text{ kg}$$



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

**Tableau II-12: Composition de béton ordinaire de granulats recyclés pour 1 m<sup>3</sup>**

Composition d'un BO avec des granulats naturels		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	169.08	169.08
Ciment	166.67	350.00
Sable	254.89	616.064
G(3/8)	83.80	204.472
G(8/16)	359.64	911.318

### Formulation des bétons drainant étudiés :

La formulation du béton drainant est proposée dans les rapports des comités 211 et 522 de l'ACI [ACI Commitee 211, 2002 ; ACI Commitee 522, 2010]. Cette approche de formulation est basée sur la masse volumique pilonnée à sec des granulats grossiers, déterminée selon la méthode ASTM C 29. Certains ajustements se font en fonction de l'énergie de consolidation ou bien selon la quantité de sable ou de matériau fin utilisé ou contenu dans le granulat. Après choisir un volume des vides > 20%, et un rapport E/C. Le principe de formulation des bétons drainant est le suivant :

- 1- Détermination du dosage en granulats à partir de la densité apparente
- 2- Détermination du volume de pâte à partir du volume des vides
- 3- Détermination du dosage en ciment en utilisant E/C adéquat, volume de pâte
- 4- Détermination du dosage en eau
- 5- Calcul du volume des vides prévu après finalisation de la composition

Les compositions de cette étude sont calculées par une méthode expérimentale en se basant sur le principe suivant :

- 1- La masse volumique apparente du gravier représente son dosage
- 2- Le dosage en ciment est pris 350 kg pour comparer la résistance avec un béton ordinaire dosé à 350 kg
- 3- Le dosage en eau est déterminé à partir du dosage donnant une pâte cimentaire de consistance normale

#### a. Préparation des mélanges

Les granulats utilisés dans cette étude sont utilisés à l'état saturé à surface sèche. La pesée des matériaux est réalisée sur une balance de précision de l'ordre de 1 g.

Une bétonnière à axe incliné est utilisée pour le malaxage des mélanges étudiés.

L'introduction des constituants est faite dans l'ordre suivant : Gros granulats – Ciment.

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### b. Choix du rapport E/C

Comme rapporter dans la méthode de formulation des bétons drainants détaillée par l'ACI [Committee 522, 2010] qui préconise un rapport Eau/Ciment (E/C) compris entre 0,26 et 0,40.

Des tests de formulation préalable ont été réalisés pour définir le rapport E/C et pour ce faire 3 rapports ont été étudiés. Les constatations relevées sont les suivantes :

- Avec un rapport E/C=0,3 (photo de la figure II-6), on observe un dépôt de pâte assez conséquent au fond du moule après un serrage par piquage, c'est un signe de ségrégation.
- Avec un rapport E/C=0,28 (photo de la figure II-7), on constate également un dépôt de pâte, mais moindre qu'avec le mélange réalisé à E/C=0,3 ; au fond du moule après un serrage par piquage, c'est aussi un signe de ségrégation.
- Avec un rapport E/C=0,27 (photo de la figure II-8), on ne remarque de dépôt de pâte cimentaire au fond du moule, aucun signe de ségrégation. Le béton réalisé est semblable aux bétons drainants.

Donc le rapport E/C choisi pour la formulation des bétons drainants est E/C=0,27. Cette valeur de rapport E/C (massique) a été également recommandée Euclid Chemicals [38], [39], [40]



**Figure II-6** : Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,3



**Figure II-7** : Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,28



**Figure II-8** : Formulation béton drainant réalisée avec un rapport E/C=0,27



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### c. Procédures et essais de caractérisation

Le travail de cette étude expérimentale commence par la confection des bétons témoins pour pouvoir faire une comparaison et par la suite la préparation des bétons témoins

Pour réaliser cette étude on a réalisé 11 compositions de bétons : 02 compositions de bétons ordinaires (béton de granulats naturels et béton de granulats recyclés) et 09 bétons drainants composés seulement de granulats recyclés.

Sur les compositions de béton drainant on a testé l'influence des paramètres :

- Dosage en ciment : 300, 350 et 400 kg/m<sup>3</sup>
- La composition granulaire :
  - Béton drainant réalisé avec 100% de granulats recyclés de fraction 3/8 mm,
  - Béton drainant réalisé avec 100% de granulats recyclés de fraction 8/16 mm,
  - Béton drainant réalisé avec 50% de granulats recyclés de fraction 3/8 mm et 50% de granulats recyclés de fraction 8/16 mm.

Un des inconvénients majeurs rencontrés pour la réalisation du béton drainant ou béton poreux est sa mise en œuvre et principalement son serrage ou la vibration pour assurer une énergie de consolidation. Comme le béton drainant est composé essentiellement de pâte cimentaire et d'une fraction grosse de granulats, ce qui donne un volume de vide accru. En raison d'une différence de masse spécifique entre la pâte cimentaire et les granulats, ces derniers ont tendance à rester dans la partie supérieure ce qui risque de provoquer une ségrégation. Pour s'affranchir de ce problème, on a expérimenté 2 méthodes, vibration et piquage. Pour la vibration on a testé 3 temps d'énergie de consolidation 5, 10 et 15 secondes. Le piquage a été réalisé conformément au test du cône d'Abrams.

Les photos suivantes donnent un aperçu sur la durée de vibration et le piquage employés.



**Figure II-9:** Béton consolidé avec 5 secondes de temps vibration



**Figure II-10** : Béton consolidé avec 10 secondes de temps vibration



**Figure II-11** : Béton consolidé avec 15 secondes de temps vibration



**Figure II-12** : Béton consolidé par piquage avec la tige au cône d'Abrams

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### Remarque :

De ces tests de consolidation, par vibration et piquage, il semble que le serrage par piquage ne représente pas de signe de dépôt de pâte cimentaire au fond du moule. Par contre, en utilisant la vibration en s'appuyant sur le choix du temps de vibration, on constate plus on augmente la durée de vibration le dépôt de pâte s'accroît ce qui donne un signe de ségrégation. De ce fait la consolidation de nos bétons est effectuée par piquage.

#### ○ **Formulation du Béton drainant 1 :**

- ✓ Fraction (8/16)=100%
- ✓ Fraction (3/8)=0%
- ✓ C= 350kg
- ✓ E/C= 0.27

#### **Abréviations :**

BRD : béton drainant avec des granulats recyclés

Vg : le volume du gravier

Mg : la masse du gravier

$\rho_g$  : la masse volumique absolue du gravier

$\rho$  : la masse volumique absolue du ciment

Mc : la masse du ciment

Vp : le volume de la pâte

Vc : le volume du ciment

Ve : le volume de l'eau

Vv : le volume des vides

#### ● **Dosage en graviers :**

Pour connaître la masse volumique apparente du gravier saturé à surface sèche, on a rempli une tasse de 1 L de volume, avec du gravier de fraction 8/16 mm, on a trouvé une masse de :

1200 kg de graviers dans 1 m<sup>3</sup> de béton.

$$V_g = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L.}$$

#### ● **Dosage en ciment :**

C= 350 kg/m<sup>3</sup>

$$V_c = \frac{mc}{\rho} = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ L}$$

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

- **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 94.5 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 112.90 + 94.5$$

$$V_p = 207.4 \text{ L}$$

- **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (207.4 + 533.33)$$

$$V_v = 1000 - (740.73)$$

$$V_v = 259.27 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 25.9 \%$$

**Tableau II-13 : Composition du béton drainant 1.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m <sup>3</sup>	Masse (kg) pour 1m <sup>3</sup>
Eau	94.5	94.5
Ciment	112.90	350
G (8/16)	533.33	1200

- **Formulation du Béton drainant 2 :**

- ✓ Fraction (8/16) = 100%
- ✓ Fraction (3/8) = 0%
- ✓ C = 300 kg
- ✓ E/C = 0.27

- **Dosage en graviers :**

M<sub>g</sub> = 1200 kg (Expérimentalement)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L}$$

- **Dosage en ciment :**

C = 300 kg/m<sup>3</sup>

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

$$V_c = \frac{m_c}{\rho} = \frac{300}{3.1} = 96.77 \text{ L}$$

- **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 81 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 96.77 + 81$$

$$V_p = 177.77 \text{ L}$$

- **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (177.77 + 533.33)$$

$$V_v = 1000 - (711.1)$$

$$V_v = 288.9 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 28.9 \%$$

**Tableau II-14 : Composition du béton drainant 2.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	81	81
Ciment	96.77	300
G (8/16)	533.33	1200

- **Formulation du Béton drainant 3 :**

- ✓ Fraction (8/16) = 100%
- ✓ Fraction (3/8) = 0%
- ✓ C = 400 kg
- ✓ E/C = 0.27

- **Dosage en graviers :**

$$M_g = 1200 \text{ kg (expérimentalement)}$$



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L.}$$

- **Dosage en ciment :**

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{m_c}{\rho} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ L}$$

- **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 108 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 129.03 + 108$$

$$V_p = 237.03 \text{ L}$$

- **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (237.03 + 533.33)$$

$$V_v = 1000 - (770.36)$$

$$V_v = 229.64 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 22.9 \%$$

**Tableau II-15 : Composition du béton drainant 3.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	108	108
Ciment	129.03	400
G (8/16)	533.33	1200

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### ○ Formulation du Béton drainant 4 :

- ✓ Fraction (3/8)=100%
- ✓ Fraction (8/16)=0%
- ✓ C= 350kg
- ✓ E/C= 0.27

#### • Dosage en graviers :

Pour connaître la masse volumique apparente du gravier saturé à surface sèche, on a rempli une tasse de 1 L de volume, avec du gravier de fraction 3/8, on a trouvé une masse de : 1400kg de graviers dans 1 m<sup>3</sup> de béton.

$$V_g = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L}$$

#### • Dosage en ciment :

$$C = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{mc}{\rho} = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ L}$$

#### • Dosage en eau :

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 94.5 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 112.90 + 94.5$$

$$V_p = 207.4 \text{ L}$$

#### • Le volume des vides :

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (207.4 + 573.77)$$

$$V_v = 1000 - (781.17)$$

$$V_v = 218.83 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 21.8 \%$$

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

Tableau II-16 : Composition du béton drainant 4.

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	94.5	94.5
Ciment	112.90	350
G (8/16)	573.77	1400

○ **Formulation du béton drainant 5 :**

- ✓ Fraction (3/8)=100%
- ✓ Fraction (8/16)=0%
- ✓ C= 300kg
- ✓ E/C= 0.27

• **Dosage en graviers :**

Mg = 1400 kg (Expérimentalement)

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L.}$$

• **Dosage en ciment :**

C= 300 kg/m<sup>3</sup>

$$V_c = \frac{m_c}{\rho} = \frac{300}{3.1} = 96.77 \text{ L}$$

• **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 81 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 96.77 + 81$$

$$V_p = 177.77 \text{ L}$$

• **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (177.77 + 573.77)$$

$$V_v = 1000 - (751.54)$$

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

$$V_v = 288.9 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 28.9 \%$$

Tableau II-17 : Composition du béton drainant 5.

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	81	81
Ciment	96.77	300
G (8/16)	573.77	1400

○ **Formulation du béton drainant 6 :**

- ✓ Fraction (3/8) = 100%
- ✓ Fraction (8/16) = 0%
- ✓ C = 400kg
- ✓ E/C = 0.27

● **Dosage en graviers :**

$$M_g = 1400 \text{ kg (Expérimentalement)}$$

$$V_g = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L.}$$

● **Dosage en ciment :**

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{m_c}{\rho} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ L}$$

● **Dosage en eau :**

$$\text{On a : } \frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 108 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 129.03 + 108$$

$$V_p = 237.03 \text{ L}$$

● **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (237.03 + 573.77)$$

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

$$V_v = 1000 - (810.80)$$

$$V_v = 189.20 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 18.9 \%$$

**Tableau II-18 : Composition du béton drainant 6.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	108	108
Ciment	129.03	400
G (8/16)	573.77	1400

○ **Formulation du béton drainant 7 :**

- ✓ Fraction (8/16)=50%
- ✓ Fraction (3/8)=50%
- ✓ C= 300kg
- ✓ E/C= 0.27

- On va prendre 50% de la fraction (3/8) et 50% de la fraction (8/16), alors :

50% du volume de G (3/8) :

$$V_g(3/8) = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L} \rightarrow \frac{573.77}{2} = 286, 89 \text{ L}$$

50% du volume de G (8/16) :

$$V_g(8/16) = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L} \rightarrow \frac{533.33}{2} = 266, 67 \text{ L}$$

$$V_g = 286, 89 + 266, 67 = 553, 56 \text{ L}$$

• **Dosage en ciment :**

$$C = 300 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{mc}{\rho} = \frac{300}{3.1} = 96.77 \text{ L}$$

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

- **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 81 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 96.77 + 81$$

$$V_p = 177.77 \text{ L}$$

- **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (177.77 + 553.55)$$

$$V_v = 1000 - (731.32)$$

$$V_v = 268.68 \text{ L} \rightarrow V_v(\%) = 26.8 \%$$

**Tableau II-19 : Composition du béton drainant 7.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m <sup>3</sup>	Masse (kg) pour 1m <sup>3</sup>
Eau	81	81
Ciment	96.77	300
G (8/16)	266,67	600
G (3/8)	286,89	700

- **Formulation du béton drainant 8 :**

✓ Fraction (8/16)=50%

✓ Fraction (3/8)=50%

✓ C= 350kg

✓ E/C= 0.27

- **Dosage en graviers :**

50% du volume de G (3/8) :

$$V_g(3/8) = \frac{m_g}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L} \rightarrow \frac{573.77}{2} = 286,89 \text{ L}$$

50% du volume de G (8/16) :

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

$$V_g (8/16) = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L} \rightarrow \frac{533.33}{2} = 266,67 \text{ L}$$

$$V_g = 286,89 + 266,67 = 553,56 \text{ L}$$

- **Dosage en ciment :**

$$C = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{mc}{\rho} = \frac{350}{3.1} = 112.90 \text{ L}$$

- **Dosage en eau :**

On a :

$$\frac{E}{C} = 0.27 \rightarrow E = C \times 0.27 = 94.5 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 112.90 + 94.5$$

$$V_p = 207.4 \text{ L}$$

- **Le volume des vides :**

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (207.4 + 553.55)$$

$$V_v = 1000 - (731.32)$$

$$V_v = 239.05 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 23.9 \%$$

**Tableau II-20 : Composition du béton drainant 8.**

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés			
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m	
Eau	94.5	94.5	
Ciment	112.90	350	
G (8/16)	266,67	600	
G (3/8)	286,89	700	

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### ○ Formulation du béton drainant 9 :

- ✓ Fraction (8/16) = 50%
- ✓ Fraction (3/8) = 50%
- ✓ C = 400kg
- ✓ E/C = 0.27

#### 1- Dosage en graviers :

50% du volume de G (3/8) :

$$V_{g(3/8)} = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1400}{2.44} = 573.77 \text{ L} \quad \rightarrow \quad \frac{573.77}{2} = 286,89 \text{ L}$$

50% du volume de G (8/16) :

$$V_{g(8/16)} = \frac{mg}{\rho_g} = \frac{1200}{2.25} = 533.33 \text{ L} \quad \rightarrow \quad \frac{533.33}{2} = 266,67 \text{ L}$$

$$V_g = 286,89 + 266,67 = 553,56 \text{ L}$$

#### • Dosage en ciment :

$$C = 400 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = \frac{mc}{\rho} = \frac{400}{3.1} = 129.03 \text{ L}$$

#### • Dosage en eau :

$$\text{On a : } \frac{E}{C} = 0.27 \quad \rightarrow \quad E = C \times 0.27 = 108 \text{ L}$$

$$V_p = V_c + V_e$$

$$V_p = 129.03 + 108$$

$$V_p = 237.03 \text{ L}$$

#### • Le volume des vides :

$$V_v = 1000 - (V_p + V_g)$$

$$V_v = 1000 - (237.03 + 553.55)$$

$$V_v = 1000 - (790.58)$$

$$V_v = 209.42 \text{ L}$$

$$V_v(\%) = 20.9 \%$$



## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

Tableau II-21 : Composition du béton drainant 9.

Composition d'un béton drainant avec des granulats recyclés		
MAT	Volume (l) pour 1m	Masse (kg) pour 1m
Eau	108	108
Ciment	129,03	400
G (8/16)	286,89	600
G (3/8)	266,67	700

Tableau II-22 : Tableau récapitulatif

Béton drainant	Le dosage des Matériaux pour 1m <sup>3</sup>				
	Eau en (l/ m <sup>3</sup> )	Ciment en (kg)	Gravier (3/8) en (kg)	Gravier (8/16) en (kg)	Volume des vides théorique(%)
BRD1	94.5	350	0.00	1200	25.9
BRD2	81.0	300	0.00	1200	28.9
BRD3	108	400	0.00	1200	22.9
BRD4	94.5	350	1400	0.00	21.8
BRD5	81.0	300	1400	0.00	28.9
BRD6	108	400	1400	0.00	18.9
BRD7	81.0	300	700	600	26.8
BRD8	94.5	350	700	600	23.9
BRD9	108	400	700	600	20.9

i) A l'état frais

• L'affaissement au cône d'Abrams :

Cet essai réalisé avec le cône d'Abrams permet de déterminer la consistance du béton avec des granulats inférieurs à 40mm et des affaissements compris entre 100mm et 200mm. En dehors de ces limites, la mesure de l'affaissement peut être inadaptée et il convient alors d'utiliser d'autres méthodes.

L'affaissement ne doit pas évoluer dans la minute qui suit l'essai.

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale



**Figure II-13.** Les étapes de l'essai du Cône d'Abrams au laboratoire.

- **La Masse volumique :**

Le principe de l'essai est de déterminer le rapport de la masse d'une quantité de béton ramené à son volume, dans le but de déterminer sa masse volumique. Elle est déterminée sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm.



**Figure II-14.** Le moule vide



**Figure II-15.** Les moules remplis

- **L'air occlus :**

Le principe de l'essai est de déterminer le pourcentage d'air dans un béton frais à l'aide de 2 types d'aéromètres à béton :

- Méthode dite « de la colonne d'eau » (5 litres).
- Méthode du « manomètre » (8 litres).



**Figure II-16.** Les étapes de l'essai de l'air occlus réalisé au laboratoire.

**ii) A -L'état durci :**

- **Détermination de volume des vides :**

Le volume des vides est déterminé sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm bien enrobé pour assurer leur étanchéité. En remplissant l'éprouvette d'eau, le volume des vides est déterminé directement par le volume d'eau à l'intérieur.



**Figure II-17.** Essai de volume de vide

- **Résistance à la compression :**

La résistance à la compression est déterminée suivant la norme **ASTM C 39** [ASTM C39, 2003]. Les cubes de dimensions 100x100 mm sont utilisés pour évaluer la résistance à la compression. Pour toutes les formulations de bétons étudiées, les résistances à la compression à 7, 14 et 28 jours sont évaluées. L'appareil illustré sur la figure ci-dessous est utilisé pour la réalisation des essais de compression.



**Figure II-18.** L'appareil de compression



**Figure II-19.** Ecrasement d'un béton drainant

- **La Perméabilité**

Cet essai est réalisé à l'aide d'un dispositif par le principe de la perméamétrie à charge constante qui est similaire au dispositif utilisé en mécanique des sols. Le spécimen de béton est recouvert de vaseline sur les parois latérales et scellé avec du caoutchouc pour éviter que l'eau puisse couler sur les parois et ainsi s'assurer que 100% de l'eau passe à travers la section de l'échantillon. Les éprouvettes utilisées pour cet essai sont des éprouvettes cylindriques ( $\text{Ø}11 \times 22$ ) cm





**Figure II-20:** Essai de perméabilité

La valeur du coefficient de la perméabilité est déterminée par la formule suivante :

$Q = K \times A \times i$  .... La loi de DARCY

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

$$K = \frac{V \times L}{t \times A \times \Delta h}$$

Où :

Q : Le débit (L/sec)

K : Le coefficient de la perméabilité en (l/m<sup>2</sup>.s)

A : La section de l'éprouvette en (m<sup>2</sup>)

i : Le gradient hydraulique

$\Delta h$  : La charge hydraulique

L : La longueur de l'éprouvette cylindrique (m)

V : Le volume d'eau mesuré en (L)

t : Le temps en (sec)

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

### • Résistance à la traction par fendage :

En absence d'essai de traction directe, qui est le plus représentatif, on peut recourir à d'autres essais qui peuvent donner des indications sur la résistance à la traction (essais de traction par fendage ou essai de traction par flexion). La résistance à la traction par fendage est réalisée sur des éprouvettes cylindriques Ø11x22 cm. La valeur de la résistance est déterminée par la formule suivante :

$$R_{tf} = \frac{2F}{\pi DL}$$

Où F : Effort de rupture en kN  
D : diamètre de l'éprouvette (Ø11cm)  
L : hauteur de l'éprouvette (22 cm)



**Figure II-21.** Appareil de la traction par fendage

### CONCLUSION :

La caractérisation des matériaux utilisés nous aident à les qualifier pour la confection des bétons.

Les résultats trouvés nous ont permis de conclure que :

- Les essais d'équivalent de sable ont montré que le sable naturel est propre.
- Les granulats naturels et recyclés présentent une distribution granulométrique continue.
- La présence aléatoire du vieux mortier collé aux granulats recyclés complique leur caractérisation exacte.

## Chapitre II : Matériaux utilisés et méthodologie expérimentale

- En général les granulats recyclés ont une densité plus faible par rapport aux granulats naturels.
- Un fort taux d'absorption est vérifié pour les granulats recyclés tandis que ce pour les granulats naturels ce taux est quasiment nul.
- Les tests préalables pour optimiser le rapport E/C (massique) donnent le rapport plus adéquat et sans ségrégation est un E/C=0,27.
- Des tests préalables ont été réalisés pour choisir de l'énergie de consolidation (ou bien serrage). De ces tests le moyen de serrage par piquage est le mieux adapté pour le béton drainant de notre étude. Ce moyen ne provoque aucun signe de ségrégation.

La partie expérimentale consiste à valoriser les granulats recyclés dans le béton drainant. Les comportements des bétons frais ainsi que les performances des bétons durcis sont évalués, présentés et discutés dans le chapitre 3.

# CHAPITRE III

## ANALYSES ET RESULTATS



## CHAPITRE III : ANALYSES ET RESULTATS

### • Introduction :

Dans cette partie sont représentés les différents résultats obtenus, à l'état frais et durci, pour les bétons d'étude. La finalité de ces résultats est de tirer des enseignements concernant les propriétés recherchées (à l'état frais et durci) en fonction des différentes combinaisons de compositions utilisées (dosage en ciment et fractions granulaires).

Pour rappel les tests sont effectués sur les corps d'épreuve :

- Eprouvettes cubiques de dimensions (10×10×10) cm pour le test de compression,
- Eprouvettes cylindriques sont de dimensions de (11 x 22) cm pour le test de traction par fendage,
- Eprouvettes cylindriques sont de dimensions de (11 x 22) cm pour le test de perméabilité à l'eau.

La désignation des mélanges de béton est comme suit :

**Tableau III-1 : La désignation des mélanges de béton.**

Bétons	Ciment (kg/m <sup>3</sup> )	Fraction 3/8 mm	Fraction 8/16 mm	Sable
<b>BN</b>	350	8,2%	58%	33,8%
<b>BR</b>	350	12%	51,5%	36,5%
<b>BRD1</b>	350	-	100%	-
<b>BRD2</b>	300	-	100%	-
<b>BRD3</b>	400	-	100%	-
<b>BRD4</b>	350	100%	-	-
<b>BRD5</b>	300	100%	-	-
<b>BRD6</b>	400	100%	-	-
<b>BRD7</b>	300	50%	50%	-
<b>BRD8</b>	350	50%	50%	-
<b>BRD9</b>	400	50%	50%	-

- BN : Béton de granulats Naturels non drainant
- BR : Béton de granulats Recyclés non drainant
- BRD : Béton Recyclé Drainant

### Comportement à l'état frais

#### Affaissement au cône d'Abrams

La figure III-1 illustre les résultats obtenus avec l'essai au cône d'Abrams pour les 11 compositions de bétons étudiées. Pour les bétons BN et BR, conçus par la méthode de composition de Dreux Gorisse, les affaissements obtenus sont 8 et 5 cm, respectivement. Ces deux valeurs correspondent à un béton plastique puisqu'il a été projeté de fabriquer des bétons assurant un affaissement de 7±2 cm.

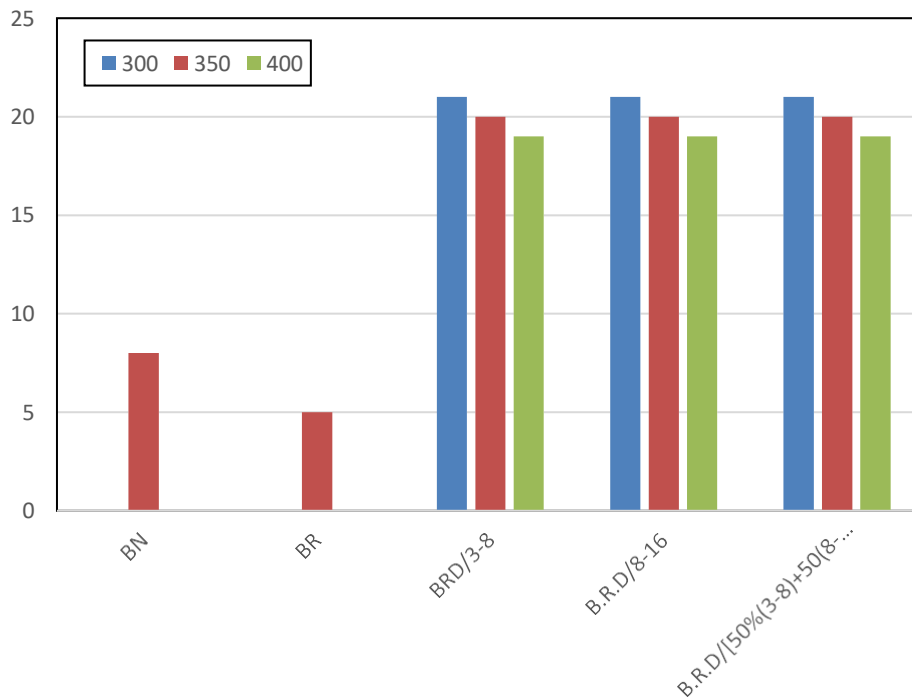
Le béton frais BR formulé avec des granulats recyclés a été à la limite de la valeur autorisée (5cm) pour assurer un béton plastique et ceci à cause de l'absorption d'eau par les granulats

## CHAPITRE III : ANALYSES ET RESULTATS

recyclés, malgré une saturation des granulats au préalable, et également à la rugosité de ces granulats.

Pour les bétons drainants les valeurs des affaissements sont trop élevées avec un rapport E/C de 0,27 et ces valeurs d'affaissement ne sont pas synonymes de présence de béton trop fluide. Comme le montre la figure III-2 le béton s'est affaissé comme un sol peu humide et ceci par manque de sable ou bien d'un volume de pâte trop conséquent. Le volume de pâte existant n'a servi que pour enrober les granulats et n'était pas assez suffisant pour assurer une cohésion entre les particules granulaires. Pour mieux apprécier la maniabilité des bétons drainants l'outil de mesure qui est le cône d'Abrams ne semble pas adéquat pour de telle propriété dans le cas de fabrication de béton poreux et le recours à un autre type d'outil serait peut-être plus indicatif à l'exemple de la table à choc qui est utilisée pour l'appréciation de la maniabilité du mortier.

L'influence du dosage du ciment semble évidente puisque l'augmentation du volume de pâte cimentaire a permis de diminuer l'affaissement mais pas de manière nette. Par contre la variation de la fraction granulaire n'a pas donné l'effet escompté



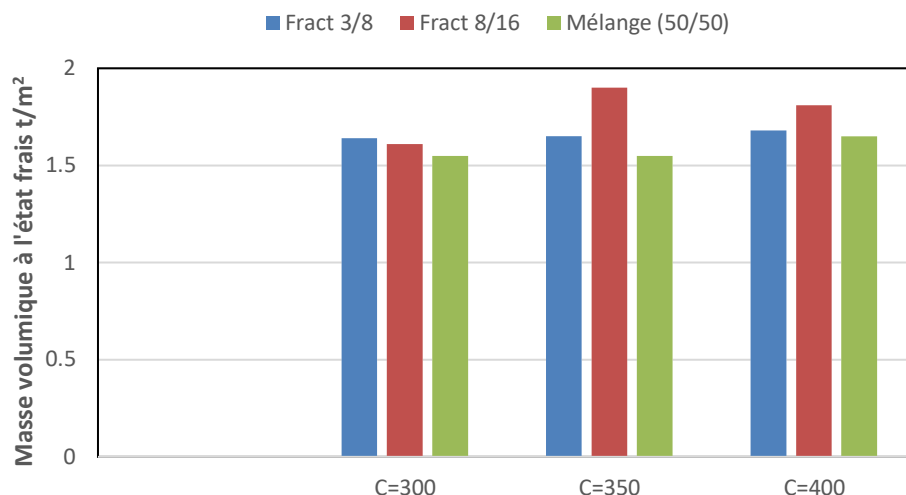
**Figure III-1** : Affaissement au cône d'Abrams des bétons BN, BR et bétons drainants



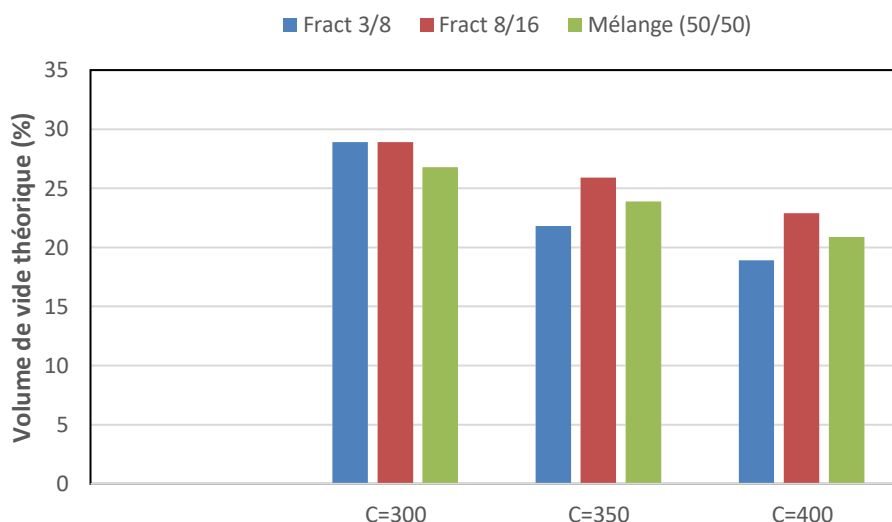
**Figure III-2 : Affaissement du béton BRD**

### **Masse volumique à l'état frais des bétons drainants**

La figure III-3 montre la variation de la masse volumique à l'état frais des bétons drainants. Cette variation est influencée par le dosage en ciment et la variation de la fraction granulaire. Les volumes théoriques des vides inter-granulaires sont de 43, 47 et 45% pour les fractions granulaires 3/8 mm, 8/16 mm et le mélange (50/50), respectivement. En tenant compte de ces volumes des vides, le mélange de béton drainant réalisé avec la fraction granulaire 3/8 mm devrait garantir une masse volumique supérieure aux autres mélanges. Cette hypothèse n'est pas vérifiée à cause de l'irrégularité des granulats recyclés. La fraction 3/8 mm, généralement composée d'ancien mortier, a une masse volumique apparente de  $0,995 \text{ t/m}^3$  et la fraction 8/16 mm a une masse volumique apparente de  $1,108 \text{ t/m}^3$ . Il en ressort de cette variation que le volume de pâte cimentaire est le plus prépondérant que la variation de la fraction granulaire. Cette conclusion est vérifiée par la figure III-4, relative à la variation du volume théorique des vides des mélanges bétons drainants. La tendance de cette figure est semblable à celle relevée sur la figure III-3, les mélanges formulés avec un dosage de  $400 \text{ kg/m}^3$  de ciment sont les plus pesants.



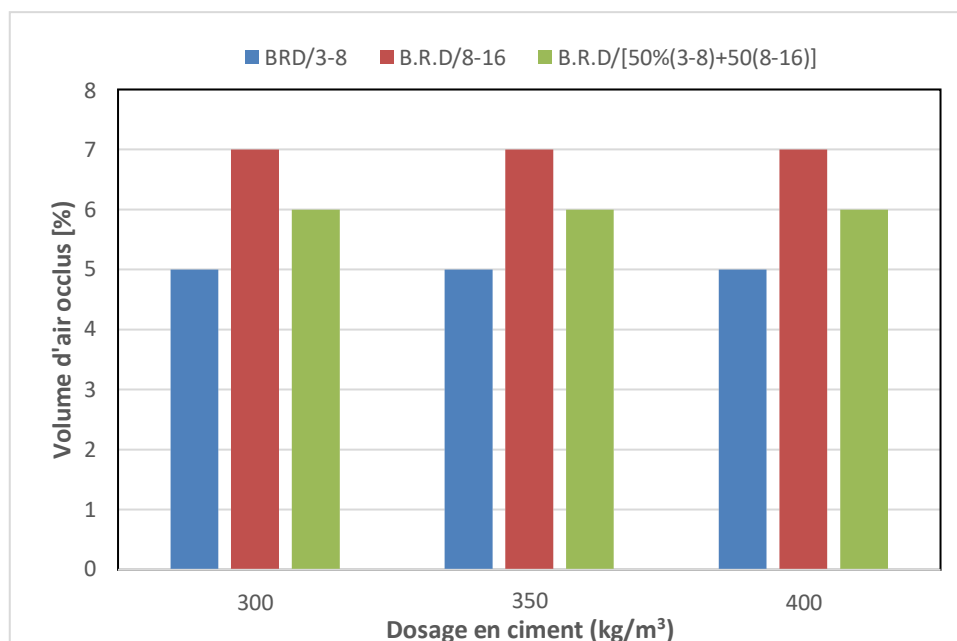
**Figure III-3** : Variation de la masse volumique à l'état frais des bétons drainants



**Figure III-4** : Variation du volume du vide théorique des bétons drainants

### III.1.3 Volume d'air occlus des bétons drainants

La figure III-5 illustre les résultats obtenus pour la détermination du volume d'air occlus. Généralement cette propriété est déterminée pour connaître le volume d'air piégé contenu dans un béton frais, c'est-à-dire le volume d'air contenu dans la masse mortier du béton. Pour le cas du béton drainant, la porosité inter-granulaire est interconnectée et en absence de mortier l'essai n'est pas significatif. Les résultats obtenus sont identiques pour les dosages en ciment mais tout de même ils reflètent les résultats de la figure III-4, relative à la variation du volume du vide théorique des bétons drainants.



**Figure III-5** : Variation du volume d'air occlus des bétons drainants

### Comportement à l'état durci

#### Résistance à la compression

#### Comparaison du béton drainant par rapport aux bétons naturel et recyclé

Le tableau III-2 englobe toutes les valeurs de résistance en compression des bétons BN, BR et BDR. Ces bétons ont été formulés avec un même dosage de ciment ( $350 \text{ kg/m}^3$ ). Les résistances ont été déterminées à 7, 14 et 28 jours de durcissement en milieu humide. Chaque valeur représente la moyenne de 3 éprouvettes ainsi que l'écart type.

La figure III-6 montre une comparaison entre les bétons drainants et les bétons naturel et recyclé non drainants. Au premier constat on remarque que le béton BN est meilleur que le BR, les granulats naturels assurent de meilleure résistance en compression que les granulats recyclés. Les coefficients Los Angeles et Micro Deval, testés sur les granulats, confirment la primauté des granulats naturels par rapport aux granulats recyclés.

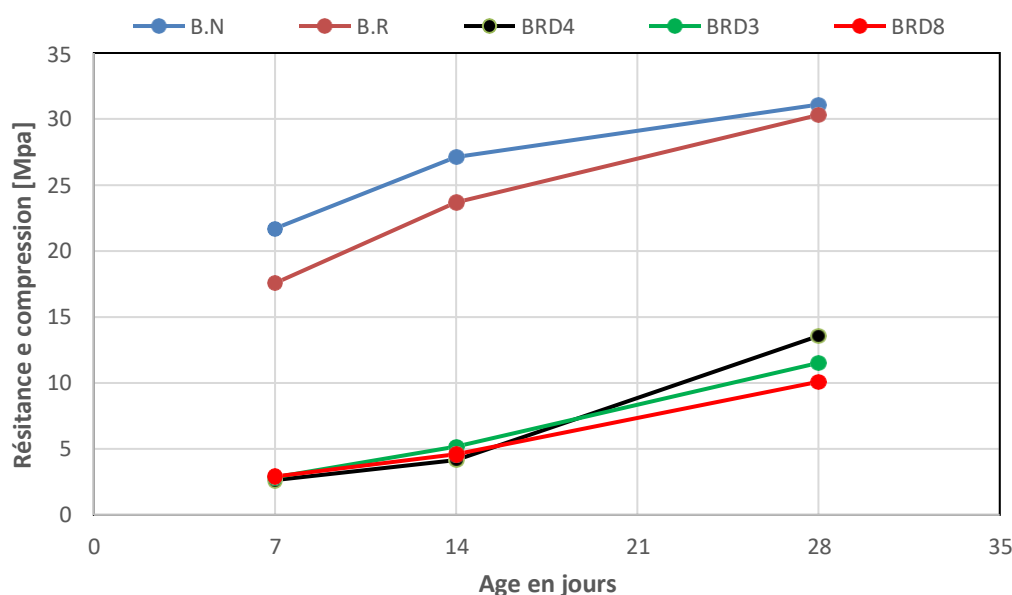
Les bétons recyclés drainant étant sans sable présentent des performances (résistance en compression) faibles qui ne dépassent pas 13,55 MPa, 11,5 MPa et 10,08 MPa, respectivement pour les bétons BRD4, BRD3 et BRD8. A comparer avec les bétons (BN et BR) contenant du sable, les bétons drainant cités précédemment enregistrent des résistances en compression de moins de 56%, 63% et 68% par rapport au béton BN. Tandis que, par rapport au béton recyclé BR, les bétons drainants enregistrent des déficiences en résistance de 55%, 62% et 67%, respectivement.

**Tableau III-2 : Résistances en compression des bétons BN, BR et BDR**

Bétons	Résistance à la compression (MPa)		
	A 7 jours	A 14 jours	A 28 jours
<b>BN</b>	<b>21,7</b>	<b>27,13</b>	<b>31,09</b>
	0,63	0,47	1,01
<b>BR</b>	<b>17,56</b>	<b>23,68</b>	<b>30,3</b>
	0,25	0,13	0,68
<b>BRD4</b>	2,63	4,15	13,55
	0,29	0,29	0,32
<b>BRD3</b>	<b>2,84</b>	<b>5,16</b>	<b>11,5</b>
	0,98	0,67	0,28
<b>BRD8</b>	<b>2,9</b>	<b>4,59</b>	<b>10,08</b>
	0,12	0,42	0,68

Une des causes fondamentales de ces insuffisances de résistance est bien sûr la présence d'une porosité inter-granulaire ou alvéoles, comme le montre la photo sur la figure III-7. Sous les effets de contraintes de compression les granulats enrobés de ciment se détachent facilement, ainsi les granulats se trouvent dans un état non confiné et leur glissement se fait sans gêne.

Tout de même les valeurs de résistance en compression des bétons drainants corrént avec celles observées dans la littérature [22]. Celle-ci donne une fourchette comprise entre 7 et 25 MPa pour des bétons perméables avec des porosités qui varient entre 15 et 30%. Dans d'autres travaux [19] pour remédier aux insuffisances de la résistance mécanique leurs auteurs ont eu recours à un ajout de fractions fines (sable) en faible proportion tout en conservant une porosité acceptable.



**Figure III-6 : Comparaison des bétons drainants par rapport au béton naturel et recyclé**



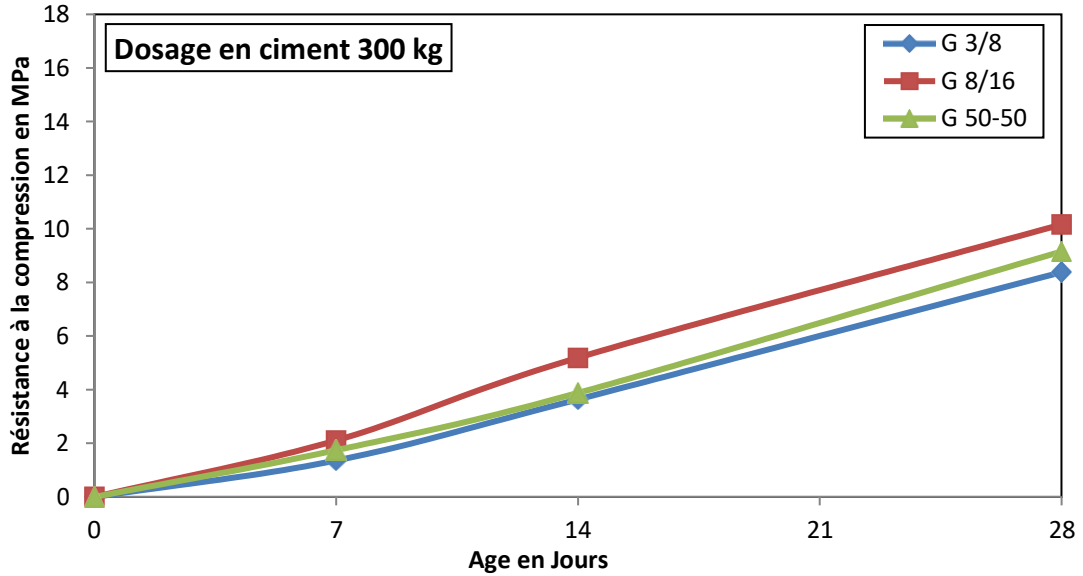
**Figure III-7 : Béton poreux**

### **Comportement des bétons drainants**

Dans cette partie nous traitons seulement les bétons recyclés drainant (BRD3 à BRD9). Également, nous avons étudié sur ces bétons l'influence du dosage en ciment (300, 350 et 400) et l'influence de la fraction granulaire 3/8, 8/16 et les deux fractions ensemble à raison de 50% pour chacune. La variation du dosage en ciment est prise en compte dans l'intention de voir l'évolution de la résistance mécanique et la variation granulaire dans le but de l'évolution de la porosité des bétons.

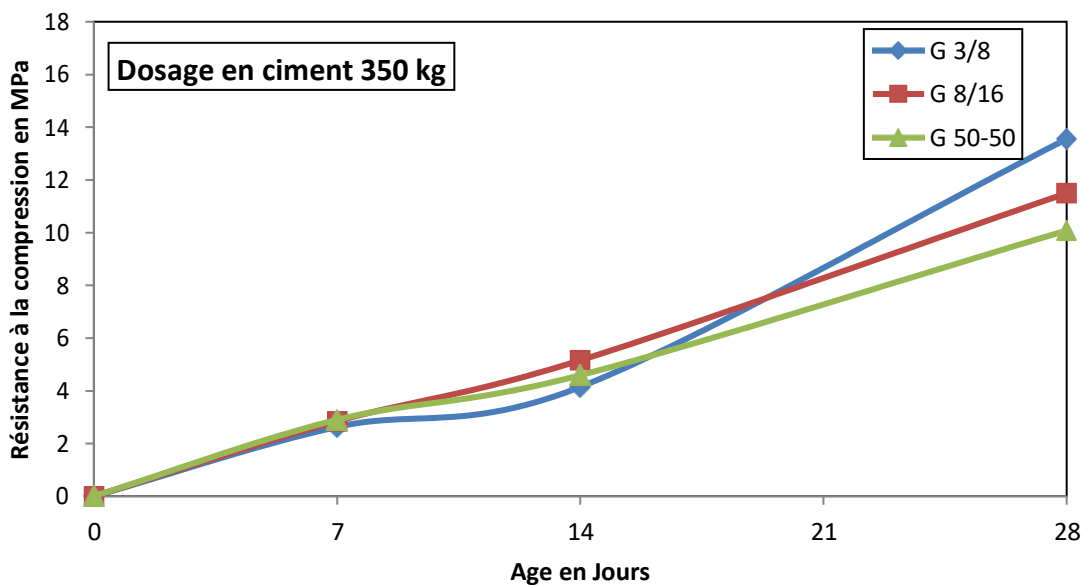
#### **III.2.1.2a Influence du dosage en ciment**

Les figures III-8, III-9 et III-10 illustrent l'évolution de la résistance à la compression en fonction des dosages en ciment à 300, 350 et 400kg/m<sup>3</sup>, respectivement. La variation de la fraction granulaire est prise, également, en compte. Il en résulte de ces figures que l'évolution de la résistance de 7 à 14 jours de durcissement suit une tendance semblable pour l'ensemble des bétons étudiés. Cependant, à partir de 14 jours l'accroissement de la résistance à la compression s'accroît et prend une allure plus prononcée où la cinétique de durcissement est plus manifeste pour le dosage en ciment à 350 et il est plus intéressant pour le dosage en ciment à 400.



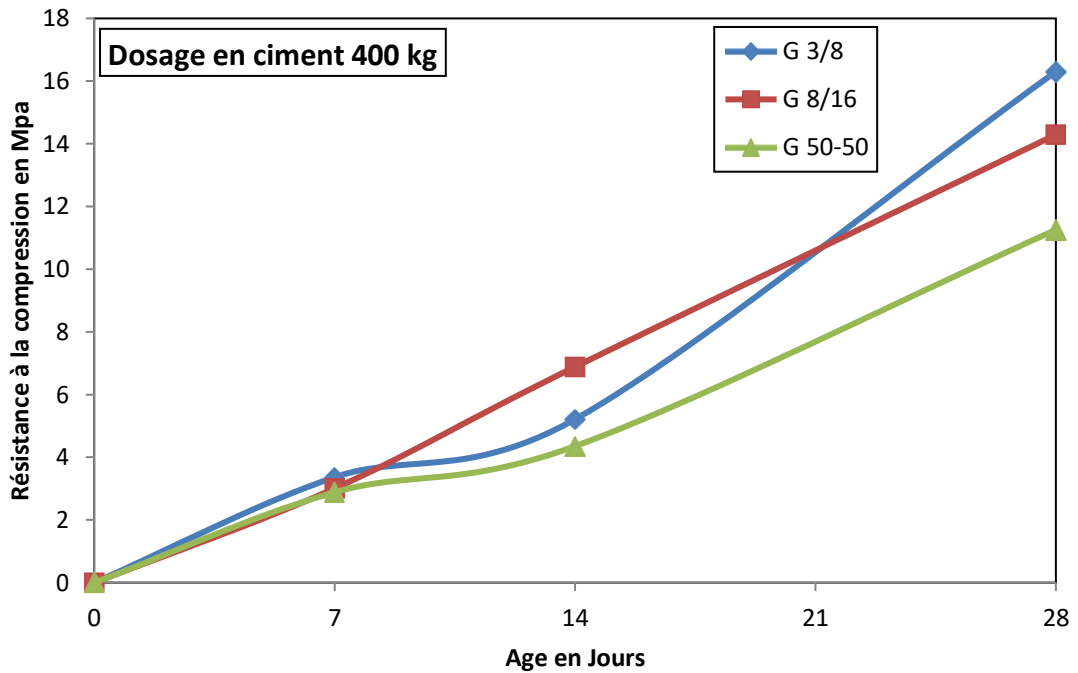
**Figure III-8** : Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 300 kg

Ces résultats mettent en évidence l'effet bénéfique du dosage de ciment, ce qui permet d'obtenir des valeurs de résistances intéressantes pour le béton perméable. La variation de la résistance à la compression varie en moyenne dans une fourchette de 8,4 jusqu'à 16,3 MPa. A 28 jours, l'influence de la quantité de ciment (à 350 et 400) s'est distinguée surtout pour les mélanges fabriqués avec la fraction granulométrique 3/8 mm. Sans doute, la distance intergranulaire pour cette fraction étant plus petite que pour les autres fractions de temps plus que le volume de pâte a augmenté ce qui permet à la pâte cimentaire de remplir certaines cavités se trouvant entre les particules granulaires.



**Figure III-9** : Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 350 kg

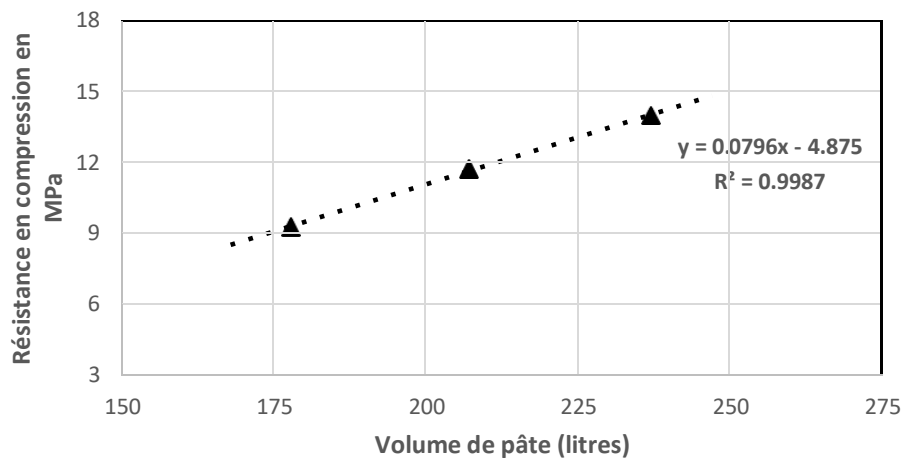




**Figure III-10** : Evolution de la résistance en compression pour le dosage en ciment de 400 kg

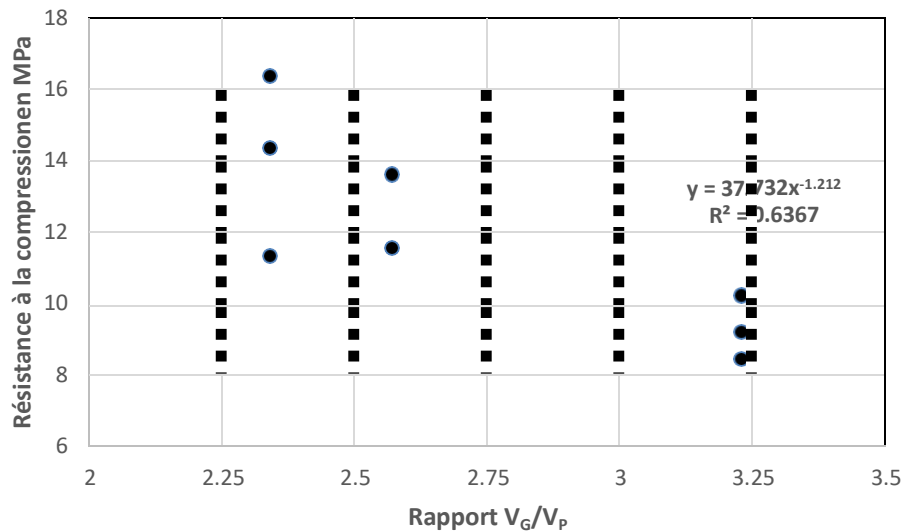
La quantité et la qualité de pâte sont sans doute les facteurs les plus importants qui influencent les propriétés du béton drainant. Dans cette étude, la qualité de pâte est constante ( $E/C=0,27$ ) et l'effet de la quantité de pâte évolue.

La figure III-11 présente la variation de la résistance à la compression à 28 jours en fonction du volume de pâte. Pour toutes les fractions utilisées la résistance à la compression croît linéairement avec le volume de pâte (coefficient de corrélation  $R^2=0,99$ ). Comme il est connu plus le volume de pâte est conséquent plus la résistance à la compression s'améliore et ceci est valable pour les 3 combinaisons granulaires utilisées.



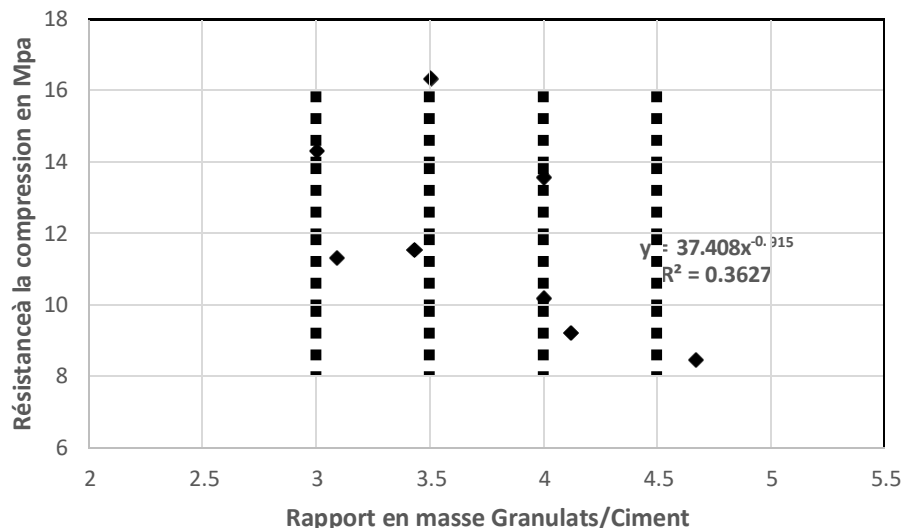
**Figure III-11** : Evolution de la résistance à la compression en fonction du volume de pâte

La figure III-12 présente une tendance entre la résistance à la compression et le rapport volumique entre granulats et pâte cimentaire. Il est nettement clair que la tendance va vers la diminution lorsque le rapport  $V_G/V_P$  augmente. Un volume de pâte accru améliore considérablement la résistance à la compression dans le cas du béton ordinaire ou classique. Pour le cas du béton drainant et en absence de sable il est indispensable d'avoir un volume de pâte important pour assurer la cohésion inter-granulaire, le ciment dans ce cas enrobe ces particules. Les différents auteurs [25] [26] ayant abordés ce sujet recommandent d'utiliser un dosage en pâte assez élevé parfois jusqu'à 500 kg de ciment pour pallier à la faiblesse de résistance du béton poreux. Les résultats montrent que des rapports  $V_G/V_P$  inférieurs à 3,25 peuvent garantir des résistances mécaniques supérieures à 8 MPa.



**Figure III-12 :** Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport  $V_G/V_P$

La figure III-12 illustre une tendance entre la résistance à la compression et le rapport massique entre granulats et ciment (G/C).

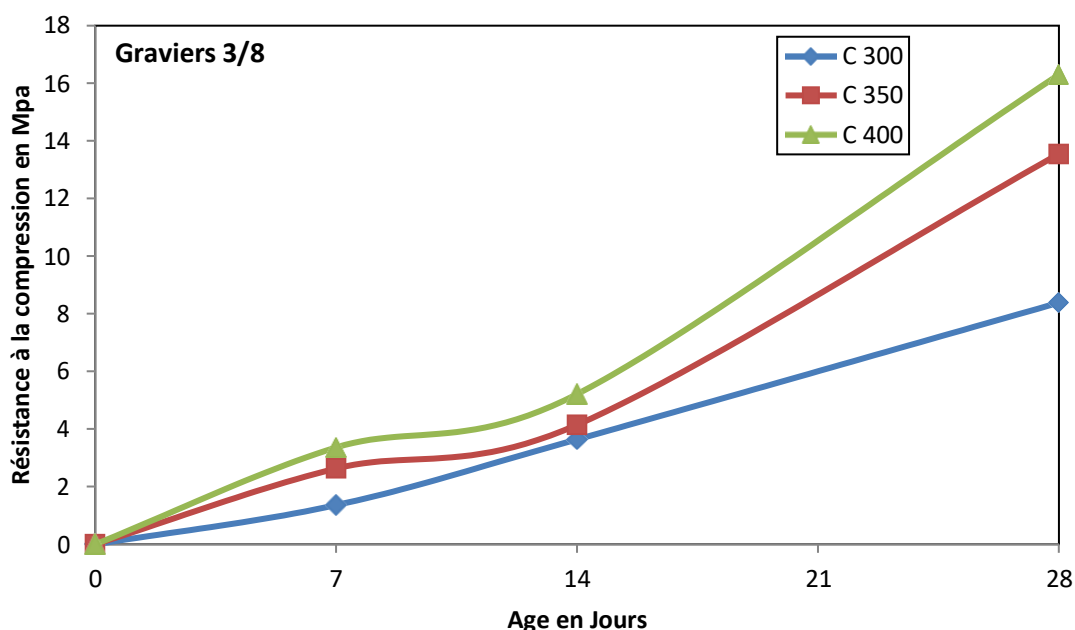


**Figure III-13:** Evolution de la résistance à la compression en fonction du rapport massique G/C

La tendance tend vers une diminution de la résistance mécanique lorsque le rapport G/C augmente. La corrélation trop faible ( $R^2=0,3627$ ) entre ces deux variables, résistance à la compression et le rapport G/C. Cette faible corrélation montre qu'il n'existe pas relation fiable entre la résistance mécanique et le rapport G/C et ceci est lié aux caractéristiques intrinsèques des deux matériaux, le ciment et le granulat, qui ont des densités très différentes. Un rapport G/C supérieur à 4,7 ne garantit pas une résistance mécanique supérieure à 8 MPa.

### III.2.1.2b Influence de la fraction granulaire

Les figures III-14, III-15 et III-16 illustrent l'évolution de la résistance à la compression en fonction des fractions granulaires 3/8 mm, 8/16 mm et le mélange 50/50, respectivement. La variation du dosage en ciment est prise en compte.



**Figure III-14 :** Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire 3/8 mm

Les résultats présentés sur ces figures montrent clairement l'influence du dosage en ciment. A 28 jours de durcissement l'écart de résistance entre les différents dosages en ciment est assez net. Pour la fraction granulaire 3/8 mm cet écart est bien distinct et devient moins pour la fraction 8/16 mm et presque insignifiant pour le mélange de fractions 50/50.

La figure III-17 montre la variation de résultats de la résistance à la compression à 28 jours de durcissement en fonction de la variation des fractions granulaires et aussi la variation du dosage en ciment. Ces résultats montrent que le mélange de la fraction granulaire 3/8 mm se dégage des autres mélanges surtout avec les dosages en ciment à 350 et 400. Ce constat est également mis en relief par la figure III-18 qui montre la variation du volume théorique du vide de la composition granulaire en fonction du dosage en ciment. On constate sur cette figure que la fraction granulaire 3/8 présente le moins de vide et que l'augmentation du dosage en ciment a tendance à réduire ce volume de vide. On relève également que tous les mélanges présentent en général un volume aux environs de 20%. Ce volume est fortement recommandé par l'ACI pour la réalisation d'un béton à forte conductivité hydraulique. Dans

## CHAPITRE III : ANALYSES ET RESULTATS

notre étude la projection est de réaliser un béton drainant garantissant un volume des vides > 20%.

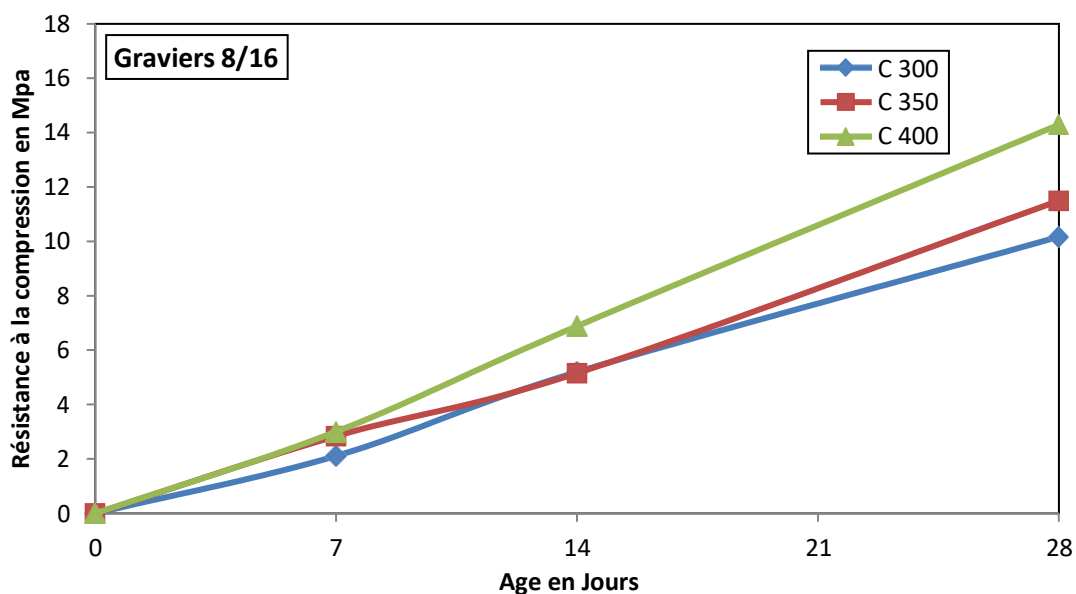


Figure III-15 : Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire 8/16 mm

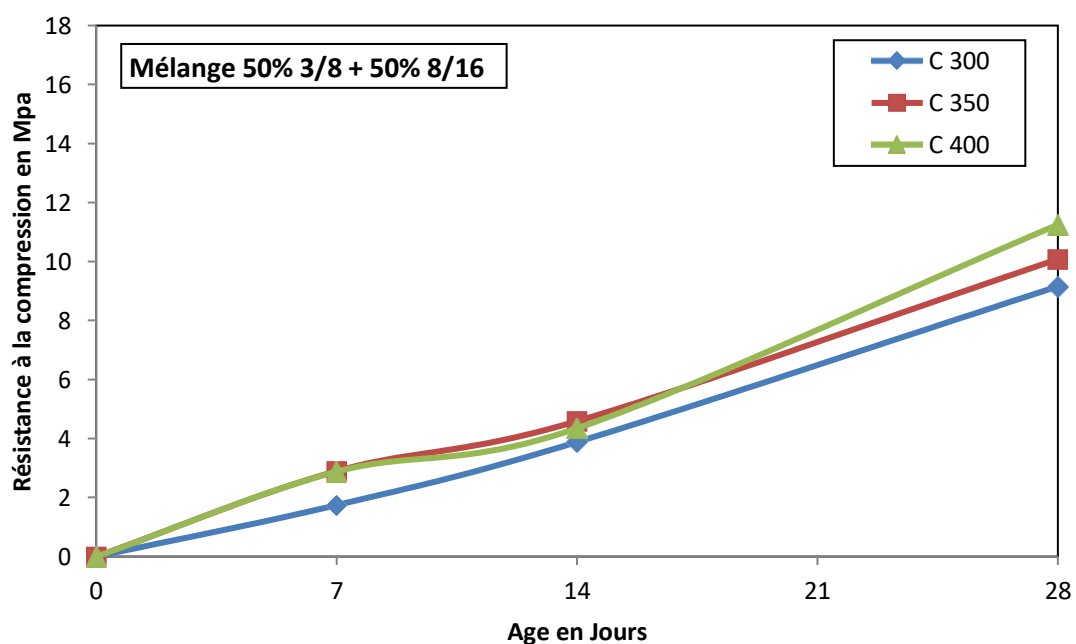
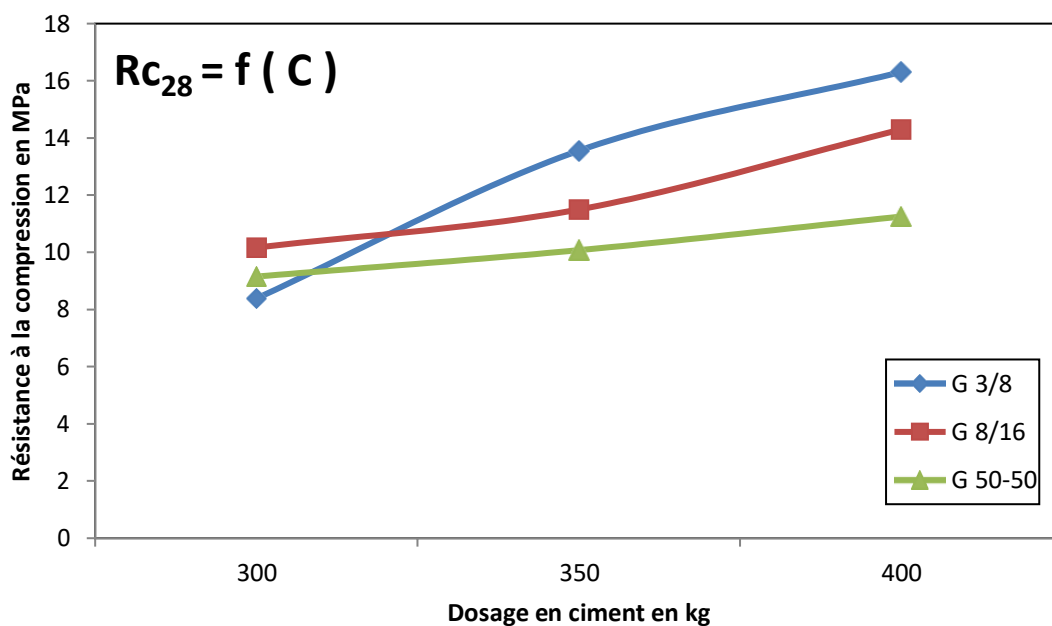
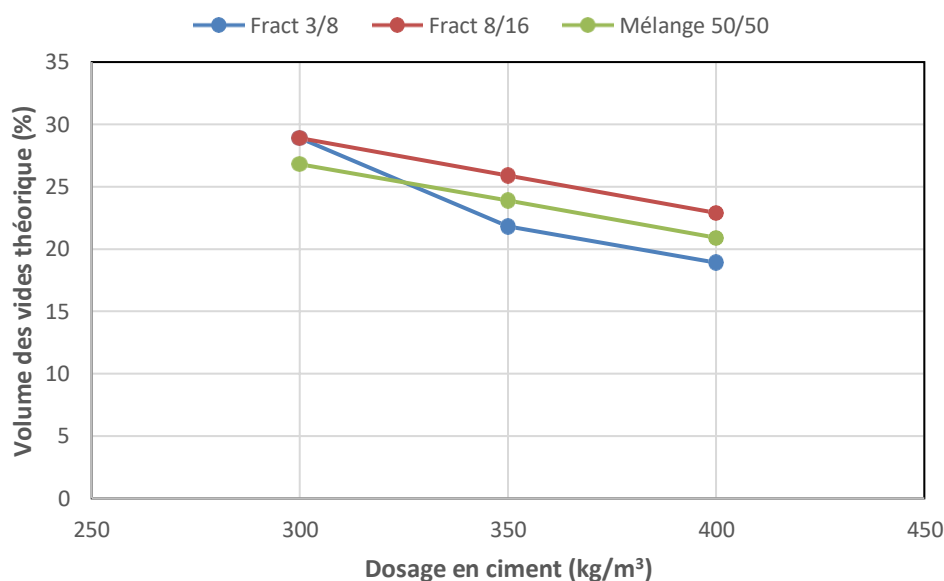


Figure III-16 : Variation de la résistance à la compression pour la fraction granulaire mélange 50/50



**Figure III-17 :** Variation de la résistance à la compression obtenue à 28 jours en fonction de la composition granulaire

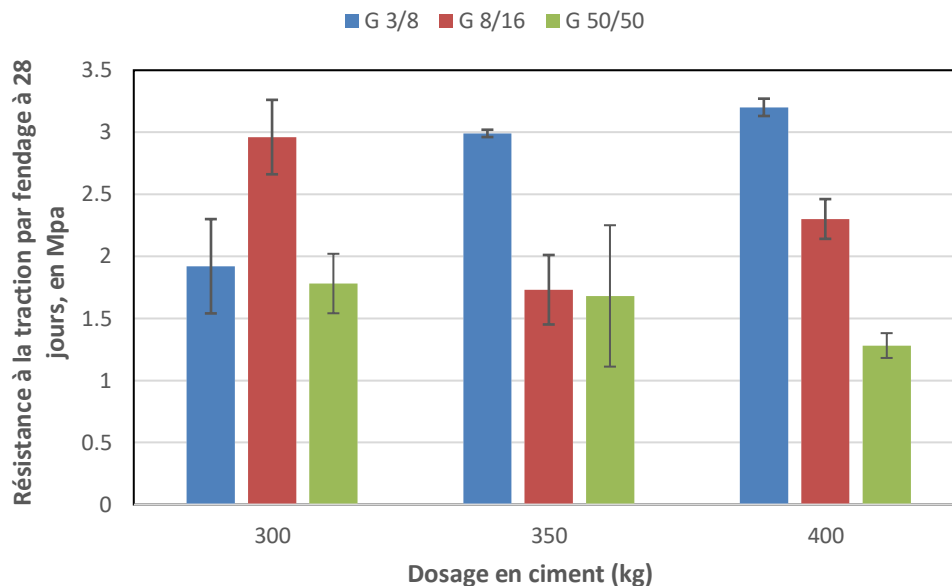


**Figure III-18 :** Variation du volume théorique des vides de la composition granulaire en fonction du dosage en ciment

### III.2.1.2 Résistance à la traction par fendage

La figure III-19 présente les résultats de la résistance à la traction par fendage après 28 jours de durcissement, ces résultats tiennent compte de la variation du dosage en ciment et de la variation de la composition granulaire. La dispersion des résultats est également représentée sous forme de barres d'erreur.

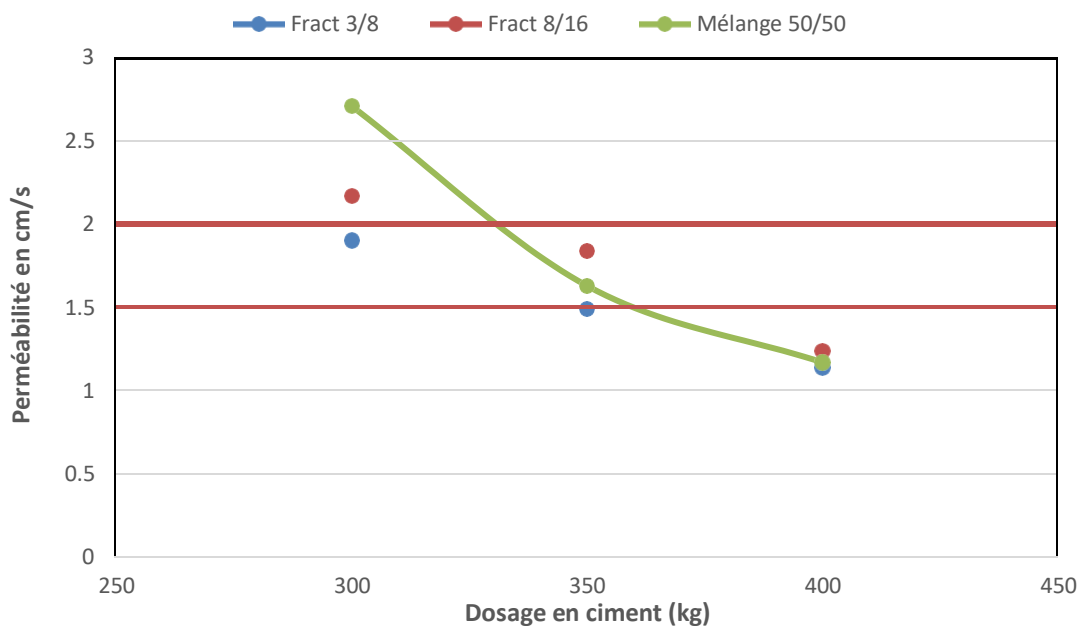
Ces valeurs de résistances présentent une tendance semblable à celle observée avec les résultats de la résistance à la compression (voir figure III-17). Ceci témoigne de l'homogénéité des bétons drainants réalisés. Les résultats de la résistance à la traction par fendage sont relativement faibles mais restent dans les fourchettes de résistance à la traction relevés dans certains travaux [38]



**Figure III-19 :** Variation de la résistance à la traction par fendage à 28 jours en fonction du dosage en ciment et la composition granulaire

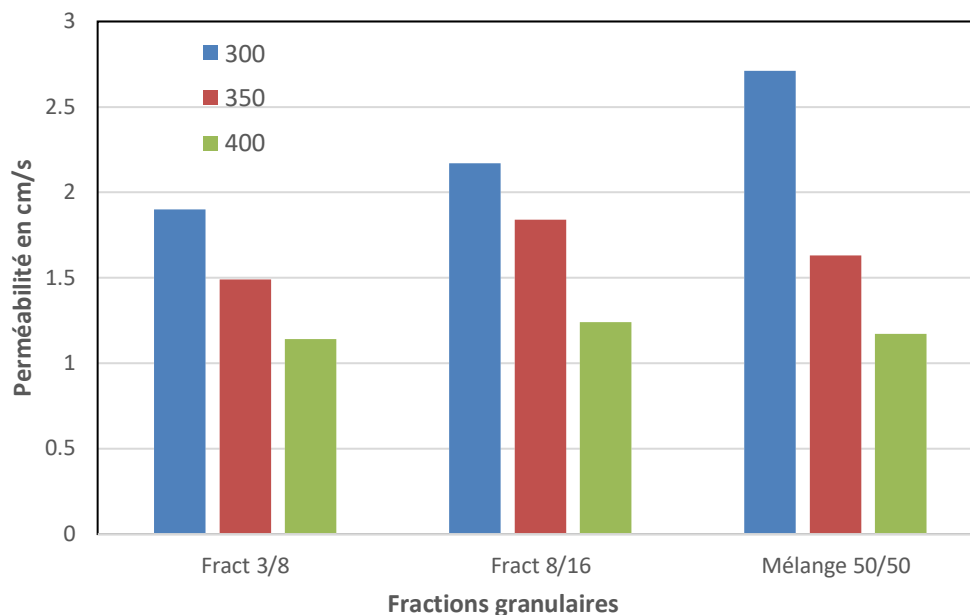
### III.2.1.3 Perméabilité

Les résultats des essais de perméabilité pour les bétons drainants d'étude ont été obtenus en utilisant la formule de Darcy. Ces résultats, en fonction des dosages en ciment utilisés, varient de 1,17 jusqu'à 2,71 cm/s (ou de 11,7 à 27,1 litres/m<sup>2</sup>/sec). Ils concordent bien avec ceux relevés dans les différents travaux relatifs au sujet [39, 40, 41]. On constate que le coefficient de conductibilité hydraulique diminue lorsque le dosage en ciment augmente qui est plus prépondérant que lorsque la fraction granulaire change.



**Figure III-20** : Variation de la perméabilité en fonction du dosage en ciment

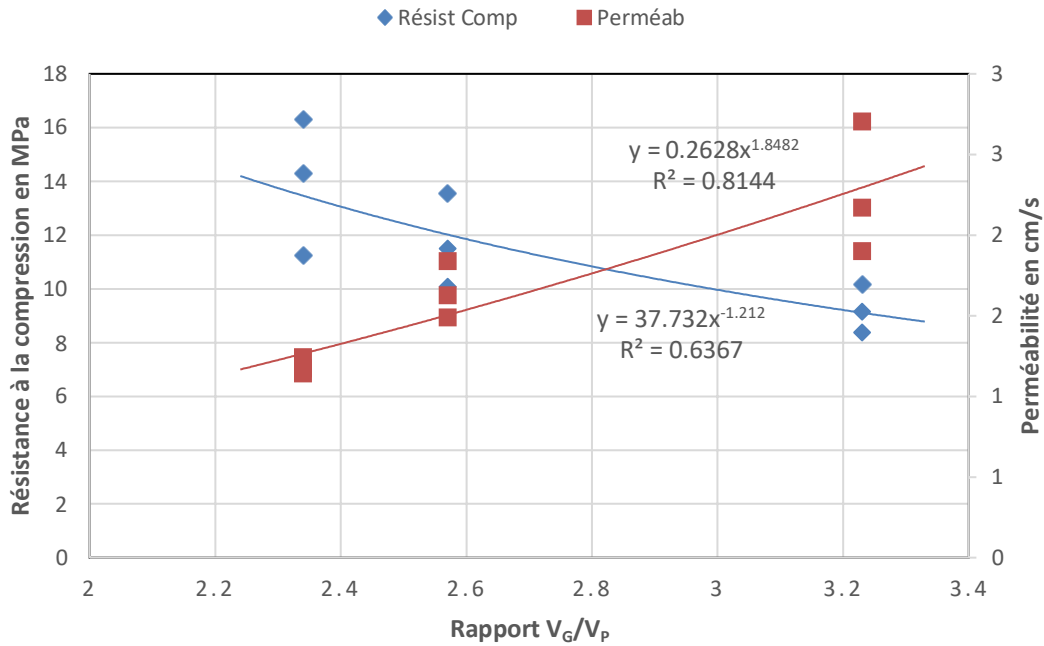
Un béton drainant composé de granulats de petite taille, comme le cas de la fraction 3/8 mm, permet d'avoir une perméabilité inférieure à celle obtenue avec un granulat de grande taille (fraction 8/16 mm). La perméabilité dépend principalement de la taille des pores interconnectés, présents dans le béton perméable ou drainant, les figures III-20 et III-21 montrent cette évidence. Ceci se confirme de plus en plus lorsque le dosage en ciment s'accroît comme l'illustre la figure III-21, pour la fraction granulaire 3/8 mm la perméabilité décroît lorsqu'on augmente le dosage en ciment de 300 à 350 kg et elle décroît d'avantage lorsque le dosage en ciment est utilisé jusqu'à 400 kg. Par contre le mélange composé de fractions 50% de 3/8mm et 50% de 8/16 mm, la perméabilité atteint un seuil assez élevé principalement avec le dosage en ciment de 300 kg, mais elle l'est moins pour les autres dosages. Il est probable pour ce cas que le mixage de deux fractions différentes fait augmenter la surface spécifique des granulats et qu'un dosage de 300 kg en ciment reste insuffisant pour couvrir toutes les particules granulaires. La combinaison de deux granulats de taille différente peut altérer la porosité effective, notamment dans le cas de deux granulométries assez éloignées.



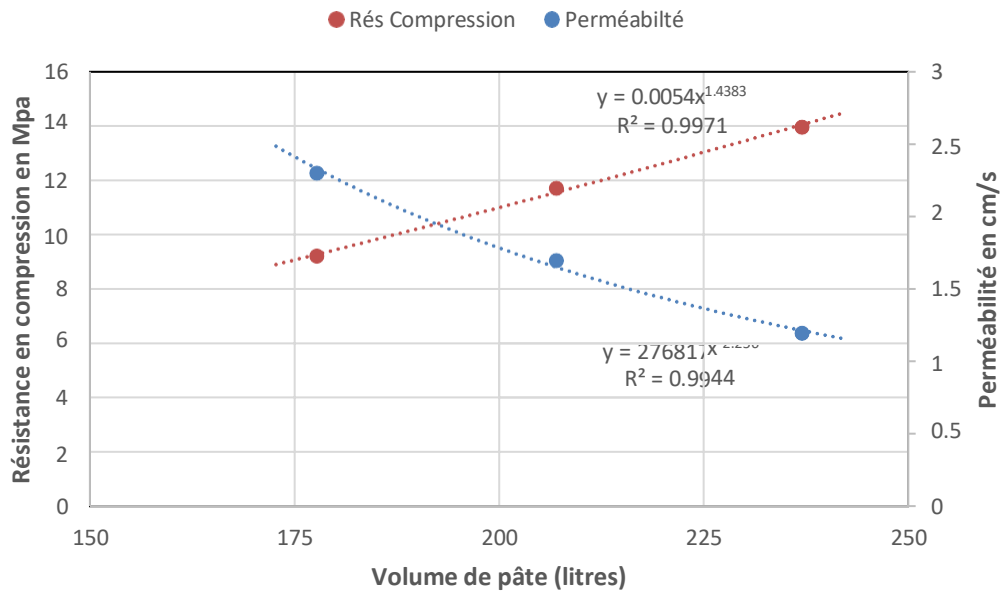
**Figure III-21** : Variation de la perméabilité en fonction des fractions granulaires

Il est connu que la résistance à la compression est étroitement liée à la perméabilité. Une résistance à la compression élevée du béton correspond à un béton de faible perméabilité et inversement une résistance faible, à forte porosité, garantit un béton plus perméable et la figure III-22 confirme ça. Celle-ci présente les variations de la résistance à la compression et la perméabilité en fonction du rapport volumique Granulat/Pâte ( $V_G/V_P$ ). Un accroissement du volume des granulats au dépend du volume de pâte fait diminuer la résistance à la compression mais la perméabilité augmente. Également l'accroissement du volume de pâte garantit des résistances mécaniques élevées et une perméabilité amoindrie, comme le présente la figure III-23. Les figures III-22 et III-23 peuvent servir d'abaques pour les formulations de bétons drainants où il est possible de trouver un compromis entre la résistance mécanique et la perméabilité à travers des choix du volume de pâte et du rapport  $V_G/V_P$ , surtout que ces deux figures présentent des coefficients de corrélation assez intéressants.





**Figure III- 22 :** Evolution de la résistance à la compression et la perméabilité en fonction du rapport  $V_G/V_P$

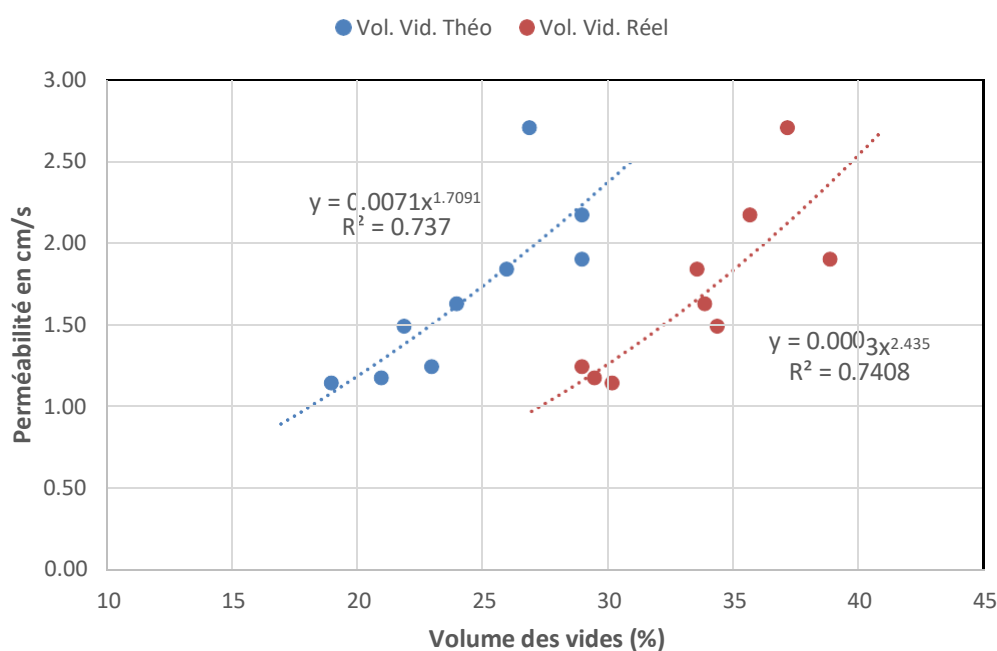


**Figure III- 23 :** Evolution de la résistance à la compression et la perméabilité en fonction du volume de pâte

La figure III-24 présente la variation de la perméabilité en fonction des volumes théorique et réel des vides. Le volume théorique des vides est déterminé à partir la porosité calculée selon la formulation et le volume réel des vides est déterminé par une méthode expérimentale

## CHAPITRE III : ANALYSES ET RESULTATS

détaillée dans le chapitre II (figure II-16). Sur la figure III-24, la variation de la conductivité hydraulique est de même tendance pour les deux méthodes de détermination des volumes des vides. Un écart d'environ de 10% entre le volume théorique des vides à celui déterminé expérimentalement. Cet écart peut être induit par la manière de serrage ou consolidation du béton frais qui a été réalisé par piquage où il est fort probable que les coups de la tige du cône d'Abrams ont provoqué une porosité supplémentaire par écartement des grains ; de même l'autre hypothèse qui pourrait servir et que l'eau excédentaire s'est évaporée à la suite du durcissement ce qui provoque plus de porosité. Le calcul du volume théorique des vides déterminé a atteint un volume maximal théorique des vides de l'ordre de 28,9%, ce résultat est également confirmé par [Kevern et *al.* 2008]. Ces auteurs concluent que l'utilisation d'un rapport massique liant/granulats L/G=0,25 ; la porosité est inférieure à 15%, ce qui entraîne une perméabilité insuffisante.



**Figure III-24** : Evolution de la perméabilité en fonction des volumes théorique et réel des vides

### CONCLUSION :

L'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux conclusions suivantes :

- Les bétons drainants enregistrent des valeurs d'affaissement sont trop élevées avec un rapport E/C de 0,27 ; ces valeurs d'affaissement ne sont pas synonymes de présence de béton trop fluide.
- Les bétons drainants se sont affaissés comme un sol lâche et ceci par manque de particules fines.
- L'outil de mesure de la maniabilité qui est le cône d'Abrams reste insuffisant pour caractériser l'ouvrabilité des bétons perméables.
- La variation de la masse volumique à l'état frais des bétons drainants est fortement influencée par le dosage en ciment que la variation des fractions granulaires. Les

## CHAPITRE III : ANALYSES ET RESULTATS

---

bétons drainants formulés avec un dosage de 400 kg/m<sup>3</sup> de ciment sont les plus pesants.

- La résistance à la compression varie dans une fourchette de 8,4 jusqu'à 16,3 MPa, ces valeurs corréleront avec celles observées dans la littérature.
- Pour l'amélioration de la résistance à la compression l'effet bénéfique du dosage de ciment est mis évidence. Les dosages en ciment à 350 et 400 kg sont les mieux distingués lorsque la fraction granulaire utilisée est de taille 3/8 mm.
- L'influence de la variation de la fraction granulaire n'est pas déterminante dans l'amélioration de la résistance mécanique. La fraction granulaire 3/8 mm se dégage des autres fractions 8/16 et le mixage de fractions 3/8 à 50% et 8/16 à 50%.
- Les valeurs de résistance à la traction par fendage ne sont pas trop significatives, elles varient dans une fourchette de 1,28 à 2,96 MPa.
- L'essai de perméabilité a permis de confirmer que nos bétons d'étude sont effectivement perméables. Les valeurs de la conductivité hydraulique varient entre 1,17 et 2,71 cm/s (ou de 11,7 et 27,1 litres/m<sup>2</sup>/sec). Ces résultats sont de même ordre que ceux trouvés par d'autres chercheurs.
- Le coefficient de conductibilité hydraulique diminue lorsque le dosage en ciment augmente qui est plus prépondérant que lorsque la fraction granulaire change.
- Un béton drainant composé de granulats de petite taille, comme le cas de la fraction 3/8 mm, permet d'avoir une perméabilité inférieure à celle obtenue avec un granulats de grande taille (fraction 8/16 mm).
- Une augmentation du volume des granulats au dépend du volume de pâte fait diminuer la résistance à la compression mais la perméabilité augmente.

CONCLUSION

GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

---

Les bétons drainants sont des bétons spéciaux dont les qualités méritent d'être exploitées. En raison de leurs propriétés rhéologiques très spécifiques, leur compréhension nécessite des investigations plus approfondies. Les bétons drainants sont des bétons très perméables, homogènes, et qui se mettent en place sans vibration. Leurs principales propriétés résident dans le fait qu'ils présentent une bonne percolation des eaux de ruissèlement.

La première partie concernant la synthèse bibliographique, nous a permis de fournir le contexte scientifique et technique pour notre travail. La deuxième partie concernant l'étude expérimentale. Elle a été riche en enseignements où le béton drainant s'est avéré plus complexe surtout pour son serrage ou consolidation. L'utilisation d'une énergie de consolidation par vibration n'est pas efficace menant à la formation de ségrégation où un dépôt de pâte dans la partie inférieure était visible. Le moyen de serrage le plus approprié était le piquage avec la tige du cône d'Abrams.

L'approche utilisée pour la formulation des bétons drainants et celle de l'ACI Committee 522 qui préconise un volume des vides  $> 20\%$  et un rapport Eau/Ciment compris entre 0,26 et 0,40. Pour notre travail un rapport  $E/C=0,27$  s'est avéré le mieux adéquat, d'autres rapports  $E/C=0,28$  et  $0,30$  ont donné des signes de ségrégation avec un dépôt de pâte au fond du moule.

Un dispositif a été réalisé localement pour la détermination de la conductivité hydraulique, il est basé sur le principe de la loi de Darcy pour calculer le coefficient de perméabilité.

La campagne expérimentale a été menée sur onze (11) compositions de bétons, un béton de granulats naturels, un béton de granulats recyclés et 9 bétons drainants sur lesquels des variations du dosage en ciment et des variations de la fraction granulaire ont été envisagées. Les bétons de granulats naturels et recyclés ont servi comme bétons témoins dans le but de situer la résistance mécanique des bétons drainants par rapport à un béton classique.

De cette étude les enseignements tirés sont comme suit :

Sur l'état frais du béton drainant

- Un écart assez important constaté lors de la détermination de l'ouvrabilité des bétons. Si les bétons témoins sont conformes aux valeurs normatives d'affaissement au cône alors que les bétons drainants enregistrent des affaissements trop élevés qui ne sont pas signe de fluidité
- Les résultats obtenus des mesures de l'affaissement varient entre 19 et 21 cm, ces valeurs classent ces bétons selon la norme comme bétons fluides. Or le rapport  $E/C=0,27$  employé et sans fluidifiant ne pourra pas garantir un béton fluide.
- Les bétons drainants se sont affaissés comme un sol lâche et ceci par manque de particules fines.
- L'outil de mesure de la maniabilité qui est le cône d'Abrams reste insuffisant pour caractériser avec exactitude l'ouvrabilité des bétons perméables.
- La variation de la masse volumique à l'état frais des bétons drainants est fortement influencée par le dosage en ciment que la variation des fractions granulaires. Les

## CONCLUSION GENERALE

---

bétons drainants formulés avec un dosage de 400 kg/m<sup>3</sup> de ciment sont les plus pesants.

### Sur la résistance mécanique

- A comparer avec les bétons témoins, les bétons drainants enregistrent des déficiences en résistance de 55% à 67%. Les bétons témoins contenant du sable et les bétons drainants sans sable.
- La résistance à la compression des bétons drainants varie dans une fourchette de 8,4 jusqu'à 16,3 MPa, ces valeurs corrélerent avec celles observées dans la littérature.
- Pour l'amélioration de la résistance à la compression l'effet bénéfique du dosage de ciment est mis évidence. Les dosages en ciment à 350 et 400 kg sont les mieux distingués lorsque la fraction granulaire utilisée est de taille 3/8 mm.
- L'influence de la variation de la fraction granulaire n'est pas déterminante dans l'amélioration de la résistance mécanique. La fraction granulaire 3/8 mm se dégage des autres fractions 8/16 et le mixage de fractions 3/8 à 50% et 8/16 à 50%.
- Une relation assez avérée déduite entre la résistance à la compression et le rapport volumique entre granulats et pâte cimentaire ( $V_G/V_P$ ). Il est nettement clair que la tendance va vers une diminution de la résistance lorsque le rapport  $V_G/V_P$  augmente.
- La relation entre la résistance à la compression et le rapport massique Granulat/Ciment ( $G/C$ ) n'est pas fiable et ne peut servir comme paramètre de formulation. Les masses spécifiques des deux matériaux sont différentes et principalement dans le cas où les granulats légers seront utilisés.
- Les valeurs de résistance à la traction par fendage ne sont pas trop significatives, elles varient dans une fourchette de 1,28 à 2,96 MPa.

### Sur la perméabilité

- L'essai de perméabilité a permis de confirmer que nos bétons d'étude sont effectivement perméables. Les valeurs de la conductivité hydraulique varient entre 1,17 et 2,71 cm/s (ou de 11,7 et 27,1 litres/m<sup>2</sup>/sec). Ces résultats sont de même ordre que ceux trouvés par d'autres chercheurs.
- Un dosage en ciment élevé fait diminuer l'aptitude des bétons à devenir béton perméable. De nos résultats un béton dosé à 400 kg de ciment est moins perméable que le béton dosé à 300 kg de ciment.
- Un béton drainant composé de granulats de petite taille, comme le cas de la fraction 3/8 mm, permet d'avoir une perméabilité inférieure à celle obtenue avec un granulat de grande taille (fraction 8/16 mm).
- Une augmentation du volume des granulats au dépend du volume de pâte fait diminuer la résistance à la compression mais la perméabilité augmente.
- Le volume des vides intergranulaire est facteur indéniable de la perméabilité du béton. Les volumes des vides, déterminés par la méthode théorique et par une méthode expérimentale, convergent vers la même tendance. La perméabilité augmente avec l'augmentation du volume des vides. Un écart de 10% a été trouvé entre le volume théorique des vides et le volume réel des vides.

## CONCLUSION GENERALE

---

### Perspectives :

Les conclusions de cette étude nous emmènent à faire les recommandations suivantes :

- Pour mieux apprécier la maniabilité des bétons drainants, l'outil de mesure qui est le cône d'Abrams ne semble pas adéquat dans le cas de l'appréciation de l'ouvrabilité des bétons poreux. Le recours à un autre type d'outil serait peut-être plus indicatif pour l'ouvrabilité à l'exemple de la table à choc qui est utilisée pour l'appréciation de la maniabilité du mortier ou l'utilisation de rouleau compresseur.
- Lorsque de faibles rapports E/C sont utilisés ( $< 0,30$ ), il est nécessaire d'employer un agent réducteur d'eau ou un super-plastifiant pour avoir une meilleure maniabilité et des propriétés mécaniques améliorées.
- L'utilisation des fibres dans le béton drainant peut s'avérer importante lorsqu'on désire améliorer la résistance à la flexion.
- Une certaine quantité de sable peut être incorporée dans le béton drainant pour améliorer considérablement la résistance mécanique. Également l'introduction de charges minérales peut augmenter sensiblement le volume de pâte et du coup la résistance mécanique s'améliore.
- Le développement d'un essai de durabilité pour le béton drainant serait un outil essentiel pour d'une part, assurer une meilleure compréhension de son comportement et, d'autre part, pour faciliter son établissement dans les régions aux hivers sévères.

REFERENCES  
BIBLIOGRAPHIQUES



## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [1] **Faculté d'urbanisme** ; Leçons d'urbanisme par niveau, niveau 10 Chapitre n°1, Leçon : Notion de base en génie civil, 19 janvier 2019
- [2] Historique du béton : <http://www.ecocem.fr/beton/>
- [3] **Syndicat national du béton prêt à l'emploi (SNBPE). © C.D, Futura**
- [4] **DADDY KABAGIRE KIBENGA** ; nouvelle approche de formulation des bétons drainants aux propriétés mécaniques et drainantes améliorées, Mémoire de maîtrise UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE 2013.
- [5] **ARABI .N** ; Cours valorisation des déchets industriel dans la construction, Introduction, Université Badji Mokhtar Annaba, 2018
- [6] **ARABI.N**; Cours valorisation des déchets industriel dans la construction, Chapitre I : Origines des matières résiduelles. Université Badji Mokhtar Annaba, 2018
- [7] **ARABI.N** ; Cours valorisation des déchets industriel dans la construction, Chapitre II : les différents types de granulats. Université Badji Mokhtar Annaba, 2018
- [8] **Recyclage** : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Recyclage>
- [9] **Diagnostic pollution des sols** : <http://www.alcor-controles.fr>
- [10] **5Façades** ; Granulats et béton marquent le pas au premier trimestre, 25 Avril 2016.
- [11] **Setec lerm** ; La lettre d'information du Lerm n° 32, 25 Mars 2016.
- [12] **Les politiques « Zéro Déchet » dans le monde utopie ou réalité ?** , Assemblée Nationale – Paris 13 et 14 mai 2004
- [13] **L'utilisation des granulats issus du recyclage** ; Page 8 sur 24 fiche 4, DECEMBRE 2010.
- [14] **Article Recyclage des déchets en Algérie** ; un marché de 38 milliards DA en quête d'investisseurs, source du Ministère des Ressources en eau et de l'Environnement, année 2016).
- [15] **ACI Commitee 211**. Guide fo r Selecting Proportions fo r No-Slump Concrète. American Concrète Institute, Farminton Hills, MI, 1-26 p. 2. 2002.
- [16] **ACI Commitee 522**. Report on Pervious Concrète. American Concrète Institute, Farmington Hills, MI, 1-38 p.2010.
- [17] **ASTM C29**. Standard Test Method fo r Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. 2009
- [18] **Malhotra, V. M.** (1976). No-Fine Concrète - Its Properties and Applications. Journal of The American Concrète Institute, volume 73, numéro 11, p. 628-644.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [19] **Yang, J. et Jiang, G.** (2003). Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials. *Cement and Concrete Research*, volume 33, numéro 3, p. 381-386.
- [20] **Environmental Protection Agency (EPA)** (2011). Overview of the Stormwater Program. EPA 833-R-96-008. Dans <http://www.epa.gov/npdes/pubs/owmQ195.pdf>.
- [21] **Narayanan, N., Jason, W. et Jan, O.** (2005). Acoustically Efficient Concrete Through Engineered Pore Structure. *ACI Materials Journal*, volume 226, p. 135-152.
- [22] **R. Zhong, K. Wille**, Compression response of normal and high strength pervious concrete, *Constr. Build. Mater.* 109 (2016) 177–187.
- [23] **Construction and Building Materials**, Compression response of normal and high strength pervious concrete, Volume 109, 15 April 2016, Pages 177-187.
- [24] **Experimental study on properties of pervious concrete pavement material**, *Cement and Concrete Research* Volume 33, Issue 3, March 2003, Pages 381-386.
- [25] **R. Zhong, Z. Leng, C.S. Poon**, (2018). Research and application of pervious concrete as a sustainable pavement material: A state-of-the-art and state-of-the-practice review. *Construction and Building Materials* 183: 544–553.
- [26] **H. El-Hassan, P. Kianmehr, S. Zouaoui**, (2019). Properties of pervious concrete incorporating recycled concrete Aggregates and slag. *Construction and Building Materials* 212: 164–175.
- [27] **DREUX .G.** « Le nouveau guide de béton » Ed. Eyrolles, Paris. 16 juin 1998
- [28] **NA 442** : CIMENT PORTLAND COMPOSE CPJ-CEM II/A 42.5
- [29] **NF EN 196–3** : Norme française. Méthodes d'essais des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité
- [30] **NF EN 196–3** : Norme française. Méthodes d'essais des ciments. Détermination du temps de prise et de la stabilité
- [31] **NF P 18–455** : Norme française. Essai pour béton durci. Résistance à la compression des éprouvettes.
- [32] **NF P18–597** : Normalisation française. Granulats. Détermination de la propreté des sables
- [33] **NF en 933-1** : Normalisation française de l'analyse granulométrique du sable
- [34] **EN 933-2** : Normalisation Européenne de l'analyse granulométrique du gravier
- [35] **NF P 18–573** : Normalisation française. Granulats. Essai Los Angeles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

---

- [36] **EN 1097-1** : Norme européenne. Granulats. Essai Micro Deval
- [37] **Euclid Chemical Company** (2009). Pervious Concrète : Brochure of Euclid Chimical Company .Dans:[http://www.euclidchemical.com/fileshare/elit/B38\\_Pervious\\_Concrete\\_Brochure\\_06\\_09.pdf](http://www.euclidchemical.com/fileshare/elit/B38_Pervious_Concrete_Brochure_06_09.pdf)
- [38] **S. Mrakovčić, N. Čeh, V. Jugovac** (2004). Effect of aggregate grading on pervious concrete properties. *GRAĐEVINAR*66 (2): 107-113.
- [39] **M.Uma Magesvari, V.L. Narasimha**, (2013). Studies on Characterization of Pervious Concrete for Pavement Applications. *Procedia Social and Behavioral Sciences*,104: 198 – 207
- [40] **M. Sonebi, M. Bassuonib, A. Yahia** (2016). Pervious Concrete: Mix Design, Properties and Applications. *RILEM Technical Letters*, 1: 109 – 115
- [41 ] **R. Sriravindrarah, N. D. H. Wang, L. J. W Ervin**, (2012). Mix Design for Pervious Recycled Aggregate Concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. Vol.6, No.4: 239–246.
- [42] **J. T. Kevern, V. R. Schaefer, K. Wang**, (2008). Self-Consolidating Pervious Concrete.” Third North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC2008), Center for Advanced Cement-BasedMaterials at Northwestern University.

# ANNEXES

## ANNEXES

### A. Les différents bétons drainants



Annexe A.1 BRD à base du G 8/16, C=350kg



Annexe A.2 BRD à base du mélange, C=350kg





Annexe A.3 BRD à base du G 8/16, C=350kg Annexe A.4 BRD à base du G3/8, C=300kg



Annexe A.5 BRD à base du G 3/8, C=350kg

## B. La fiche technique du ciment

	شركة الإسمنت لحجار السود		<b>F03-01/1000</b>
	FICHE TECHNIQUE CIMENT		
	date 06/08/2017	Version : 06	

### CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE CEMII/A-L 42,5N

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa
PAF 975 °C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60	NA 234	02 jours 13-17,5
SiO <sub>2</sub>	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 23 - 33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 42.5 -47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm <sup>3</sup> /g	3300 - 4000		FLEXION
MgO	1 - 2	NA231				02 jours 3,0-4,0
K <sub>2</sub> O	0,3 - 0,6					07 jours 5,0-6,5
Na <sub>2</sub> O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER μm/m	≤ 1000		28 jours 6,5-8,5
SO <sub>3</sub>	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 -1,8	C3S	52-58	CLINKER	≥ 74%	
CL <sup>-</sup>	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6%	
NB: Dans le mélange ajout: calcaire+tuf: le tuf est de l'ordre de 05%		C3A	8 - 12	CALCAIRE	16 %-18%	
		C4AF	9 - 13	pouzzolaine+ calcaire	/	
				calcaire + TUF	12 %-18%	

#### DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton , Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment) .

#### PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industrielles) emploi obligatoire de ciment

ES pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.

- Travaux à la mère ( emploi obligatoire de ciment **PM** pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5° C ( il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée **R** )

#### STOCKAGE :

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

#### EMBALLAGE :

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du sac.

#### ATTENTION

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.