



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministry of Higher Education and Scientific Research

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم

Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem

كلية العلوم و التكنولوجيا

Faculty of Science and Technology

قسم الهندسة المدنية

Department of Civil Engineering

N° d'ordre : M/GC/2024



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM



Mémoire de Master académique

Filière : Génie Civil

Spécialité : Structure

Etude et réalisation des bétons drainants et des bétons désactivés

Présenté par :

- AGBOUBI Imed Eddine
- BACHKAT Zakaria

Présidente : BELAS Nadia Professeure UMAB Mostaganem

Examineur : BELARIBI Omar M.C.B UMAB Mostaganem

Encadrant : MEBROUKI Abdelkader Professeur UMAB Mostaganem

Année Universitaire : 2023 / 2024

Dédicace

A nos familles et nos proches, pour leur patience et leur soutien tout au long de cette aventure académique.

A notre encadrant et nos professeurs, pour leur guidance précieuse et leur conseils avisés qui ont enrichi notre travail.

A notre incubateur, pour avoir cru en notre idée et pour nous avoir offert un cadre propice à l'innovation et à la croissance.

A nos mentors et conseillers au sein de l'incubateur, pour leur expertise et leurs conseils avisés qui ont enrichi notre parcours entrepreneurial.

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous vous adressons nos sincères remerciements et cette dédicace en signe de notre reconnaissance.

Remerciements

Au terme de ce précieux travail

*Nous tenons en premier lieu à rendre notre profonde
Gratitude à «DIEU» qui nous avoir donné la force et la
Patience pour terminer ce modeste travail dans
Des bonnes conditions morales et matérielles.*

*Nous remercions vivement notre partenaire socio-économique,
« GRANU-OUEST » du groupe « GICA » représentée par son
Directeur Mr M. MARAF.*

Nous tenons à remercier vivement notre encadrant

Professeur A. Mebrouki

*D'avoir pris en charge la direction scientifique
Pendant le déroulement et la réalisation de notre
Travail.*

*Nous recoins aussi Professeure N. Belas et Docteur O. Belaribi d'avoir
accepté de faire partie de notre jury.*

*A tous les enseignants du Département de Génie civil nous disons
Merci pour tous ce que vous avez fait pour notre réussite.*

Résumé

Le béton drainant (également appelé béton poreux, le béton perméable) est un type particulier de béton à haute porosité qui permet l'absorption des eaux de pluie et facilite leur écoulement naturel dans le sol. Ce béton est généralement utilisé pour ses caractéristiques drainantes. Le diamètre maximal de ses grains est 8 mm. Les applications les plus courantes sont : les aires de stationnements, les routes piétonnes et carrossables, les piscines, air de jeux, terrain de tennis. Le béton désactivé est un autre type de béton, élaboré avec des granulats de préférence roulés, sur sa surface est appliqué un désactivant empêchant l'hydratation du ciment sur partie supérieur. Après durcissement, la couche de ciment supérieure est enlevée pour faire apparaître les granulats. Le diamètre maximal de ses granulats est de préférence égal à 8 mm.

Cette étude entre dans le cadre de la création d'une Start-Up, le présent mémoire constitue la partie technique du projet et sera suivie d'une partie économique faisant apparaître l'aspect financier du projet.

Les bétons drainants ont été formulés par la méthode expérimentale (itérations sur les paramètres de composition) alors que les bétons désactivés ont été formulés par la méthode de Dreux-Gorisse. Après caractérisations (essais et mesures) de ces deux bétons, des surfaces ont été réalisées à échelle réelle afin de se familiariser avec l'élaboration de ces deux bétons dans le cadre d'une entreprise de réalisation.

À la fin du présent travail, une étude financière du projet a été réalisée, impliquant l'achat des matériaux, du matériel nécessaire à la réalisation des deux types de béton, la masse salariale et les charges annexes. Enfin, un devis estimatif sur cinq ans relatif à la création d'une start-up sera fourni.

Mots clés : Béton drainant, Béton désactivé, Formulation, Caractérisations, Réalisation, Start Up, étude financière.

Abstract

Porous concrete (also known as pervious concrete or permeable concrete) is a special type of high-porosity concrete that allows rain water to be absorbed and facilitates natural infiltration into the ground. This concrete is typically used for its draining characteristics. The maximum grain size is 8 mm. The most common applications include : parking areas, pedestrian and drivable paths, swimming pools, play grounds, and tennis courts.

Expose aggregate concrete is another type of concrete, made with preferably round aggregates. A surface retarder is applied to prevent the cement on the upper part from hydrating. After hardening, the top cement layer is removed to expose the aggregates. The preferred maximum aggregate size is 8 mm.

This study is part of the creation of a start-up. The present thesis constitutes the technical aspect of the project and will be followed by an economic part outlining the financial aspects of the project.

The porous concrete was formulated using the experimental method (iterations on composition parameters), whereas the expose aggregate concrete was formulated using the Dreux-Gorisse method. After characterizing (testing and measuring) these two types of concrete, surfaces were created on a real scale to become familiar with the production of these concrete within the context of a construction company.

At the end of the present work, a financial study of the project was conducted, involving the purchase of materials, the equipment necessary for the production of the two types of concrete, the payroll, and additional expenses. Finally, a five-year cost estimate related to the creation of a start-up will be provided.

Keywords : Porous concrete, Expose aggregate concrete, Formulation, Characterizations, Production, Start-up, Financial study.

ملخص

الخرسانة النافذة (وتسمى أيضاً الخرسانة المسامية أو الخرسانة المنفذة) هي نوع خاص من الخرسانة عالية المسامية التي تسمح بامتصاص مياه الأمطار وتسهيل تسربها الطبيعي إلى التربة. تُستخدم هذه الخرسانة عادةً لخصائصها النافذة. الحجم الأقصى للحبيبات فيها هو 8 ملم. تشمل التطبيقات الأكثر شيوعاً: مناطق وقوف السيارات، المسارات للمشاة والمركبات، أحواض السباحة، ساحات اللعب، وملاعب التنس.

الخرسانة المكشوفة هي نوع آخر من الخرسانة، تصنع باستخدام حصى مستديرة على الأفضل. يتم تطبيق مادة مؤخرة على سطحها لمنع تصلب الأسمنت في الجزء العلوي. بعد التصلب، تتم إزالة الطبقة العليا من الأسمنت لإظهار الحصى. يفضل أن يكون الحجم الأقصى للحصى 8 ملم.

تدخل هذه الدراسة في إطار إنشاء شركة ناشئة. يشكل هذا التقرير الجزء الفني من المشروع وسيليه جزء اقتصادي يوضح الجوانب المالية للمشروع.

تمت صياغة الخلطات الخرسانية النافذة باستخدام الطريقة التجريبية (التكرارات على معايير التركيب)، بينما تم صياغة الخلطات الخرسانية المكشوفة باستخدام طريقة Dreux-Gorisse بعد توصيف (اختبارات وقياسات) هذين النوعين من الخرسانة، تم إنشاء أسطح بمقياس حقيقي للتعرف على إنتاج هذه الخلطات الخرسانية في سياق شركة تنفيذ.

في نهاية هذا العمل، تم إجراء دراسة مالية للمشروع، شملت شراء المواد، المعدات اللازمة لإنتاج النوعين من الخرسانة، الرواتب، والمصاريف الإضافية. أخيراً، سيتم تقديم تقدير تكاليف لمدة خمس سنوات متعلق بإنشاء شركة ناشئة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة النافذة، الخرسانة المكشوفة، صياغة، توصيفات، تنفيذ، شركة ناشئة، دراسة مالية.

Sommaire

<u>Introduction générale</u>	17
------------------------------------	----

Chapitre I : Le béton drainant

<u>1- Introduction</u> :.....	21
<u>2- Composition du béton drainant</u> :.....	22
<u>2-1 Ciment</u> :.....	22
<u>2-2-Granulats</u> :.....	22
<u>2.2.1 Gros granulats</u> :.....	22
<u>2.2.2 Granulats fins</u> :.....	23
<u>2-3 Adjuvants</u> :.....	24
<u>2-3-1 Superplastifiant réducteur d'eau</u> :.....	24
<u>2-4 EAU</u> :.....	24
<u>2-5-Fibres</u> :.....	25
<u>3- Propriétés du béton drainant</u> :.....	25
<u>3-1-Retrait au séchage</u> :.....	26
<u>3-2-Résistance à la compression</u> :.....	26
<u>3-3 Résistance au cycle gel/dégel</u> :.....	26
<u>3-4 Masse Volumique</u> :.....	27
<u>3-5 Rhéologie et Pompabilité</u> :.....	27
<u>3-6 Porosité et perméabilité (taux de percolation)</u> :.....	27
<u>3-7 Autres propriétés du béton drainant</u> :.....	27
a- <u>Propriétés à l'état frais</u> :.....	27
b- <u>Propriétés à l'état durci</u> :.....	27
<u>4- Caractéristiques du béton drainant</u> :.....	28
<u>5- l'utilisation du béton drainant</u> :.....	28
<u>6- Les principales limitations du béton drainant sont</u> :.....	30
<u>7- Les Avantages du béton drainant</u> :.....	30
<u>7-1- Avantages environnementaux</u> :.....	30
<u>7-2-Avantages pour la sécurité</u> :.....	30
<u>8- Fabrication du béton drainant</u> :.....	30
<u>8-1 La fabrication en industrie</u> :.....	31
<u>8-2 La méthode traditionnelle</u> :.....	31
<u>9- Les étapes de mise en place d'un béton poreux</u> :.....	31

9-1 La préparation du sol :	31
9-2 La mise en place des joints de dilatation :.....	31
9-3 La pose du béton proprement dite :.....	32
10-Mise en place :	32
10-1- Préparation du sol :	32
10-2- Installation d'un joint de dilatation :.....	32
10-3 Etalage du béton drainant :.....	33
10-4-Fin de chantier :	33
11- Conclusion :	34

Chapitre II : Le béton désactivé

1- Introduction :.....	36
2- Définitions :.....	36
3- Compositions du béton désactivé :.....	37
3-1 Le désactivant ou désactivateur :	37
4- Avantages et propriétés les plus remarquables du béton désactivé :.....	38
4-1 Les principaux avantages :.....	38
5- Mise en œuvre du béton désactivé :	39
5-1 Préparation du sol :	39
• <i>Niveler et compacter le pavage</i>	39
• <i>Délimiter la surface de travail</i>	40
5-2 Coulage du béton :	40
• <i>Verser le béton sur la surface</i>	40
• <i>Lissage du béton</i>	41
5-3 Finitions :	41
• <i>Appliquer un désactivant de béton</i>	41
6- Conclusion :	42

Chapitre III : Matériaux et Méthodes

I- Bétons drainants.....	44
I-1 Introduction :	44
I- 2 Matériaux :.....	44
a- Le ciment :.....	44
• <i>Caractéristiques du ciment</i> :	44
b- Le sable :	45
c- Gravier :.....	49

d- Eau :	50
I- 3 Formulation du béton drainant :	52
I- 4 Essais sur le béton frais :	53
<i>Essai au cône d'Abrams</i> :	53
a- Principe de l'essai :	54
<i>Essai teneur en air : (NF EN 12350-7)</i> :	54
a- Principe de l'essai :	54
<i>Essai Vébé : (Norme ISO 4110)</i> :	55
a- Principe de l'essai :	55
b- Equipement nécessaires :	55
I- 5 Essai sur le béton durci :	58
<i>Essai de porosité : (NF P18-459)</i> :	58
a-Conduite de l'essai :	58
<i>Essai de perméabilité : (NF EN 12697-19)</i> :	59
a-Conduite de l'essai :	59
<i>Essai d'auscultation dynamique : (NF EN 12504-4)</i> :	60
a- Mode opératoire :	60
✓ Préparation de l'éprouvette :	61
✓ Point de mesure :	61
✓ Disposition du transducteur :	61
<i>Essai de compression : (NFP 18-406)</i> :	62
I- 6 Conclusion :	62

Chapitre IV : Résultats et discussions

<u>Résultats sur les bétons drainants</u> :	64
1- Introduction :	64
2- <u>Résultats des essais sur béton frais</u> :	64
<i>Affaissement au cône d'Abrams</i> :	65
<i>Teneur en air : (AÉROMÈTRE)</i> :	66
<i>Essai Vèbè</i> :	68
3- <u>Résultats des essais sur béton durci</u> :	69
<u>Essai de la porosité ouverte</u> :	69
<i>Essai perméabilité à l'eau</i> :	71
<i>Résistances à la compression des bétons drainants</i> :	71
<u>Résultats sur le béton désactivé</u> :	75

<i>Résistances à la compression des bétons désactivés :</i>	77
<i>Résistance à la traction pour béton drainant (Essai brésilien) :</i>	79
<u>4- Réalisations de pavés/blocs en béton drainant et béton désactivé :</u>	81
<u>5- Réalisations des bétons drainants et des bétons désactivés à échelle réelle :</u>	82
<u>5- Conclusion :</u>	87

Chapitre V : Le guide de projet

<u>1. INTRODUCTION :</u>	89
<u>2.Première axe : Présentation de projet</u>	89
<u>2.1. L'idée de projet :</u>	89
<u>2.2. La valeur proposé :</u>	89
<u>2.3. Equipe de travaille :</u>	89
<u>2. 3.Objectif de projet :</u>	90
<u>2.4. Calendrier de réalisation du projet :</u>	90
<u>3. Deuxième axe : Aspects innovants</u>	90
<u>3.1. Nature des innovations :</u>	90
<u>Béton drainant :</u>	91
<u>Béton désactivé :</u>	91
<u>3.2. Domaines d'innovation :</u>	91
<u>Béton drainant :</u>	91
<u>Béton désactivé :</u>	92
<u>4. Troisième axe : Analyse stratégique de marché :</u>	92
<u>4.1. Le segment de marché :</u>	92
• <u>Promoteurs immobiliers : Constructions résidentielles et commerciales</u>	93
<u>4.2. Le marché cible :</u>	93
<u>4.3 Mesure de l'intensité de la concurrence :</u>	93
<u>4.4 La stratégie marketing :</u>	93
<u>5. Quatrième axe : Plan de production</u>	94
<u>5.1. Le Processus de production :</u>	94
<u>Béton Drainant :</u>	94
<u>Formulation du mélange :</u>	94
<u>Mélange :</u>	94
<u>Coulage et mise en place :</u>	94
<u>Finition :</u>	94
<u>Béton Désactivé :</u>	95

<u>Préparation des agrégats :</u>	95
<u>Formulation du mélange :</u>	95
<u>Mélange :</u>	95
<u>Coulage et mise en place :</u>	95
<u>Lavage et finition :</u>	95
<u>Points Importants :</u>	95
<u>5.2 L'Approvisionnement :</u>	96
<u>5.3 . La main d'œuvre :</u>	96
<u>5.4. Les Principaux partenaires :</u>	96
<u>6. Cinquième axe : Plan financier.....</u>	97
<u>6.1. Les Coûts et charges :</u>	97
<u>6.2. Le chiffre d'affaire :</u>	100
<u>7. Sixième axe : prototype expérimental</u>	101
<u>Conclusion générale</u>	102
<u>Références bibliographiques</u>	104
<u>Annexe</u>	105

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 : échantillon d'un béton drainant.....	21
Figure I-2 : Echantillon d'un ciment.....	22
Figure 1-3 (a) : Echantillons des sables 0/1 et 0/3	23
Figure 1-3 (b) : Echantillon d'un gravier 3/8.....	24
Figure I-4 : Méthode de la «boule» pour apprécier la cohésion du béton.....	25
Figure I-5 : Autour d'une maison en béton drainant.....	29
Figure 1-6 : Parking en béton drainant.....	29
Figure I-7 : Autour d'une piscine en béton drainant.....	29
Figure 1-8 : stade de tennis en béton drainant.....	30
Figure I-9 : préparation du sol.....	32
Figure I-10 : pose du joint de dilatation	33
Figure I-11 : étalage du béton drainant	33
Figure I-12: Damage du béton drainant	34

Chapitre II

Figure II-1 : Zone piétonnière dans un jardin avec le béton désactivé	36
Figure II-2 : le désactivant (un produit de SIKa CeM).....	38
Figure II-3 : préparation du sol.	40
Figure II-4 : coulage du béton.....	41
Figure II-5 : Finition, apparition des granulats.....	41

Chapitre III

Figure III-1 : Echantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5).....	44
Figure III-2 : Echantillon de sable carrière sidi abdeli-Sidi Bel ABBES 0/3	46
Figure III-3 : Eprouvettes de l'essai de l'équivalent de sable.....	46
Figure III-4 : Appareillages utilisés pour l'essai du bleu de méthylène.....	47
Figure III-5 : Courbes Granulométrique de sable 0/3	49
Figure III-6 : Courbes Granulométrique du gravier 3/8.....	50
Figure III-7 : Essai de la masse volumique apparente.....	51
Figure III-8 : Réalisation du béton drainant.....	53
Figure III-9 : Mode opératoire de l'essai.....	53
Figure III-10 : Mode opératoire de l'essai.....	55
Figure III-11 : Matériel pour l'essai Vébé.....	56

Figure III-12 : Schéma du mode opératoire de l'essai.	57
Figure III-13 : Mise en place du béton dans le cône d'Abrams.	57
Figure III-14 : Soulèvement du cône et mesure de l'affaissement A.....	58
Figure III-15 : Mise en route du vibreur et déclenchement simultané du chronomètre.	58
Figure III-16 : Essai de porosité.....	59
Figure III-17 : Appareillage de l'essai de perméabilité.....	60
Figure III-18 : Essai de résistance par compression.....	62

Chapitre IV

Figure IV-1 : Essais à l'état frais.....	65
Figure IV-2 : Essai au cône d'Abrams.	65
Figure IV-3 : Classes de consistance du béton.....	66
Figure IV-4 : Essai de la teneur en air.....	67
Figure IV-5 : Essai Vèbè (matériel et manipulation).	68
Figure IV-6 : Essai porosité ouverte.	70
Figure IV-7 : Mesure des résistances à la compression.	71
Figure IV-8 -a : Courbe résistance à la compression.	72
Figure IV-8 -b : Histogramme des résistances à la compression.	72
Figure IV-9 : Histogramme de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps.	73
Figure IV-10- a : Courbe des résistances à la traction des bétons drainants.....	74
Figure IV-10- b : Histogramme des résistances à la traction des bétons drainants.....	74
Figure IV-11 : Evolutions des résistances à la traction des bétons drainants	75
Figure IV-12 : Mesure des résistances à la compression.	76
Figure IV-13- a : Courbe des résistances à la traction des bétons désactivés	77
Figure IV-13- b : Histogramme des résistances à la traction des bétons désactivés.....	77
Figure IV-14 : Evolution des résistances à la compression des bétons désactivés	78
Figure IV-15 : Essai de traction sur éprouvette de béton désactivé.....	79
Figure IV-16- a : Courbe de résistances à la traction des bétons désactivés.....	79
Figure IV-16- b : Histogramme de résistances à la traction des bétons désactivés	80
Figure IV-17 : Evolution des résistances à la traction en fonction du temps.....	81
Figure IV-18 : Pavé rectangulaire en béton drainant.	81
Figure IV-19 : Pavé rectangulaire en béton désactivé.....	84

Figure IV-20 : Préparation du terrain avant coulage des bétons	83
Figure IV-21 : Préparation et pesage des matériaux	83
Figure IV-22 : Malaxage et préparation des bétons selon formulations	84
Figure IV-23 : Mise en place des coffrages pour délimiter les surfaces	84
Figure IV-24 : Coulage du béton drainant sur les côtés	85
Figure IV-25 : Damage et mise à niveau du béton drainant.....	85
Figure IV-26 : Aspects des bétons après coulage	86
Figure IV-27 : Aspects final des deux bétons après nettoyage de la surface supérieure du béton désactivé (au milieu).....	86

Chapitre V

Figure V-1 : prototype expérimental pour le Béton drainant.	101
Figure V-2 : prototype expérimental pour le Béton désactivé.	101
Figure I-1 : Abaque permettant la détermination de C_{opt}	111
Figure I-2 : Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériau.	115

Liste des tableaux

Chapitre III

Tableau III-1 : Paramètres physico-mécaniques du ciment.	45
Tableau III-2 : Paramètres chimiques du ciment.	45
Tableau III-3 : Essai d'équivalent de sable 0/3.	47
Tableau III-4 : Essai au bleu de méthylène de sable 0/3.....	48
Tableau III-5 : Analyse Granulométrique Sable 0/3	48
Tableau III-6 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.....	49
Tableau III-7 : Masse volumique absolue et apparente des granulats.....	51
Tableau III-8 : Composition du béton drainant adoptée (pour 1 m ³ de béton)	52
Tableau III-9 : Consistance du béton à partir de l'affaissement.	54
Tableau III-10 : Classification du béton d'après la vitesse du son.....	61

Chapitre IV

Tableau IV-1 : Normes des essais à l'état frais.	64
Tableau IV-2 : Tableau des classes de consistance.....	66
Tableau IV-3 : Teneur en air du béton en fonction du diamètre.	67
Tableau IV-4 : Tableau Classe de consistances béton	69
Tableau IV-5 : Résistances à la compression des bétons drainants.	72
Tableau IV-6 : Résistances à la traction des bétons drainants.	73
Tableau IV-7 : Résistances à la compression des éprouvettes de béton désactivé.	76
Tableau IV-8 : Résistance à la traction d'éprouvettes de béton désactivé.	79

Chapitre V

Tableau V.1: calendrier de réalisation de projet	90
Tableau V.2: le totale des équipements de production.....	97
Tableau V.3: le total des achats directs.	98
Tableau V.4 : représentation du total des salaires chargés annuels en DA.....	98
Tableau V.5 : le total des charges externes en DA.....	99
Tableau V.6 : le total des couts et charges en DA.....	99
Tableau V.7 : représentation de chiffre d'affaires des deux types du béton.	100
Tableau I-3 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.....	107

Tableau I-4 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments. .	108
Tableau I-5 : Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage.	108
Tableau I-6 : Coefficient granulaire G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max}	110
Tableau I-7 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de D_{max}	112
Tableau I-8:K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.	113
Tableau I-9 : Compacité du béton en fonction de D_{max} , de la consistance et du serrag.....	116

Introduction générale

L'évolution du béton a permis d'élargir les domaines d'utilisation de ce dernier, en créant plusieurs types de béton pour des différentes fonctionnalités. Parmi ces types du béton on a le béton drainant connu sous d'autres appellations « béton poreux » ou « béton caverneux ».

Le béton drainant est un matériau doté d'une grande perméabilité. Son volume est en effet constitué d'environ 35 % de vide qui permet ainsi à l'eau de s'écouler directement dans le sol. Il est essentiellement composé de sable, de ciment, de gravillons (D_{max} inférieur ou égal à 8 mm) et d'eau.

Il est respirant, poreux. Il évite que l'eau ne stagne à sa surface lors d'épisodes de fortes pluies évitant ainsi les inondations des surfaces horizontales. Il achemine l'eau vers les nappes phréatiques. Tout au long de l'année, le sol est hydraté, ce qui n'entraîne pas de risque d'assèchement ou d'affaissement, même sous une grande surface recouverte.

Il convient donc à de nombreux aménagements extérieurs : les parvis autour des maisons, les plages de piscines, les allées de jardin, les terrasses ou les places de parking.

En plus de sa grande porosité, le béton drainant est un matériau esthétique et résistant, qui répond aux enjeux de la construction durable.

Le béton désactivé est un nouveau béton utilisé pour son aspect esthétique mais aussi pour sa résistance, équivalente à celle d'un béton ordinaire.

Le béton désactivé est généralement conçu par des granulats roulés qui donnent un aspect visuel plus intéressant que celui avec des granulats concassés.

Le présent travail entre dans le cadre de la création d'une start-up dans le cadre de l'arrêté ministériel 1275. Il consiste à élaborer deux bétons, un béton drainant (avec des granulats concassés de $D_{max} = 8$ mm) et un béton désactivé (avec des granulats roulés de D_{max} peut aller jusqu'à 16 mm). Les deux bétons ne constituent pas les éléments de structure, mais sont utilisés dans les zones annexes telles que les allées de tramway, parking, allées des espaces verts et abords de piscines...etc.

Le manque d'entreprises spécialisées dans la réalisation de ce genre de béton a motivé le choix porté sur l'étude de ces deux types de bétons.

L'étude des bétons drainants a consisté à la vérification des formulations adoptées, à leurs amélioration et à caractériser les bétons aux états frais et durcis.

Par contre, les bétons désactivés sont nouveaux, le travail consistera à formuler ces bétons par la méthode de Dreux-Gorisse (comme pour les bétons ordinaires) puis à les caractériser aux états frais et durcis.

La finalisation du travail est de réaliser à échelle réelle des surfaces avec ces deux bétons au sein de la Faculté afin d'acquérir de l'expérience dans la réalisation pratique dans le cadre du montage d'une entreprise de réalisation.

Le présent mémoire présentera à la fin une étude financière relative à la création de la start-up, une estimation qui s'étale sur cinq ans incluant les différentes charges (achats de matériaux, transport, achat de matériels, charges salariales...etc.)

Tous les essais d'identification des matériaux et de caractérisation des bétons ont été effectués conjointement au Laboratoire de recherche (LCTPE), au Laboratoire de GRANU-OUEST (GICA, unité de Mostaganem) et aux laboratoires pédagogiques du Département de Génie Civil.

Le présent mémoire est composé des chapitres suivants :

Le chapitre I « Le Béton drainant » sera constitué d'une introduction sur le béton drainant, sur les principaux composants de ce matériau et leurs particularités. Ensuite nous mettrons en revue ses propriétés, mais aussi ses applications et domaine d'utilisation dans le monde ainsi que ces avantages. Ce chapitre sera clôturé par une conclusion reprenant les principales informations.

Le chapitre II « Le béton désactivé » portera sur la définition, la composition, les différentes caractéristiques de ce béton ainsi les particularités de sa mise en œuvre.

Le chapitre III « Matériaux et Méthodes » sera consacré à la préparation de l'étude expérimentale, dans lequel nous allons définir les principales caractéristiques et identifications des différents matériaux utilisés dans la confection des deux bétons (graviers concassés et roulés, ciment, sables et eau). Il s'agit essentiellement des essais d'identification des sables (module de finesse, le pourcentage en fines, équivalent de sable, masse volumique absolue et apparente).

Les formulations des deux bétons seront présentées, ainsi que les principaux essais à réaliser aux états frais et durci afin de caractériser la qualité des bétons, comme l'ouvrabilité, la résistance à la compression, la porosité, et la perméabilité ouverte à l'eau.

Le chapitre (IV) « Résultats & discussion », présentera l'essentiel des résultats réalisés sur les deux bétons à l'état frais et à l'état durci.

Le chapitre (V) est dédié à l'étude financière estimative du projet, cela concernera la présentation d'un devis s'étalant jusqu'à cinq ans des charges relatives aux achats des matériaux, des matériels, de la masse salariale et charges annexes.

Enfin notre travail sera clôturé par une conclusion générale tout en synthétisant les principaux résultats trouvés et en suggérant des perspectives sur l'étude des deux bétons.

Chapitre I : Le béton drainant

1-Introduction :

Béton drainant ou béton caverneux est un béton de ciment à structure ouverte permettant l'infiltration de l'eau de pluie. Le nom de ce béton provient des vides qu'il contient et qui ressemblent à des cavernes. Ces vides ont une ouverture allant de 10 à 30 mm.

Le béton drainant allie performances mécaniques, hydrauliques et esthétiques. C'est un matériau pro-environnement. Il est aussi un béton hautement perméable qui possède jusqu'à 35 % de porosité, il permet à l'eau de s'écouler directement dans le sol, contrairement aux chaussées traditionnelles comme l'asphalte, le béton régulier et les pavés.

Il est aussi un matériau unique qui apporte des avantages indiscutables :

- Il s'agit d'un matériau respectueux de l'environnement, puisque l'eau continue de s'infiltrer dans le sol au lieu d'être rejetée ailleurs.
- Il est très résistant et supporte aussi bien les chocs que le gel, la pluie ou les fortes chaleurs
- Vous bénéficiez d'un large choix de couleurs et de finitions : le béton drainant est donc personnalisable jusqu'au choix du joint de dilatation que vous voulez installer et qui vous permet de décorer votre revêtement.
- En utilisant le béton drainant en zone urbaine, il favorise le développement durable en limitant les eaux de ruissellement. Il réduit, voire élimine, le besoin de bassins de rétention d'eaux pluviales, et donc minimise l'impact et le coût des infrastructures, sans compter la baisse des risques d'inondations.



Figure I-1 : échantillon d'un béton drainant.

2- Composition du béton drainant :

Le béton drainant est composé de ciment, de granulats grossiers mais de dépassant pas 8 mm de diamètre et de l'eau avec peu ou pas de granulats fins. L'addition d'une petite quantité de sable peut augmenter la résistance mécanique du béton. La pâte est en sous dosage par rapport au volume de vide du squelette granulaire, mais suffisante pour assurer l'adhésion des granulats entre eux.

Le béton drainant peut aussi être fabriqué à base de fibres polypropylène spécialement conçues. On y ajoute un adjuvant, et éventuellement un colorant, car il est en effet possible de colorer le béton drainant.

2-1 Ciment :

En général, le ciment portland satisfaisant les exigences de la norme ASTM C 150 est employé pour la fabrication du béton drainant. La quantité de ciment dépend généralement de la formulation, c'est à dire du volume de granulats utilisé, du rapport E/C et de la porosité effective visée. Des teneurs en ciment généralement utilisés sont de l'ordre de 250 à 400 kg/m³.



Figure I- 2 : Echantillon d'un ciment.

2-2-Granulats :

2.2.1 Gros granulats :

Les gros granulats doivent satisfaire aux exigences de la norme ASTM C 33 [ACI Commutée 211, 2002]. Comme pour le béton conventionnel, les propriétés mécaniques du béton drainant sont influencées par la granulométrie, la texture, le type et la teneur des granulats. Des granulats recyclés ont également été utilisés dans une étude menée l'Université de Waterloo. Les résultats ont montré que l'utilisation des granulats recyclés à un taux de

remplacement allant jusqu'à 15% permet d'obtenir des propriétés mécaniques comparables à celles d'un béton drainant réalisé avec des granulats utilisés pour une première fois.

2.2.2 Granulats fins :

Lorsque d'importantes performances mécaniques sont requises, une certaine quantité de sable peut être incorporée dans le béton drainant. Toutefois le sable utilisé doit satisfaire aux exigences de la norme ASTM C 33. Pour atteindre des résistances plus élevées, un volume de sable allant jusqu'à 7% du volume total des granulats grossiers peut améliorer considérablement la résistance mécanique. Cette amélioration peut atteindre jusqu'à 50% d'augmentation de la résistance à la compression sans affecter de façon considérable la conductivité hydraulique. Par ailleurs, un volume de sable allant jusqu'à 20% peut être utilisé pour formuler un béton drainant ayant une résistance à la compression à 28 jours de 50 MPa. La figure I-3 montre deux types de sables qui peuvent être utilisés dans la formulation des bétons drainants.



Figure 1-3 (a) : Echantillons des sables 0/1 et 0/3.



Figure 1.3 (b) : Echantillon d'un gravier 3/8.

2-3 Adjuvants :

Les adjuvants qui peuvent éventuellement être utilisés doivent satisfaire aux exigences de la norme ASTM C 494. Lorsque de faibles rapports E/C sont utilisés ($E/C < 0,30$), il est nécessaire d'employer un agent réducteur d'eau ou un super-plastifiant pour avoir une meilleure maniabilité et des propriétés mécaniques améliorées. D'autres adjuvants sont également utilisés, notamment les retardateurs de prise, les agents de viscosité et les agents entraîneurs d'airs. Les agents améliorant la viscosité sont souvent utilisés pour faciliter la mise en place du béton drainant. En effet, dans les cas où les mélanges ont des grands affaissements et qu'on désire obtenir une consistance appropriée afin d'éviter la séparation entre les granulats et la pâte de ciment, l'utilisation d'un agent colloïdale s'avère une solution adéquate.

Dans certains cas, les bétons drainants peuvent contenir d'autres éléments secondaires telles les additions, c'est le cas de la présente étude dans laquelle la fumée de silice sera utilisée pour la confection de ce type de béton.

2-3-1 Superplastifiant réducteur d'eau :

Le béton drainant peut être élaboré dans certains avec l'utilisation d'un superplastifiant réducteur d'eau cas. *L'utilisation d'un réducteur d'eau est choisi afin de garder l'aspect ferme du béton drainant.*

2-4 EAU :

La quantité d'eau est un facteur critique pour l'obtention d'un béton drainant de qualité acceptable. Une grande quantité d'eau conduirait à une pâte de ciment très liquide. Ceci se traduit par une grande mobilité de la pâte de ciment, ce qui causera l'obstruction des vides. Par

contre, une faible quantité d'eau aboutira à un matériau difficilement maniable et à de faible développement des résistances mécaniques. Le bon dosage de la quantité d'eau est important pour l'obtention d'un béton drainant de qualité acceptable. S'il y a excès d'eau, la pâte de ciment sera très liquide. Cet excès conduit à une grande mobilité de la pâte de ciment, ce qui entrainera l'absence des vides souhaités. Mais, une faible quantité d'eau donnera un matériau sans ouvrabilité et un matériau à faible développement des résistances mécaniques. D'où la quantité d'eau optimum s'obtient lorsqu'après avoir pressée le béton drainant entre les deux mains il se forme une boule stable et homogène.

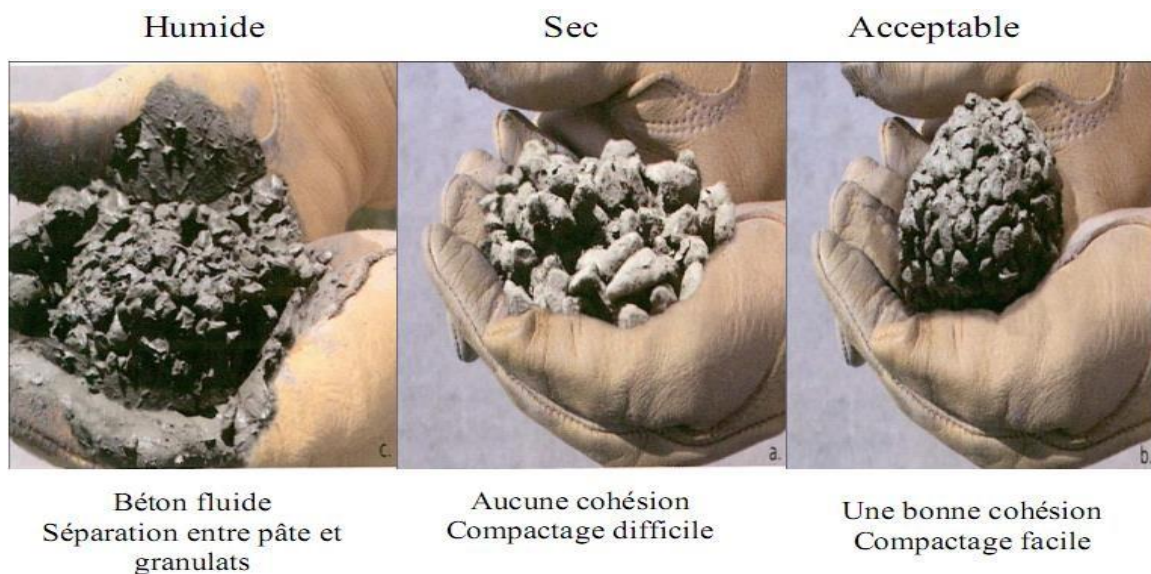


Figure I-4 : Méthode de la «boule» pour apprécier la cohésion du béton.

2-5-Fibres :

L'utilisation des fibres dans le béton drainant peut s'avérer importante lorsqu'on désire améliorer la résistance à la flexion. Il a été reporté que l'utilisation combinée des fibres avec la fumée de silice offre des meilleurs résultats. C'est le cas des bétons drainants à utiliser dans des pistes cyclables (engins de jardinage, engins d'arrosage ou engins d'entretiens).

3- Propriétés du béton drainant :

Les propriétés du béton drainant dépendent de sa formulation initiale, mais également de sa mise en place.

Les propriétés les plus importantes du béton drainant sont la conductivité hydraulique, la résistance à la compression et la durabilité face aux cycles de gel dégel. Ces propriétés sont

affectées par le volume de pâte, le rapport E/C ou E/L et le volume, le type et la taille des granulats. Pour assurer un bon fonctionnement du béton drainant, il est nécessaire d'établir un compromis entre ces différentes propriétés. Ces propriétés sont importantes dans le sens où toutes les trois réunies sont nécessaires à un fonctionnement durable d'un système en béton drainant.

3-1-Retraît au séchage :

Le séchage est très rapide dans le cas du béton drainant, ceci peut être dû aux faibles rapports E/C utilisés pour ce type de béton. Une large surface exposée (due à la forte porosité effective) occasionne une perte rapide de l'eau pendant le malaxage et la cure. Par contre, le béton drainant a un retrait deux fois inférieure à celui du béton conventionnel. Le retrait est fonction de la quantité de pâte utilisée ainsi que du rapport granulat/ciment (G/C).

3-2-Résistance à la compression :

La résistance à la compression du béton drainant est fortement reliée au volume de vides qu'il contient. Elle démontre la capacité d'un béton à résister aux sollicitations mécaniques et dans certains cas sa durabilité. La résistance à la compression du béton drainant varie généralement de 3 à 20 MPa. Ces faibles valeurs de résistance à la compression (comparativement à un béton conventionnel) font que son utilisation est limitée pour les applications ne requérant pas de grandes sollicitations telles que : les aires de stationnement, les chaussées à faible trafic et terrain de tennis. La résistance à la compression du béton drainant est influencée par plusieurs paramètres dont les plus importantes sont la quantité et la qualité de pâte, le volume de granulat et la porosité effective.

3-3 Résistance au cycle gel/dégel :

Les cycles de gel-dégel sont des sollicitations d'une grande intensité pour les infrastructures en béton. La transformation d'eau en glace s'accompagne toujours d'une augmentation de volume de 9%, et si cet excès ne trouve pas d'espace vide, il provoque la fissuration de la matrice cimentaire. Ceci causera, par la suite, la détérioration du béton. Des études récentes montrent qu'un béton drainant peut résister jusqu'à 100 et 300 cycles de gel-dégel réalisés selon la norme ASTM C 666. En considérant l'essai ASTM C 666, le béton drainant affiche une faible durabilité face aux cycles de gel dégel.

3-4 Masse Volumique :

La masse volumique va dépendre de plusieurs facteurs : les caractéristiques des granulats (teneur en vide et la granulométrie), la teneur en liant, le rapport eau/liants et la méthode de compaction. La masse volumique va grandement dépendre de l'énergie de compaction lors de la mise en place.

3-5 Rhéologie et Pompabilité :

L'affaissement ne devrait pas être spécifié comme critère d'acceptation en chantier. Le béton drainant est considéré comme un béton à affaissement nul. Il est impossible de pomper ce type de béton.

3-6 Porosité et perméabilité (taux de percolation) :

La perméabilité ou le taux de percolation du béton drainant est la vitesse à laquelle l'eau peut s'écouler à travers le revêtement en place et en fonction des vides interconnectés du matériau. La porosité minimale pour obtenir un taux de percolation acceptable est de 15%. La vitesse de percolation augmente de façon très importante avec la teneur en vide du béton. Le principal défi réside à trouver l'équilibre entre un taux de percolation acceptable et une résistance à la compression suffisante.

3-7 Autres propriétés du béton drainant :

a- Propriétés à l'état frais :

- Affaissement (0mm-40mm)
- Masse volumique : 70% béton conventionnel
- Temps de mise en place : 60-90 min

b- Propriétés à l'état durci :

- Densité : (1600-2000kg/m³)
- Perméabilité : (145 l/m²/min-400l/m²/min)
- Contrainte de compression (4MPa – 30MPa)

4- Caractéristiques du béton drainant :

Le béton poreux se distingue nettement des bétons courants par ses caractéristiques :

- Il constitue un revêtement de référence dont la performance et l'efficacité demeurent indéniables.
- disponible en plusieurs coloris avec de nombreux choix de granulats.
- Il représente un matériau solide et perméable que vous pouvez utiliser assez rapidement après une ondée.
- Il assure un drainage aisé des eaux après les grandes pluies. Vous n'observez donc plus les flasques d'eau.
- Il se révèle également antidérapant. Cela vous met à l'abri d'éventuelles glissades et des risques de chute.
- Il se démarque une forte résistance et vous l'utilisez pendant de nombreuses années sans risque de dégradation.
- Il procure une agréable sensation au toucher, notamment lorsque vous l'installez aux alentours de votre piscine.
- Totalement inodore, ce type de revêtement ne crée aucun désagrément nasal ou psychique.
- Sa conception empêche qu'il s'accrole à vos pieds et aux pneus des voitures. Enfin, le béton poreux s'entretient aisément et de façon sporadique.

5- l'utilisation du béton drainant :

Le béton drainant est un matériau qui peut être posé aussi bien :

- Dans les allées d'un jardin ;
- Autour de votre maison ;
- Pour votre plage de piscine ;
- Pour construire votre terrasse ;
- Mais qui sert aussi parfois à construire des parkings ou des trottoirs.

Il s'agit d'un matériau qui présente une grande solidité, une résistance à tout épreuve et surtout, il s'agit d'un matériau très poreux qui présente une perméabilité incomparable. Notez que le béton drainant peut être coloré, ce qui vous permet de l'adapter à vos goûts et au style de votre jardin.



Figure I-5 : Autour d'une maison en béton drainant.



Figure 1-6 : Parking en béton drainant.

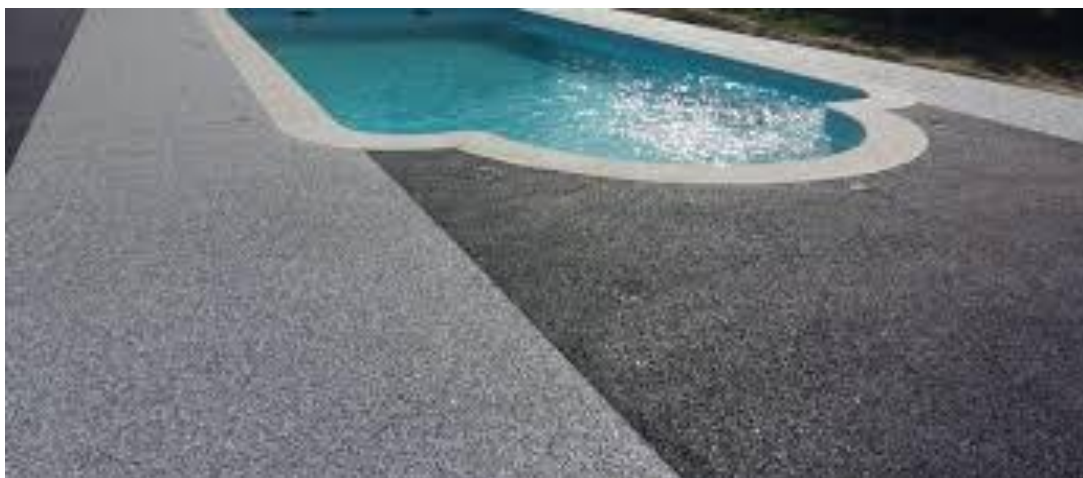


Figure I-7 : Autour d'une piscine en béton drainant.



Figure 1-8 : stade de tennis en béton drainant.

6- Les principales limitations du béton drainant sont :

Dans le cas de fuite de substances nocives pour l'environnement, ils peuvent le traverser et atteindre le sol. Aussi, les pores peuvent être bouchées par de l'argile ou par d'autres matières.

Les performances mécaniques sont généralement plus faibles que ceux d'un béton normal.

7- Les Avantages du béton drainant :

7-1- Avantages environnementaux :

Par sa propriété de grande porosité, le béton drainant présente quelques avantages environnementaux tels que : Réduction du ruissellement - Nettoyage de l'eau de pluie - Rechargement de la nappe- Protection des cours d'eau et des lacs - Permet à l'oxygène et à l'eau d'atteindre les racines des arbres.

7-2-Avantages pour la sécurité :

D'autres avantages relatifs à la sécurité des véhicules et de passants, dont : Élimination des flaques d'eau durant les fortes pluies - Élimination des reflets du pavage humide - Réduction des risques d'aquaplanage et de glissement - Le béton plus pâle offre une surface plus sécuritaire et mieux éclairée la nuit.

8-Fabrication du béton drainant :

Il existe plusieurs moyens qui sont utilisés dans le processus de fabrication de ce matériau parmi lesquels la méthode industrielle et la méthode traditionnelle.

8-1 La fabrication en industrie :

Elle consiste à réaliser le mélange dans une centrale en respectant scrupuleusement les règles de fabrication.

Le mélange est ensuite transporté au lieu d'application à l'aide d'un camion-malaxeur. Il est important lorsque l'on choisit cette méthode de préparer la surface pour recevoir le produit.

Ce dernier ne devra plus être malaxé ni même recevoir de l'eau au risque de perdre sa porosité. Il est recommandé ici de faire appel à une centrale fonctionnant à proximité du terrain pour tenir dans les délais de mise en œuvre du béton. La même raison déconseille l'exécution de la tâche les jours de grande chaleur.

8-2 La méthode traditionnelle :

Le mélange est réalisé in situ à l'aide de plusieurs bétonnières.

Elle permet à ces dernières de fonctionner de manière individuelle sans dépendre l'une de l'autre.

Pour obtenir un matériau de même qualité que celui provenant des centrales, il est important de respecter les mêmes formulations depuis le début de la procédure jusqu'à sa fin.

La méthode traditionnelle est généralement utilisée pour effectuer les travaux en plusieurs étapes.

9- Les étapes de mise en place d'un béton poreux :

Pour mettre en œuvre le béton drainant perméable, il est important de connaître les différentes étapes à franchir.

9-1 La préparation du sol :

Cette procédure est importante pour prolonger la durée de vie du béton. Il est alors nécessaire de réserver l'espace pour recevoir le matériau ; le sol sera décapé au besoin sur une épaisseur de 15 à 20 cm.

Après la préparation du sol, une sous-couche de cailloux compactés sera mise en place pour permettre l'écoulement des eaux infiltrées.

9-2 La mise en place des joints de dilatation :

Elle est indispensable dans la structure pour éviter l'apparition des fissures. Réalisés en PVC ou en pavés, les joints seront posés tous les 5 mètres linéaires ou à chaque 20 m².

9-3 La pose du béton proprement dite :

Qu'il soit préparé à la centrale ou avec une bétonnière, le béton sera posé à l'aide de patins de carreleur.

Lorsqu'il est étalé, il faudra se servir de raquettes chaussées aux pieds pour le claquer et conserver ainsi sa perméabilité.

Une fois réalisée, la chape en béton drainant coloré, il est conseillé de vaporiser un film protecteur sur la surface afin de conserver sa couleur et la protéger des intempéries. La dalle devra aussi sécher durant quelques heures avant le passage des piétons, et une semaine pour la circulation des véhicules.

10- Mise en place :

10-1- Préparation du sol :

Pour sa mise en place, il est nécessaire de procéder à la préparation préalable du sol, à titre indicatif, la figure ci-dessous montre la préparation du sol à l'aide de graviers entreposés en couche régulière.



Figure I-9 : préparation du sol.

10-2- Installation d'un joint de dilatation :

L'installation d'un joint de dilatation va permettre de séparer le béton : cette étape est incontournable pour que le sol reste stable et que le béton ne se fissure pas une fois réalisé.



Figure I- 10 : pose du joint de dilatation.

10-3Étalage du béton drainant :

L'étalage du béton est une étape longue puisque elle à consiste à transporter une quantité de béton avant d'étaler, d'égaliser puis de claquer. Durant cette étape, le béton drainant ressemble à de la terre et reste encore humide, un râteau sera utilisé sans oublier aucune zone.



Figure I-11 : étalage du béton drainant.

10-4-Fin de chantier :

Laisser sécher quelques heures s'il s'agit d'une allée de jardin ou d'une piscine sur laquelle les piétons circulent. Pour une zone cyclable ou destinée à la circulation de voiture (tel un garage), le temps d'attente de séchage du béton drainant est d'une semaine.

Pour de petites zones, le damage se fait manuellement (figure I-12). Pour des surfaces importantes, des engins de compactage seront utilisés.



Figure I-12 : Damage du béton drainant.

11- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons défini le béton drainant et cité ses composants. Les caractéristiques, puis on a cité ses avantages ainsi que les domaines de son utilisation, les différentes étapes de pose du béton drainant ont aussi été citées.

Le béton drainant a souvent été associé à un béton d'esthétique, alors qu'il été souligné dans cette bibliographie qu'il peut avoir des résistances dépassant parfois les 20 MPa, ce qui lui confère le caractère de béton résistant en plus de sa porosité.

Pour conclure on peut dire que ce béton esthétique et hautement perméable, aussi poreux constitue une solution idéale pour les surfaces horizontales extérieures. Adapté pour la réalisation d'une allée ou d'une terrasse en béton, son emploi est recommandé aux abords des maisons situées dans des régions à fortes précipitations. Antidérapant, il est couramment utilisé autour des piscines où sa porosité permet de limiter les risques de chutes et d'accidents, l'eau s'écoulant directement dans le sol.

Le béton drainant peut être élaboré par ajout de superplastifiant réducteur d'eau et d'une addition minérale, en plus des composants conventionnels.

Chapitre II : Le béton désactivé

1- Introduction :

Le béton désactivé est un béton récent et peu connu, ce qui explique la rareté de références à son sujet.

Actuellement, il existe de multiples techniques et matériaux pour construire des pavements de toutes sortes à l'extérieur des maisons particulières ainsi que sur les sols d'usage public tels que les trottoirs, les parcs et les jardins. Parmi toutes les options qu'offre un marché en constante évolution et innovation, le béton désactivé est très demandé pour son esthétique attrayante, sa haute résistance et durabilité face aux conditions les plus abruptes et, bien sûr, pour un coût abordable et économique par rapport à d'autres options.

Le béton lavé ou béton granulat visible, comme on l'appelle aussi, est l'une des méthodes les plus simples et efficaces pour créer des pavements in situ dont l'apparence ressemble énormément à celle du gravier. Une rugosité qui offre de nombreuses vertus, parmi lesquelles se trouve la texture antidérapante qu'elle confère.

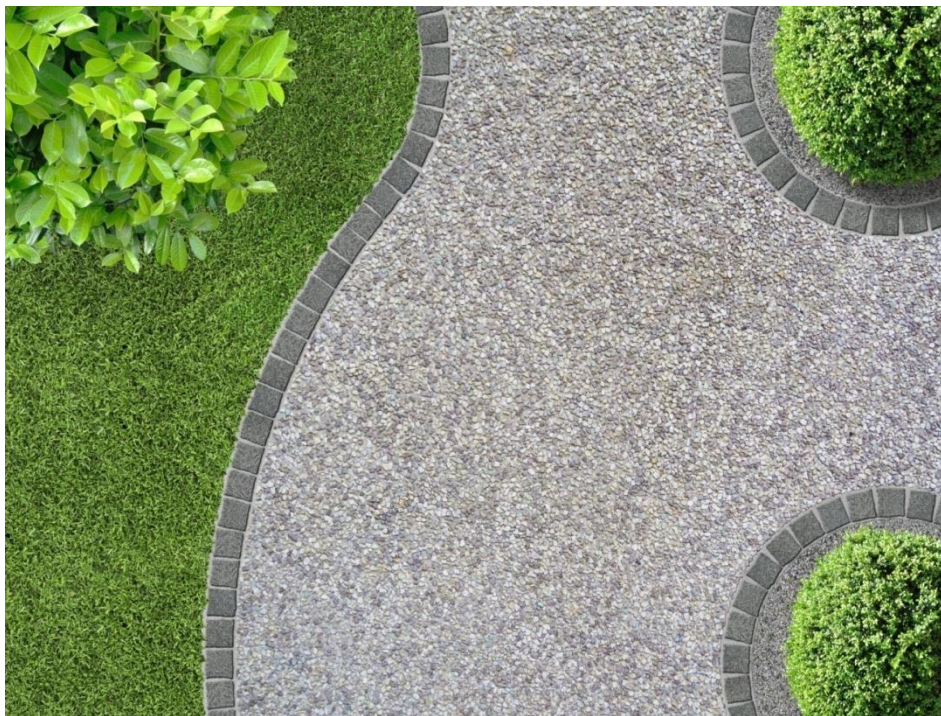


Figure II-.1 : Zone piétonnière dans un jardin avec le béton désactivé.

2-Définitions :

- **Le béton désactivé** est un type de béton caractérisé par le fait qu'il s'agit d'une dalle dans laquelle les granulats sont partiellement exposés après avoir été

soumis à un traitement spécial. De cette manière, les granulats du béton dépassent de la surface perceptible au premier regard.

- **Le béton désactivé** est un béton dont la finition durcie laisse les granulats exposés à sa surface, obtenant ainsi un aspect esthétique agréable.
- Il donne un aspect gravillonné. C'est un ouvrage de maçonnerie utilisé dans un jardin pour constituer des allées, des terrasses ou pour délimiter des zones particulières.

3- Compositions du béton désactivé :

La composition d'un béton désactivé est la même que celle du béton normal, le ciment, l'eau et les granules de pierre (sables et graviers) composent le béton à granulats apparents qui, selon le type de pierre et la couleur choisie dans sa formulation, offrira un type de finition décorative ou un autre. Cette rugosité que procure la pierre est ce qui déclenche sa texture antidérapante et sa haute résistance à l'action des agents extérieurs et aux conditions météorologiques.

Grâce à l'utilisation d'un retardateur de prise du béton appelé **désactivateur** ou **désactivant**. C'est pourquoi il est également connu sous les noms de béton lavé ou de granulats apparents. Ces noms font référence au fait que le béton est laissé à nu.

3-1 Le désactivant ou désactivateur :

Le **désactivateur** est le composé de nettoyage et le revêtement d'entretien original chimiquement actif pour les équipements en béton. Lorsqu'il est appliqué avant chaque utilisation, le **désactivateur** réagit chimiquement avec les alcalis du béton. Le **désactivant** empêche l'hydratation du ciment.



Figure II-2 : le désactivant (un produit de SIKaCeM).

4- Avantages et propriétés les plus remarquables du béton désactivé :

Sa résistance mécanique et chimique supérieure fait du béton lavé une solution parfaite pour tout emplacement géographique, car il tolère les changements brusques de température, le vent, la pluie, le soleil, le trafic piétonnier et routier. Pour cette raison, les sols avec cette finition sont idéaux pour les endroits qui souffrent d'une humidité élevée, des cycles froid-chaud et des chutes de neige.

4-1 Les principaux avantages :

- **Il s'exécute rapidement** sans à peine de disposition d'équipements. En 24 heures, il finit de sécher, donc il peut être apprécié dans une période de temps potentiellement courte. Une application très simple qui se traduit par une économie de temps et de main-d'œuvre.
- **L'exposition au soleil ne l'affecte pas et ne la dégrade pas.** Le béton désactivé est un revêtement antidérapant.
- **Son apparence granuleuse le rend unique**, aucun autre type de béton ne peut recréer une telle esthétique.
- Au béton à granulats apparents **on applique un désactivateur qui retarde la prise du béton** et qui permet l'apparition des granulats en surface.
- C'est une **finition décorative très polyvalente** qui s'adapte parfaitement à tout environnement. Cela est dû aux différentes pierres et couleurs disponibles, qui permettent d'adapter ce matériel à tout environnement.

- **Exempt de toxiques.** Le produit chimique ajouté pour faire ressortir les agrégats du béton lavé n'a pas d'effets néfastes ni sur les personnes ni sur l'environnement.
- C'est un **sol à longue durée de vie.** La rugosité de sa finition et sa résistance intrinsèque, supérieure à celle du béton conventionnel, permettent à ce matériau de bénéficier d'un état impeccable pendant des années. Une finition de qualité intacte pendant longtemps.
- Le béton désactivé a une **haute résistance.** Des performances mécaniques et chimiques qui sont données par sa rugosité et sa porosité et qui le rendent intouchable face aux rayons du soleil, à la pluie, au trafic piétonnier et routier ainsi qu'aux agents chimiques.
- **Facile et peu d'entretien.** Contrairement à d'autres types comme le poli, le béton d'agrégat visible ne nécessite pas un processus d'entretien constant.

5- Mise en œuvre du béton désactivé :

Bien que les composants soient similaires à ceux des bétons conventionnels, la méthode d'application est assez différente. Cela est dû au fait que pour faire du béton désactivé **il faut utiliser un désactivant ou désactivateur** sur le béton frais. Un produit **dont la fonction est de ralentir la prise du béton.**

Ensuite, un processus de lavage serait effectué sur le pavage afin que les pierres arides sélectionnées soient clairement visibles sur la surface. En conséquence, nous obtiendrions une finition exclusive aux propriétés ornementales et antidérapantes très appréciées. Élégance et résistance à chaque pas. Nous expliquons comment réaliser ce pavage étape par étape.

5-1 Préparation du sol :

- *Niveler et compacter le pavage*

Il est essentiel de garantir que le terrain est en bon état. Pour cela, la première chose à faire est de s'assurer qu'il est bien nivelé et compacté avant de verser le béton. Ensuite, il faudra procéder à la replantation du terrain, ce qui permettra de vérifier si les niveaux sont corrects pour éviter de futurs défauts.

- *Délimiter la surface de travail*

Marquer très bien les limites de la surface qui couvrira la surface du futur pavé en béton désactivé. Cette étape est super importante car le béton liquide lorsqu'il n'est pas encore

sec est très malléable. Si la surface n'est pas délimitée lors de la coulée du béton, des déversements indésirables pourraient se produire, ce qui signifierait une méthode d'installation ratée.



Figure II-3 : préparation du sol.

5-2 Coulage du béton :

- *Verser le béton sur la surface*

Étendre le béton de manière uniforme et homogène sur toute la surface. Pour ce faire, on utilise un outil appelé "règle" qui facilite le bon nivellement du béton sur tout le périmètre. C'est-à-dire, il est lissé manuellement.

Important : le type et la quantité de ciment inclus dans la formulation du béton auront un impact proportionnel sur le durcissement de ce dernier.

Conseil professionnel : nous recommandons d'appliquer des fibres synthétiques monofilament pour aider à la cohésion du béton. Les fibres faciliteront l'application ultérieure du désactivateur de béton.

- *Lissage du béton*

Ensuite, ce serait le tour de réaliser le lissage du béton à l'aide d'une lisseuse ou d'un hélico père. Cette étape contribuera à la rugosité finale et à la texture antidérapante du pavage.



Figure II-4 : coulage du béton.

5-3 Finitions :

- *Appliquer un désactivant de béton*

Pour ralentir le processus de prise du matériau, il faut appliquer un désactivateur de surface positif environ 30 minutes après avoir versé le béton. Alors que la couche externe sèche lentement, le reste des couches poursuit le processus habituel. Ainsi, la couche externe finit par s'éroder et rendre visibles les agrégats qui donnent leur nom au béton agrégat visible. Il est très important de suivre les indications en matière de proportions que chaque fabricant spécifie dans les fiches techniques.



Figure II-5 : Finition, apparition des granulats.

6- Conclusion :

Le béton désactivé fait partie de la famille des bétons décoratifs. Ils sont particulièrement utilisés pour les revêtements en extérieur, par exemple pour décorer les piscines, les allées de jardin ou les terrasses. Bien qu'il soit décoratif, sa formulation est soumise aux mêmes conditions que les bétons ordinaires.

Chapitre III : Matériaux et Méthodes

I- Bétons drainants

I-1 Introduction :

Le béton drainant est un matériau qui se compose de ciment, de graviers, de sable, d'eau.

Pour obtenir un bon béton qui répond aux exigences demandées, il est préférable que ses constituants soient convenables aux normes.

Dans ce chapitre sera présentée une étude détaillée des matériaux utilisés dans la confection des bétons ainsi que les différentes méthodes d'essais adoptées. Les caractéristiques des différents matériaux utilisés seront caractérisés et cela, à travers la réalisation de plusieurs essais d'identification.

I- 2 Matériaux :

a- Le ciment :

Le ciment utilisé dans notre étude est un Ciment Portland Composé (**CPJ CEM II 42.5**) de provenance de la cimenterie de ZAHANA.



Figure III- 1 : Echantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5).

- *Caractéristiques du ciment :*

Les caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé sont présentées dans le tableau I-1. Ces caractéristiques sont fournies par le laboratoire de GRANU-OUEST, GICA unité de Mostaganem.

Tableau III-1 : Paramètres physico-mécaniques du ciment.

Paramètres physico-mécaniques	Résultats			Norme NA 442
	Mini	Maxi	Moy	
S S Blaine Cm ² /g	3464	4035	3702	-
Consistance (%)	25.60	27.00	26.01	-
Début de prise (mn)	148	185	165	≥60mn
Compression 02 jours (MPa)	19.62	23.54	21.32	≥10
Compression 07 jours (MPa)	35.34	41.61	38.06	-
Compression 28 jours (MPa)	42.75	49.93	45.62	≥42.5
Flexion 0é jours (MPa)	3.96	4.71	4.31	-
Flexion 0é jours (MPa)	5.37	6.27	5.91	-
Flexion 0é jours (MPa)	6.12	7.05	6.56	-
Expansion à chaud sur pate (mm)	0.38	5.00	1.72	≤10

Les caractéristiques chimiques du ciment utilisé sont données dans le tableau suivant.

Tableau III- 2 : Paramètres chimiques du ciment.

Paramètres chimiques	Résultats			Norme NA 442
	Mini	Maxi	Moy	
Perte au feu (%)	6.20	8.98	7.73	-
CaO libre(%)	0.35	1.40	0.67	-
SiO ₂ (%)	17.04	20.14	18.00	-
Al ₂ O ₃ (%)	4.01	4.90	4.32	-
Fe ₂ O ₃ (%)	2.79	3.26	3.15	-
CaO(%)	62.10	64.14	63.06	-
MgO(%)	0.81	0.94	0.84	≤5
SO ₃ (%)	1.72	2.94	2.15	≤4
Cl ⁻ (%)			<0.01	≤0.1
Insolubles (%)	-		0.79	-

b- Le sable :

Un seul type de sable a été utilisé. C'est le sable concassé (0/3mm) de provenance de la carrière OZMERT, commune de FROUHA, Wilaya de MASCARA.



Figure III- 2 : Echantillon de sable carrière sidi abdeli-Sidi Bel ABBES 0/3.

Dans ce qui suit, quelques résultats des essais de caractérisation de ce sable seront présentés.

- *Equivalent de sable : (P18-598)*

L'équivalent de sable est donné par la formule suivante : $E_s = 100 \frac{h_2}{h_1}$

L'équivalent de sable visuel est, dans les mêmes conditions, donné par la formule :

$$E_{sv} = 100 \frac{h'_2}{h_1}$$



Figure III- 3 : Eprouvettes de l'essai de l'équivalent de sable.

Les résultats de ces essais sont présentés dans le tableau suivant

Tableau III- 3 : Essai d'équivalent de sable 0/3.

	Eprouvette 1	Eprouvette 2
h₁	10,5	10,2
h₂	7,85	7,55
h'₂	7,85	7,55
E.S.V	74,76	74,02
E.S	74,76	74,02
Moyenne Es(%)=74,39		

Le sable présente d'équivalents de sable vérifiant $70\% \leq Es < 80\%$: On conclue que notre sable est propre et présente faible proportion de fines argileuses et par suite notre essai est concluant.

- **Essai au Bleu de méthylène :(EN933-9)**

L'essai de l'équivalent de sable permet de détecter la présence de fines argileuse dans les sables, qui sont prohibées dans les sables destinés à la confection des bétons.



Figure III- 4 : Appareillages utilisés pour l'essai du bleu de méthylène.

Les résultats des essais au bleu de méthylène sont présentés dans le tableau 4 ci-dessous.

Tableau III- 4 : Essai au bleu de méthylène de sable 0/3.

Masse sèche de la prise d'essai de la fraction granulométrique 0/3 mm (au gramme près) M1	M1=200g
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, V1	V1=9ml
Valeur MB, exprimée en gramme de colorant par kg de grains de fraction 0/3 mm	MB=0.15%

Moins la valeur du bleu est élevée, plus le sable est propre. La valeur trouvée (**MB=0,15%**) étant faible, on conclue que le sable est propre.

- *Analyse granulométrique par tamisage : (NF EN 933-1)*

Les résultats des essais de l'analyse granulométrique effectuée sur le sable sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : Analyse Granulométrique Sable 0/3.

1000			
Tamis en mm	Masse de refus cumulé (g)	% de Refus cumulé	% de Passants cumulés
0,063	912	91,2	8,8
0,125	894	89,4	10,6
0,25	713	71,3	28,7
0,315	558	55,8	44,2
0,5	441	44,1	55,9
0,63	413	41,3	58,7
1	349	34,9	65,1
1,25	315	31,5	68,5
2	201	20,1	79,9
2,5	145	14,5	85,5
3,15	68	6,8	93,2
4	10	1,0	99,0
5	0	0,0	100,0
Taux de fines =	8,8%	Mf =	2,61

Le taux de fines de 8,8% est acceptable et conforme à la norme algérienne NA 442.

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenue du tableau sont représentés dans la courbe suivante :

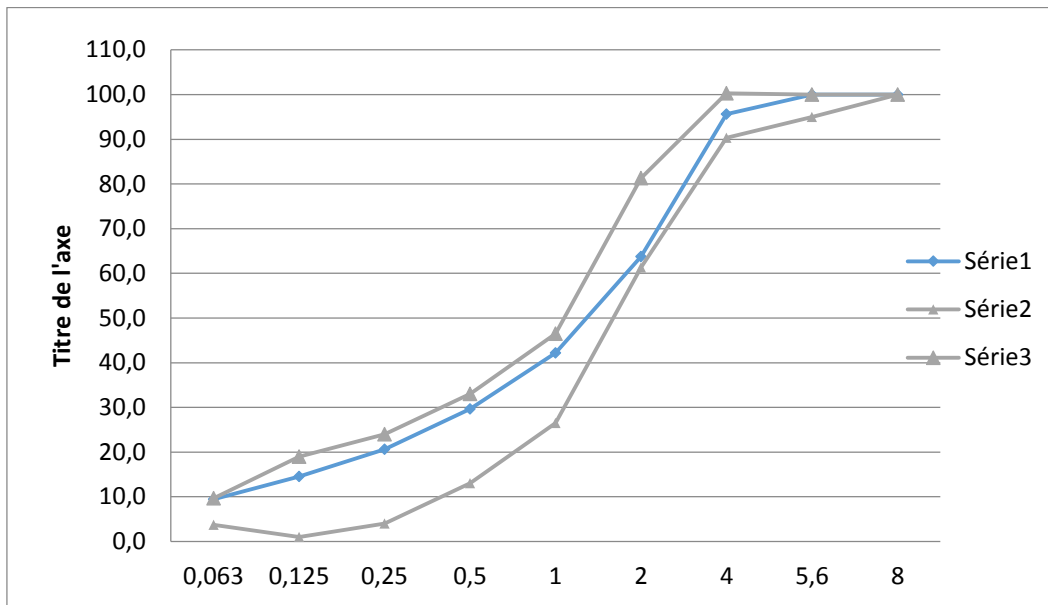


Figure III- 5 : Courbes Granulométrique du sable 0/3.

Au vue de l'allure de l'allure de la courbe, aucune correction n'est nécessaire sur ce sable.

c- Gravier :

- *Analyse granulométrique par tamisage : (NF EN 933-1)*

Le seul gravier utilisé pour la confection des bétons drainants est un gravier 3/8 mm. L'analyse granulométrique du gravier 3/8 a été effectuée de la même façon en suivant les mêmes étapes citées précédemment pour le sable.

À la fin de notre essai nous avons obtenu les résultats suivants :

Tableau III- 6 : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

658			
Tamis en mm	Masse des refuts Ri cumulés (g)	% Refus cumulés	% Passants cumulés
F de tamis	1033	157,0	-57,0
0,063	650	98,8	1,2
1	649	98,6	1,4
1,25	649	98,6	1,4
2,5	638	97,0	3,0
3,15	582	88,4	11,6
4	454	69,0	31,0
5	296	45,0	55,0
6,3	116	17,6	82,4
8	0	0,0	100,0
10	0	0,0	100,0
Teneur de fines (%)		1,2	

Les résultats obtenus du tableau III- 6 nous ont permis de tracer la courbe granulométrique du gravier 3/8.

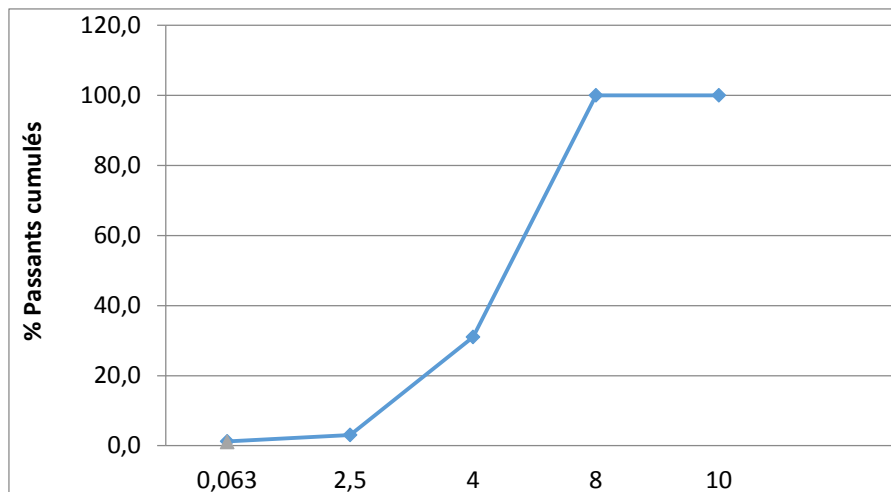


Figure III- 6 : Courbe granulométrique du gravier 3/8.

Au vue de l'allure de l'allure de la courbe, aucune correction n'est nécessaire sur ce gravier.

d- Eau :

L'eau utilisée pour la confection des éprouvettes est une eau potable du robinet propre et exempte d'impuretés.

- **Masses volumiques :(NF P18-555)**

La masse volumique d'une substance, aussi appelée densité volumique de masse, est une grandeur physique qui caractérise la masse de cette substance par unité de volume.

Les masses volumiques apparentes et absolues des granulats sont calculés d'après la norme française (NF P18-555).

a- Masse volumique apparente (MVa) :

C'est la masse de l'unité de **volume** apparent du corps, c'est-à-dire du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

b- La masse volumique absolue ou réelle (MVr) :

C'est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir en compte les vides pouvant exister dans ou entre les grains.



Figure III- 7 : Essai de la masse volumique apparente.

Les résultats obtenus des essais de mesure de ces masses volumiques sont donnés dans le tableau III-7 ci-dessous.

Tableau III-7 : Masse volumique absolue et apparente des granulats.

Type des granulats	Sable 0/3	Gravier 3/8
MVa (Kg/m ³) (apparente)	1.44	1.38
MVr (Kg/m ³) (absolue)	2.48	2.60

c- Masse volumique du ciment :

La **masse volumique absolue** du ciment varie entre **2,8 à 3,2** tonnes par mètre cube.

La masse volumique absolue (encore appelée masse spécifique) d'un matériau étant le rapport entre la masse du matériau et le volume de matière pleine sans aucun vide entre et dans les grains (volume absolu de la matière).

$$M_1 = P\acute{e}chno + B\grave{e}nzene = 143 g$$

$$M_2 = Ciment = 25g$$

$$M_3 = Ciment + P\acute{e}chno + B\grave{e}nzene = 161.02 g$$

$$M_B = M_1 + M_2 - M_3 = 7.08g$$

$$V_B = \frac{M_B}{\delta_B} = \frac{7.08}{0.87} = 8.14$$

$$\delta_C = \frac{25}{8.14} = 3.07$$

La masse volumique du ciment est donc : 3070 Kg/m³

I- 3 Formulation du béton drainant :

Afin d'obtenir un bon béton en fonction des qualités souhaitées, nous devons passer par plusieurs étapes et cela a partir des caractérisations des matériaux jusqu'à la formulation.

Les performances requises pour un béton impliquent :

- L'ouvrabilité du béton, généralement défini par l'affaissement au cône d'Abrams.
- La résistance du béton, le plus souvent à 28 jours.
- La durabilité qui conduit à imposer un dosage minimum en ciment et en rapport E/C maximum.

Pour notre cas nous sommes basés sur une formule proposée et étudiée par le groupe « GICA ». Nous avons vérifié cette composition par élaboration de béton drainant, le tableau suivant présente les différentes quantités des différents composants pour un mètre cube de béton :

Tableau III- 8 : Composition du béton drainant adoptée (pour 1 m³ de béton).

Composants	Dosage
Sable 0/3	100 Kg
Gravier 3/8	1600 Kg
Ciment	250 Kg
Eau	110 L
E/C	0,44



Figure III- 8 : Réalisation du béton drainant.

I- 4 Essais sur le béton frais :

- *Essai au cône d'Abrams :*

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en oeuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas les 40mm.

a- Principe de l'essai :

Cet essai, consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tonique d'un béton frais.

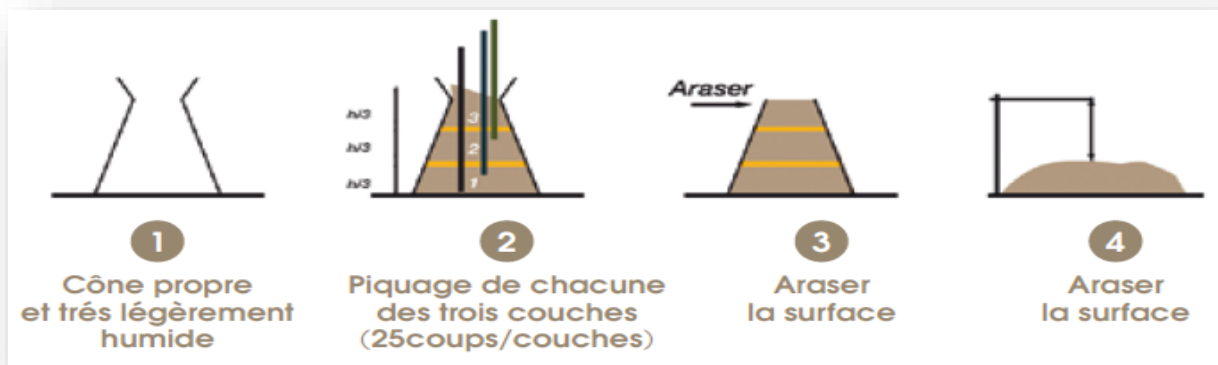


Figure III- 9 : Mode opératoire de l'essai.

Le tableau suivant présente les différentes classes de consistances d'un béton.

Tableau III.9 : Consistance du béton à partir de l'affaissement.

NFP 18-305 et fascicule 65A CCTG		
Consistance	Affaissement (cm)	Tolérance
Ferme (F)	0 à 4	±1cm
Plastique (P)	5 à 9	±2cm
Très Plastique (TP)	10 à 15	±3cm
Fluide (F)	≥ 16	

- *Essai teneur en air :(NF EN 12350-7)*

On égalise un volume d'air connu à une pression connue dans une enceinte hermétique avec le volume d'air inconnu de l'échantillon de béton. Le cadran du manomètre est étalonné en % d'air correspondant à la pression résultante.

a- Principe de l'essai :

Le principe de l'essai est de déterminer le pourcentage d'air dans un béton frais à l'aide d'un manomètre.



Figure III- 10 : Mode opératoire de l'essai.

- **Essai Vébé : (Norme ISO 4110)**

L'essai Vébé est un essai réalisé sur le béton frais généralement d'affaissement nul ou ferme. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas les 40mm.

a- Principe de l'essai :

Dans cet essai, la consistance est définie par le temps que met un cône de béton à remplir un volume connu sous l'effet d'une vibration donnée. Plus ce temps est court et plus le béton sera considéré comme fluide.

b- Equipement nécessaires :

- ✓ un récipient cylindrique de 24 cm de diamètre et de 20 cm de hauteur.
- ✓ un cône d'Abrams.
- ✓ un disque horizontal transparent de 23 cm de diamètre.
- ✓ une table vibrante équipée d'un vibreur fonctionnant à la fréquence de 3000 vibrations par minute.

✓ une tige de piquage.



Figure III- 11 : Matériel pour l'essai Vébé.

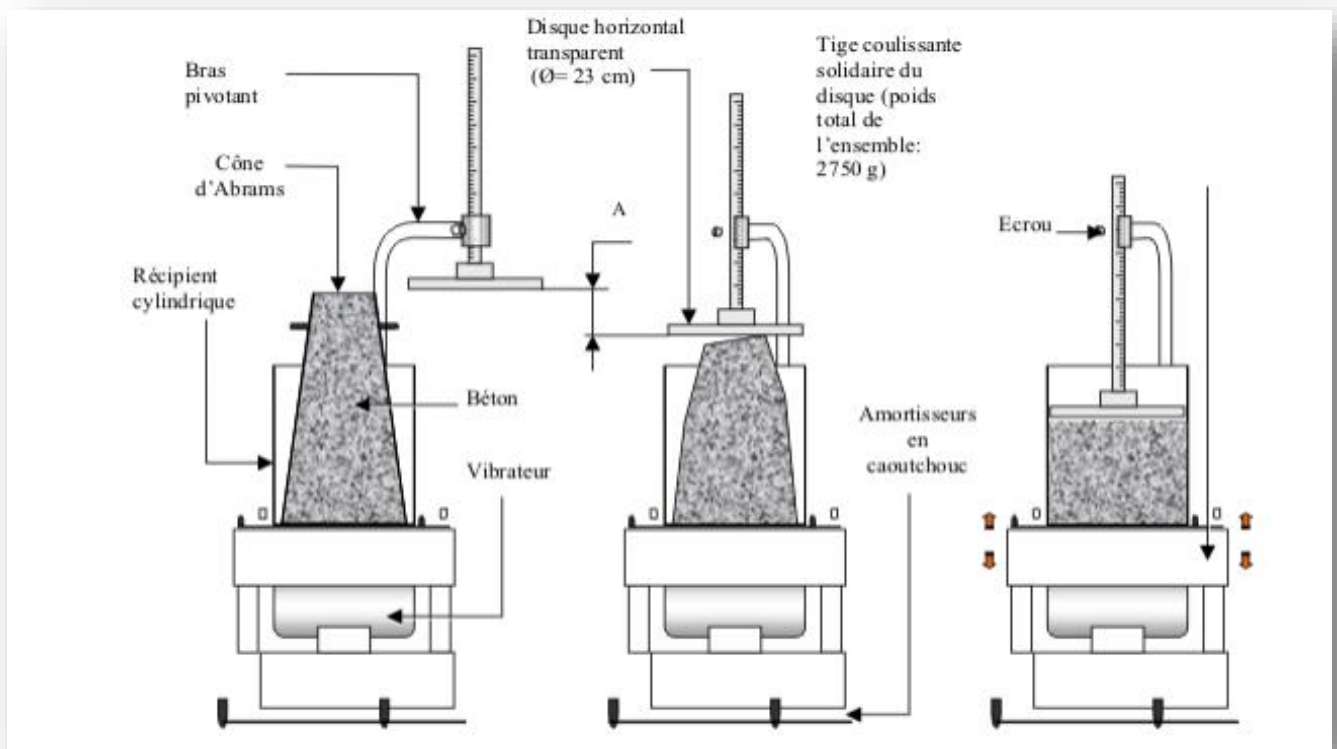


Figure III- 12 : Schéma du mode opératoire de l'essai.



Figure III- 13 : Mise en place du béton dans le cône d'Abrams.



Figure III- 14 : Soulèvement du cône et mesure de l'affaissement A.



Figure III- 15 : Mise en route du vibreur et déclenchement simultané du chronomètre.

I- 5 Essai sur le béton durci :

- **Essai de porosité : (NF P18-459)**

La porosité représente le pourcentage de vides communicant entre eux et avec l'extérieur. Elle est mesurée sur une série de 3 éprouvettes 16 x32cm² après 24h minimum de durcissement du béton.

a-Conduite de l'essai :

- ✓ Conserver l'éprouvette dans le moule carton pour effectuer l'essai.

- ✓ Placer l'échantillon sur la balance, tarer et verser de l'eau dessus jusqu'à ce que le niveau de l'eau atteigne la surface supérieure de l'échantillon.
- ✓ Tapoter légèrement sur le côté de l'éprouvette pour faire remonter les bulles d'air.
- ✓ Compléter de nouveau avec de l'eau.
- ✓ Noter la masse d'eau introduite (M).
- ✓ Démouler l'éprouvette, relever ses dimensions (diamètre, hauteur) et calculer son volume (V).
- ✓ Calculer la porosité ouverte : $P\% = 100 \times (M / V)$.



Figure III- 16 : Essai de porosité.

- **Essai de perméabilité : (NF EN 12697-19)**

La perméabilité à l'eau est déterminée en s'inspirant de la norme **NF EN 12697-19**, la présente Norme européenne spécifie une méthode pour déterminer la perméabilité d'éprouvettes cylindriques de mélanges bitumineux avec des vides communicants.

a-Conduite de l'essai :

Une colonne d'eau de hauteur constante est appliquée à l'éprouvette cylindrique. L'eau percole à travers l'échantillon pendant un temps donné. Le principe consiste à mesurer la

différence de débit entre l'alimentation du système et l'évacuation du trop-plein, qui correspond au débit traversant l'échantillon.

L'échantillon est en permanence imbibé sur toute sa hauteur.

Les échantillons de béton (éprouvettes ou carottes) doivent être de forme cylindrique.

Il est préconisé de faire l'essai sur un béton ayant une maturation de 28 jours minimum afin

De mesurer sa perméabilité dans un état d'hydratation proche de son état final.



Figure III- 17 : Appareillage de l'essai de perméabilité.

- ***Essai d'auscultation dynamique : (NF EN 12504-4)***

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

a- Mode opératoire :

L'essai ultra son passe par trois étapes primordiales :

✓ **Préparation de l'éprouvette :**

Pour qu'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester.

Les matériaux d'interposition sont la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

✓ **Point de mesure :**

Le nombre de points de mesures dépend des dimensions de l'ouvrage testé. Pour un grand panneau (dalle, voile, radier, ...) les points de mesures sont situés aux intersections d'un quadrillage d'une maille de 0.5 m, le cas des petits éléments (poteaux, poutres...) les mesures se font en six points.

✓ **Disposition du transducteur :**

Il est possible de mesurer la vitesse de propagation du son en plaçant les deux transducteurs sur des faces opposées « Transmission directe », sur des faces adjacentes « Transmission semi-directe » ou sur la même face « Transmission indirecte ou transmission de surface » en cas de structure ou d'éprouvette de béton.

Tableau III- 10 : Classification du béton d'après la vitesse du son.

Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
>4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
<2000	Très mauvaise

• **Essai de compression :(NFP 18-406)**

Les essais de compression simple ont été réalisés au laboratoire du groupe GICA sur une presse semi-automatique, elle est programmée pour les essais de compression et cela pour différentes dimensions (éprouvettes cylindriques, cubiques).



Figure III- 18 : Essai de résistance par compression.

I- 6 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des différents matériaux (ciment, sable, gravier, eau).

Nous avons confectionné un béton drainant et réalisé des essais à l'état frais puis à l'état durci selon les normes, afin de caractériser la qualité de notre béton comme l'ouvrabilité, la résistance à la compression, la porosité, et la perméabilité.

Chapitre IV : Résultats et discussions

Résultats sur les bétons drainants

1- Introduction :

Le béton est un matériau composite, c'est-à-dire qu'il est fabriqué à partir d'un mélange de granulats, de ciment, d'eau et parfois d'adjuvants.

Donner des propriétés de résistance ou de durabilité, maniabilité, porosité pour un béton ne s'improvise pas. Il est impératif de faire des essais de contrôle en laboratoire afin d'anticiper son évolution sous contrainte et dans le temps, le béton drainant ne disposera pas des mêmes propriétés qu'un béton de structure.

Il faut signaler qu'ils n'existent pas de normes particulières pour les bétons drainants, ils sont considérés comme des bétons ordinaires aux propriétés et aux compositions particulières. Ils seront cependant soumis aux mêmes normes que celles réservées aux bétons ordinaires.

Les résultats expérimentaux des essais à l'état frais et à l'état durci des bétons drainants élaborés seront présentés dans ce qui suit.

2- Résultats des essais sur béton frais :

Les essais effectués sur le béton à l'état frais ont été réalisés au sein du laboratoire du groupe « GICA », il s'agit de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams, de la teneur en air et de l'essai Vèbè. Ces essais ont été réalisés selon les normes citées dans le tableau ci-dessous.

Tableau IV- 1 : Normes des essais à l'état frais.

Essais	Normes
Affaissement.	NFP 18-305
Teneur en air.	NF EN 12350-7
Vèbè.	Norme ISO 4110



Figure IV- 1 : Essais à l'état frais.

- ***Affaissement au cône d'Abrams :***

L'essai au cône d'Abrams permet d'évaluer la consistance d'un béton, c'est-à-dire évaluer sa fluidité qui est fonction du rapport E/C mais aussi fonction du dosage en ciment et de la teneur en fines. Le béton drainant doit avoir un aspect ni trop sec ni trop fluide. A partir de la valeur de l'affaissement du cône (en mm), on détermine la classe de consistance du béton.



Figure IV- 2 : Essai au cône d'Abrams.

Nous allons déterminer la classe de notre béton à partir du tableau suivant :

Tableau IV-2 : Tableau des classes de consistance.

Classe	Affaissement en (mm)	Définition	Exemple
S1	De 10 à 40 mm	Béton ferme, construction sur une pente forte	Escalier, accès en pente, béton de voirie
S2	De 50 à 90 mm	Béton plastique, construction sur une pente faible	Dalle pleine, ouvrage d'art
S3	De 100 à 150 mm	Béton très plastique, construction sur surface plane	Dalle, fondation
S4	De 160 à 210 mm	Béton fluide, construction sur surface plane	Dalle, fondation, voile
S5	≥ 220 mm	Béton très fluide, construction sur une surface plane, absence de système de vibration	Dalle, fondation

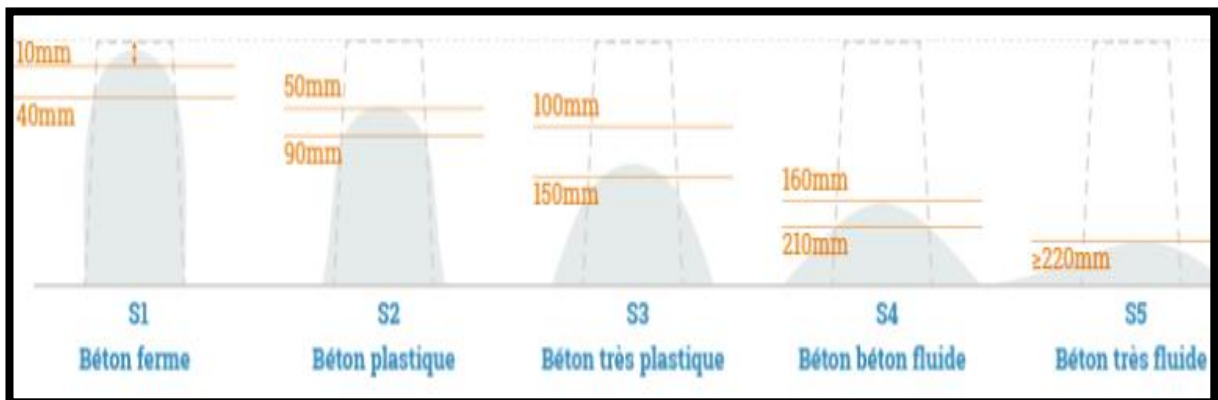


Figure IV- 3 : Classes de consistance du béton.

D'après les résultats obtenus de notre essai nous avons trouvé un affaissement $A=20\text{mm}$ appartenant à l'intervalle, **donc notre béton est un béton ferme de classe S1.**

Le béton drainant étant de faible affaissement et ferme (figure IV-2), sera difficile à mettre en œuvre et nécessite donc, un savoir-faire particulier pour pouvoir l'étaler sur de grandes surfaces telles que les parkings et les aires de jeux.

- **Teneur en air : (AÉROMÈTRE)**

La mesure de la teneur en air de notre béton à l'aide d'un Aéromètre facile d'utilisation.

La méthode est très simple, elle est basée sur la compressibilité de l'air contenu dans le béton frais. On met en relation un volume de béton connu et un volume d'air déterminé, et la valeur

de la pression résultante nous renseigne sur le volume d'air présent, grâce à la loi de Boyle-Mariotte qui relie la pression et le volume d'un gaz à température constante.

La valeur obtenue nous renseignera sur la présence des pores et sur la compacité du mélange.



Figure IV- 4 : Essai de la teneur en air.

La teneur en air du béton est fonction du diamètre maximum des granulats(D_{max}).

Pour un béton sans air occlus et de bonne composition granulométrique, la teneur en air serait inférieure ou égale aux valeurs suivantes :

Tableau IV- 3 : Teneur en air du béton en fonction du diamètre.

D_{max} (mm)	8	12.5	20	25	40
Teneur en air en %	3	2.5	2	1.5	1

C'est à partir du tableau (IV.3) précédent qui exprime la teneur en air maximale en fonction du diamètre maximal D_{max} des granulats, qu'on peut dire si notre béton est correct.

Dans notre cas le D_{max} de notre béton est de 8 mm la teneur en air mesurée et donnée par l'aéromètre doit être inférieure ou égale à 3. ***Or dans notre cas la teneur en air mesurée n'est que de 2.7 %***, cela veut dire que notre béton ne présente pas de défaut de compacité ou de granulométrie. Il faut rappeler que contrairement au béton ordinaire, un bon béton drainant doit avoir un taux de porosité à l'air acceptable, pour pouvoir laisser l'eau s'écouler à travers ses interstices.

- ***Essai Vèbè :***

L'essai Vèbè est un essai de détermination de la consistance d'un béton frais par la mesure du temps que met un cône de béton (moulé dans un cône d'Abrams), soumis à une vibration, pour remplir un volume cylindrique.

Cette essai n'est pas applicable au béton dont les dimensions de leur granulats est supérieure à 63 mm

Si le résultat à l'essai Vèbé (temps Vèbé) est inférieur à (5 s) ou supérieur à (30 s), le béton présentera une consistance qui ne peut être déterminée au moyen de l'essai Vèbé.



Figure IV- 5 : Essai Vèbè (matériel et manipulation).

Le tableau suivant représente les classes de consistance du béton en fonction du temps, nous allons déterminer la consistance de notre béton à partir de ce tableau.

Tableau IV- 4 : Tableau Classe de consistances béton.

Classe	Vébé (s)
V0	≥ 30
V1	De 21 à 30
V2	De 11 à 20
V3	De 6 à 10
V4	De 3 à 5

Le temps (t) exprimé en secondes définit la consistance Vébé. Cinq classes de consistance Vébé sont définies par la norme ENV 206 en fonction du temps (t).

D'après le tableau IV-4 et d'après le résultat obtenu pour le temps t(en veillant à ce que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie et au contact du disque transparent) est de **11 secondes**, donc notre béton appartient à la classe V2 d'après la classification de l'essai Vèbè ce qui confirme que notre béton est bien un béton ferme.

3- Résultats des essais sur béton durci :

Les essais sur le béton durci se composent en deux partie : essais destructifs (compression et traction), et essais non destructifs (essai de porosité ouverte, ultrason), ces essais ont été réalisé au sein du laboratoire « GICA » conformément aux différentes normes.

- **Essai de la porosité ouverte :**

La porosité ouverte représente le pourcentage de vides communicant entre eux et avec l'extérieur. Elle est mesurée sur une série de 3 éprouvettes 16X32 cm²après 24H minimum de durcissement. L'éprouvette doit être couverte de façon à la rendre imperméable sur toute sa surface, seule la face supérieure est laissée ouverte pour pouvoir la remplir d'eau (Figure IV- 6)



Figure IV- 6 : Essai porosité ouverte.

La porosité (p%) est calculée par la formule suivante :

$$P\% = \frac{M}{V} * 100$$

Où :

M : Masse de l'eau ayant servi à remplir complètement les vides du béton avant débordement.

Cette masse peut être exprimée en volume (cm³)

V:: Volume du béton de forme cylindrique (retirée du moule).

- La masse de l'eau versée est M = 965g = 965 cm³.
- V éprouvette = 6430,7 cm³.

$$P\% = \frac{965}{6430.7} * 100 = 15\%$$

La porosité de notre béton est de 15%, c'est une porosité (connectée) assez élevée qui pourrait assurer le passage de l'eau de la surface extérieure vers la surface inférieure (extérieure), c'est une caractéristique recherchée pour les bétons drainants.

- *Essai perméabilité à l'eau :*

La perméabilité à l'eau est déterminée en s'inspirant de la norme **NF EN 12697-19**.

La mesure est réalisée conformément à la norme en figure.

La quantité d'eau infiltrée ou bien drainée pendant un temps fixe de (5 minutes) pour une éprouvette cylindrique 16X32 cm² est de 4551g. **C'est-à-dire que notre béton draine une quantité d'eau 910 g/min.**

Pour avoir les quantités d'eau drainée par minutes sur une surface de 1 cm² :

- Surface de totale l'éprouvette =200.96 cm².
- Quantités d'eau drainée par minute : 4551/5 ≈ 910 g/min.

Donc la quantité d'eau drainée dans une surface de 1cm² est de 4.5 g chaque minute.

Autrement dit, si l'on considère une surface moyenne horizontale de 10 m², celle-ci pourrait drainer 45 litres d'eau chaque minute, sans tenir en compte le drainage latéral à travers l'épaisseur.

- **Résistances à la compression des bétons drainants :**

Il s'agit d'un des essais les plus courants, il permet de définir la classe du béton. Cette classification s'effectue à partir des valeurs caractéristiques de la résistance à la compression.

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique, cubique ou une carotte à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression.



Figure IV- 7 : Mesure des résistances à la compression.

Les résultats obtenus des écrasements ont été mesurés aux échéances 3, 7, 14 et 28 jours sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-5 : Résistances à la compression des bétons drainants.

Temps (Jours)	2	7	14	28
Rc (MPa)	2,3	5,33	9,89	14,45

La variation des résistances à la compression en fonction du temps sont présentés dans les figures IV- 8.-a et IV-8-b.

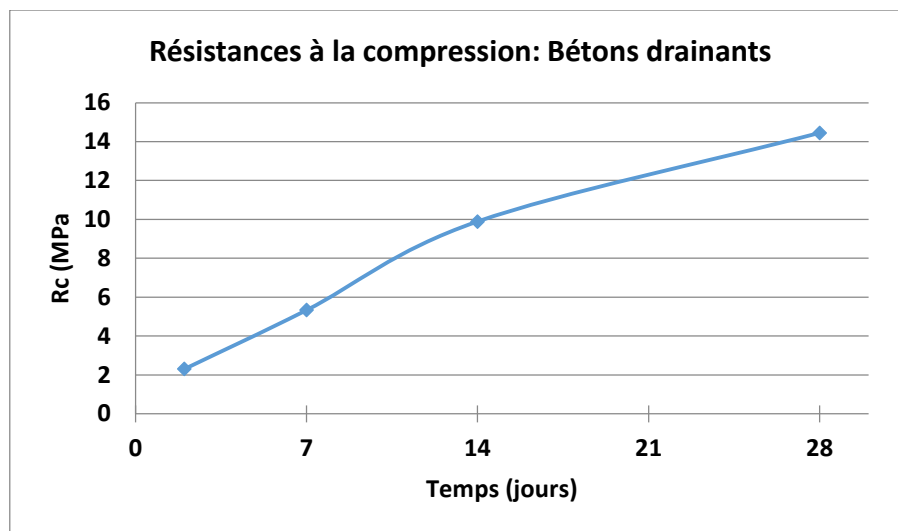


Figure IV- 8 -a : Courbe résistance à la compression.

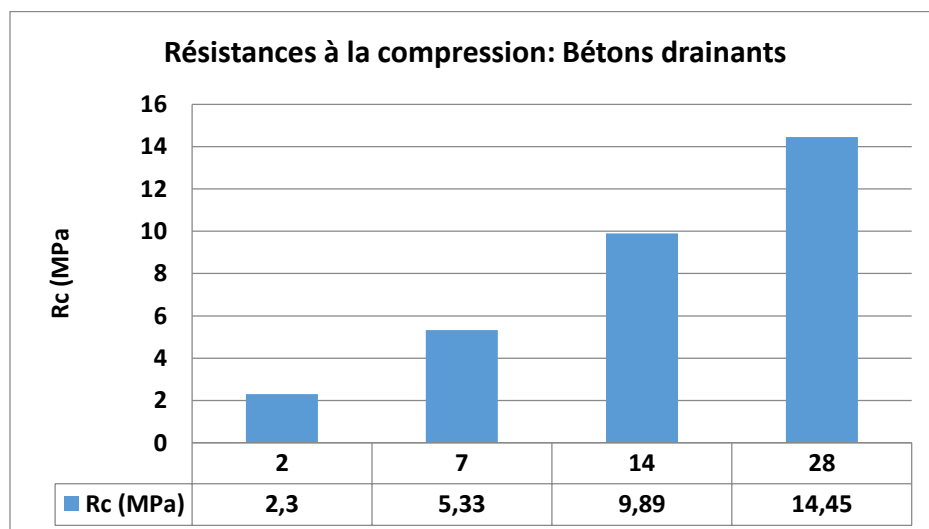


Figure IV- 8 -b : Histogramme des résistances à la compression.

Des tracés de la courbe et du diagramme, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Cette augmentation se poursuit jusqu'à 28 jours (date limite de nos essais). La valeur de la résistance à 28 jours dépasse 14 MPa, ce qui est très acceptable pour un béton drainant. Les résistances à la compression minimales recommandées pour ce type de béton doivent être supérieures ou égales à 8 MPa à 28 jours

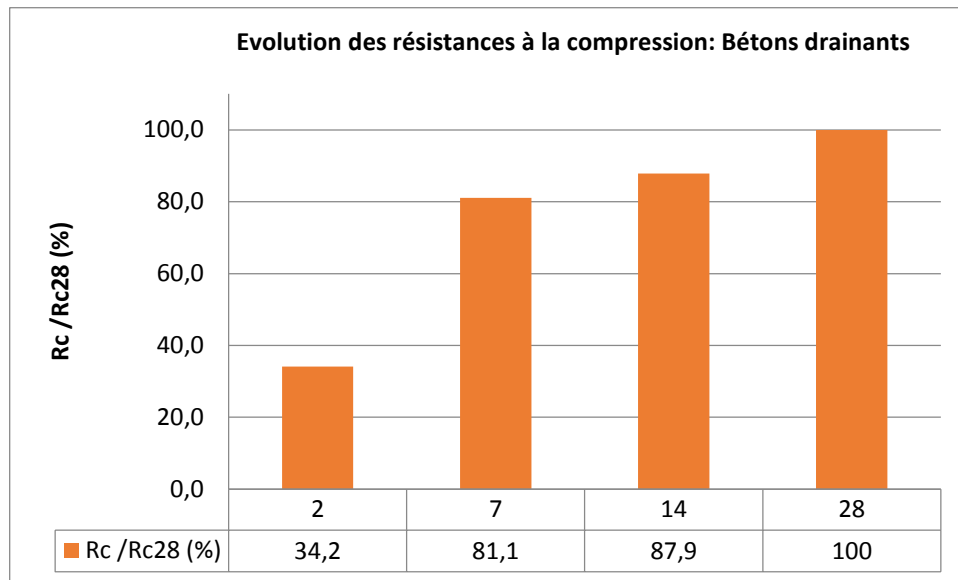


Figure IV- 9 : Histogramme de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps.

De la figure IV- 9 montrant l'évolution des résistances à la compression en fonction du temps, on constate clairement que ces évolutions augmentent de façon continue jusqu'à 28 jours. Les gains des résistances de ces évolutions entre les différentes échéances sont de plus de 20 % entre 2 et 7 jours, de plus de 30 % entre 7 et 14 jours et aussi de plus de 30 % entre 14 et 28 jours.

La valeur de la résistance à la compression à 28 jours de plus de 14 MPa est suffisante pour les surfaces horizontales en béton drainant pour piétons et pour circulation occasionnelle de véhicules (véhicules de service, véhicules utilitaires en stationnement dans parking).

Les mesures des résistances à la traction ont été réalisées sur des éprouvettes cylindriques de dimensions 16x32 cm² et résultats sont donnés par le tableau IV- 6 suivant :

Temps (Jours)	2	7	14	28
Rt (MPa)	0,46	0,9594	1,978	3,179

Les courbes représentatives de ces résistances sont données par la figure IV- 10-a et la figure IV-10- b ci-dessous.

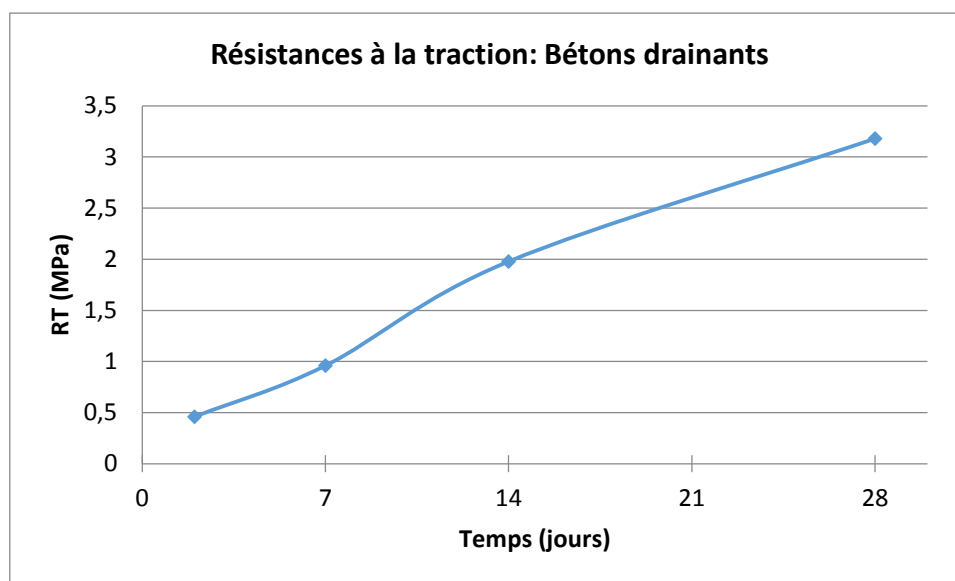


Figure IV- 10- a : Courbe des résistances à la traction des bétons drainants.

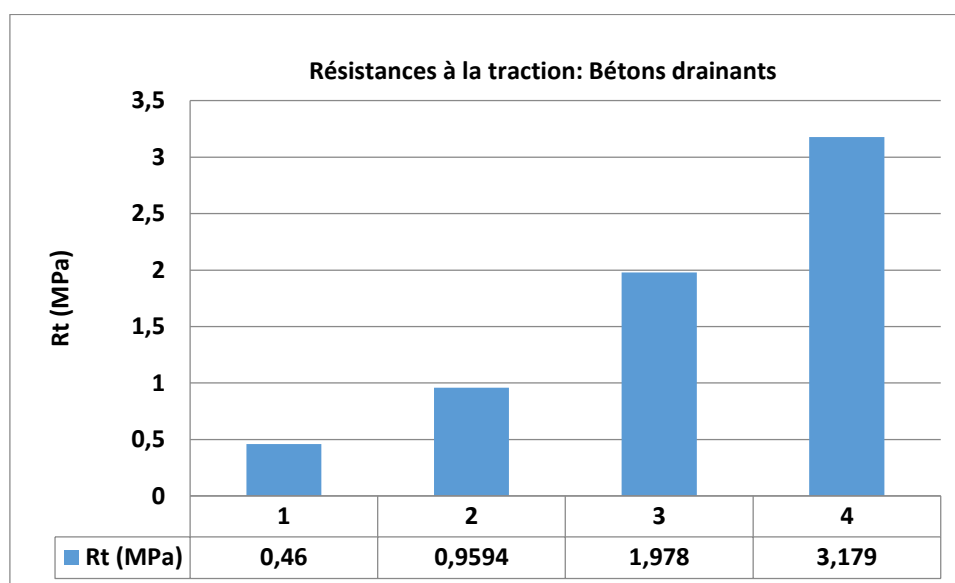


Figure IV- 10- b : Histogramme des résistances à la traction des bétons drainants.

Les représentations des variations des résistances à la traction montrent que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Ces résistances sont faibles par rapport aux bétons ordinaires, ceci s'explique par le caractère poreux des bétons drainants.

La valeur maximale de la résistance à la traction obtenue dépasse 3 MPa à 28 jours.

La figure IV- 11 présente l'évolution des résistances à la traction.

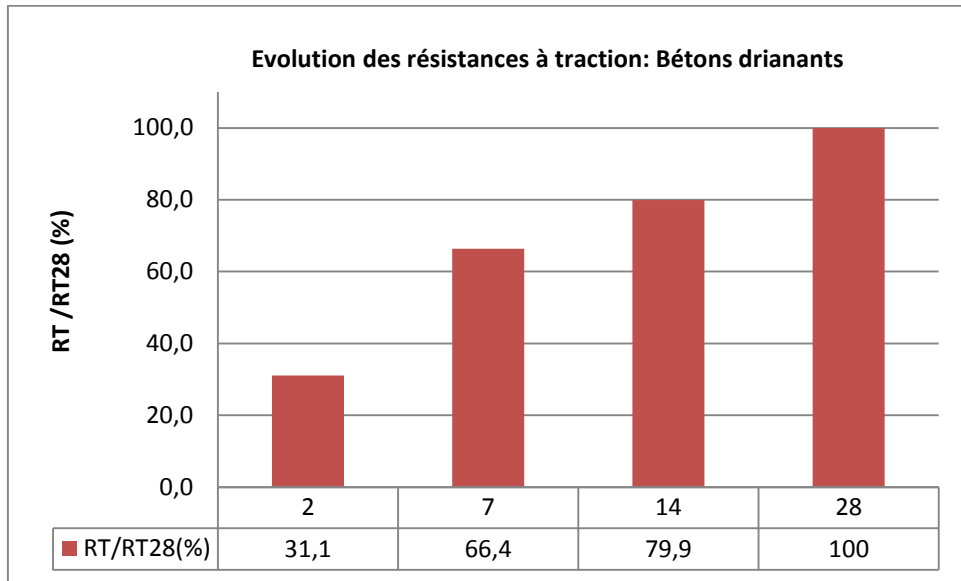


Figure IV- 11 : Evolutions des résistances à la traction des bétons drainants.

Résultats sur le béton désactivé

Après sa formulation, le béton désactivé a été confectionné. Comme c'est un béton destiné uniquement aux surfaces horizontales et ayant un aspect visuel recherché, on s'est contenté des essais à l'état durci et le seul essai utile dans ce cas est la détermination de ses résistances à la compression et à la traction (ce béton est destiné aux allées piétonnes et cyclables).

- **Résistances à la compression des bétons désactivés :**

La résistance à la compression du béton désactivé fait référence à sa capacité à résister à des forces de compression, tout comme pour le béton ordinaire. Les mesures sont faites sur des éprouvettes cubiques.



Figure IV.12 : Mesure des résistances à la compression.

Les résultats obtenus des écrasements ont été mesurés aux échéances 2, 7, 14 et 28 jours sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IV-7 : Résistances à la compression des éprouvettes de béton désactivé.

Temps (Jours)	2	7	14	28
Rc (MPa)	8,03	19.07	20.66	23.51

Les courbes représentatives des résistances à la compression des bétons désactivés sont données par la figure IV- 13- a et la figure IV- 13- b.

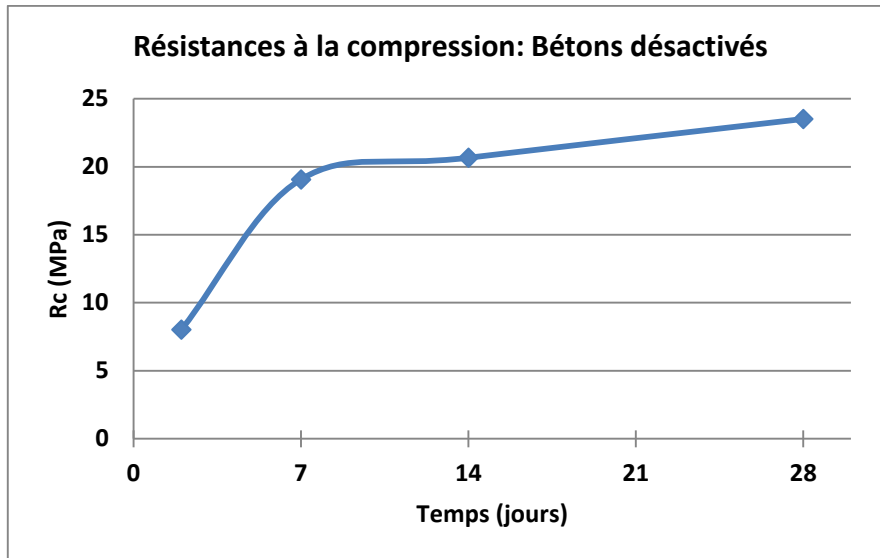


Figure IV- 13- a : Courbe des résistances à la traction des bétons désactivés.

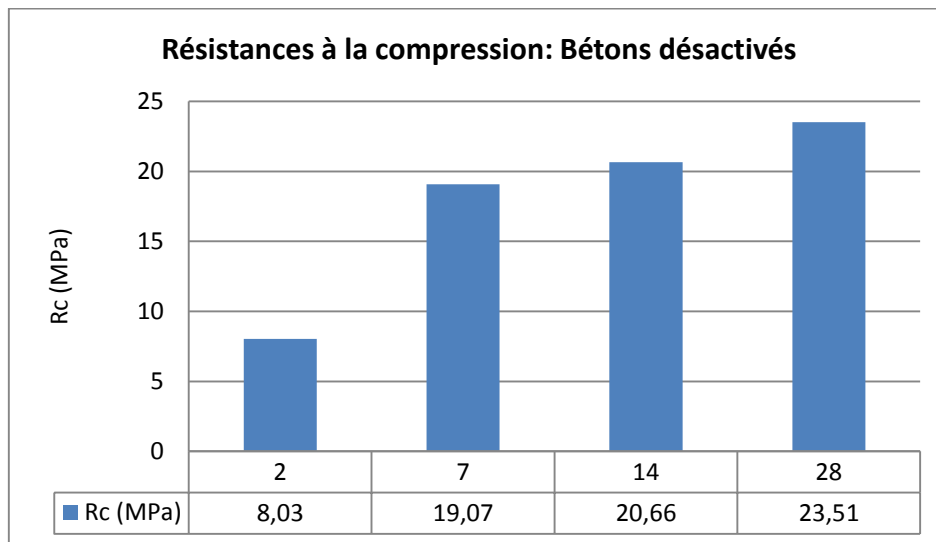


Figure IV- 13- b : Histogramme des résistances à la compression des bétons désactivés.

Les courbes de résistances montrent que les résistances à la traction augmentent en fonction du temps.

Les bétons désactivés ont développé une résistance à la compression initiale assez importante de 8 Mpa à 2 jours. A 7 jours, sa résistance est de l'ordre de 19 Mpa et atteint plus de 23 MPa à 28 jours.

L'importante résistance à 2 jour permet au chantier d'avancer plus rapidement et les surfaces confectionnées peuvent être livrées et rendues cyclables rapidement.

La figure IV- 14 représente l'évolution des résistances à la compression des bétons désactivés confectionnés.

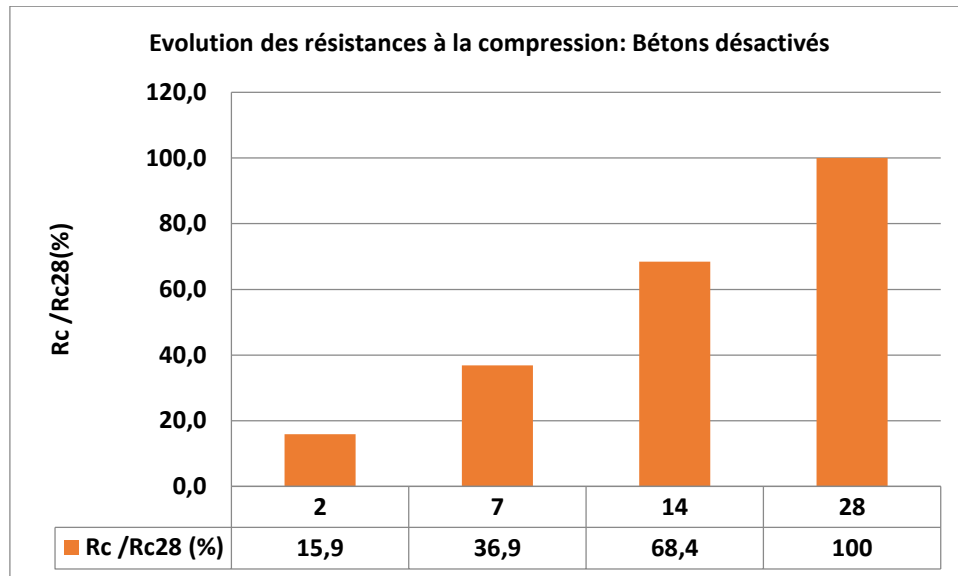


Figure IV- 14 : Evolution des résistances à la compression des bétons désactivés.

L'évolution la plus remarquable a été observée entre 2 et 7 jours, elle a dépassé 50%, ce qui vient confirmer la diminution du temps de travail sur chantier et le raccourcissement des délais de réalisation.

- **Résistance à la traction pour béton désactivé (Essai brésilien) :**

L'essai de résistance à la traction transversale ou essai brésilien permet d'estimer la résistance à la traction directe du béton.

L'essai consiste à appliquer une charge de compression centrée selon 2 génératrices de l'éprouvette. Les contraintes induites provoquent la rupture suivant un plan diamétral de l'éprouvette (Figure IV- 15).



Figure IV- 15 : Essai de traction sur éprouvette de béton désactivé.

Le tableau IV- 7 présente les valeurs des mesures des résistances à la traction des bétons désactivés.

Tableau IV- 8 : Résistance à la traction d'éprouvettes de béton désactivé.

Temps (Jours)	2	7	14	28
Rt (MPa)	1,61	3,43	4,13	5,17

Les figures IV- 16-a et IV- 16-b représentent les variations des résistances à la traction mesurées sur des éprouvettes cylindrique 16x32 de bétons désactivés.

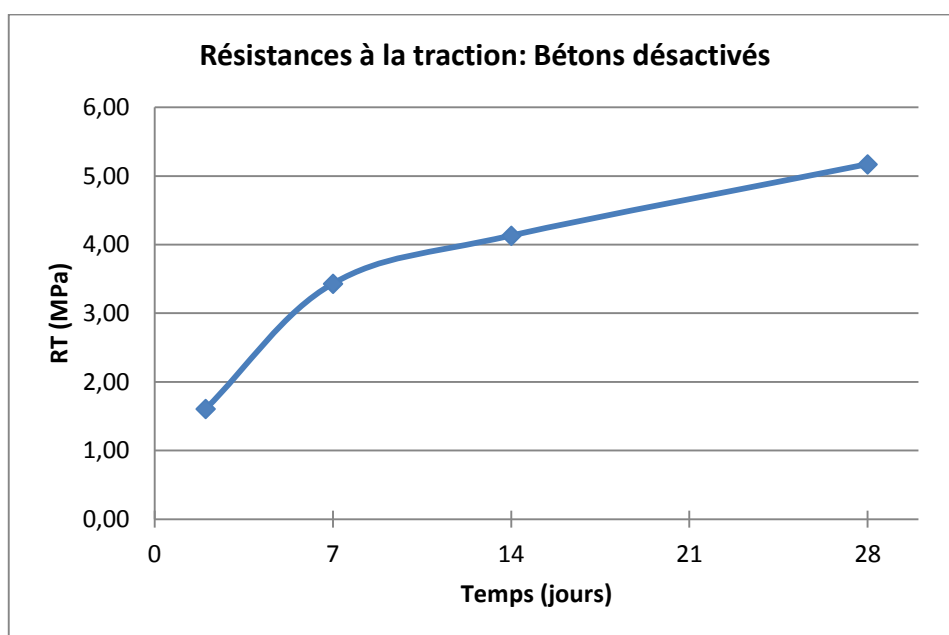


Figure IV- 16- a : Courbe de résistances à la traction des bétons désactivés.

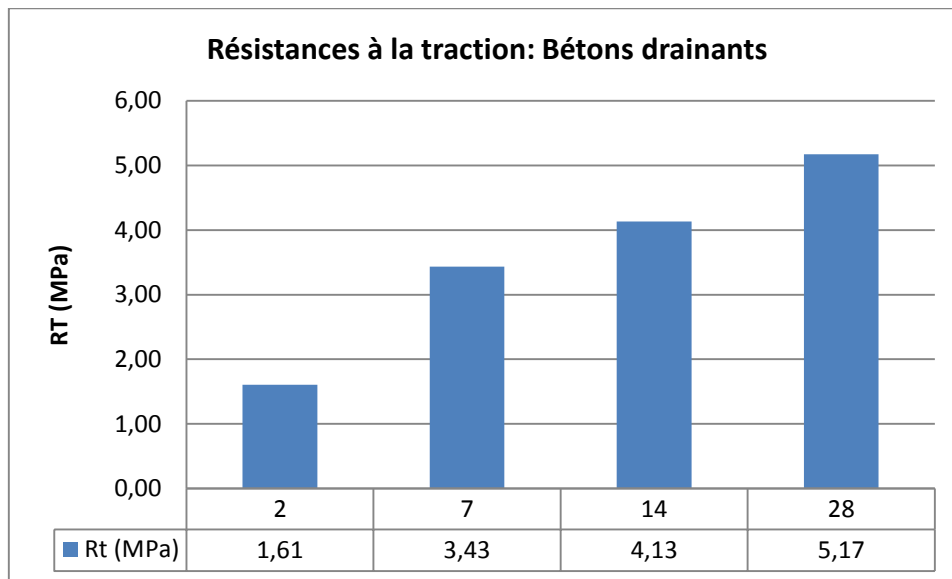


Figure IV- 16- b : Histogramme de résistances à la traction des bétons désactivés.

Les figures montrent que toutes les résistances augmentent d'une façon continue en fonction du temps jusqu'à l'échéance de 28 jours. Les valeurs des résistances mesurées des bétons désactivés (à base de granulats roulés) sont faibles comparées à celle d'un béton conventionnel (à base de granulats concassés), mais sont suffisantes pour ce type de béton et parviennent à résister à l'arrachement de granulats qui le composent.

La figure IV- 17 présente l'évolution des résistances à la traction des bétons désactivés par rapport à celle de 28 jours en fonction du temps.

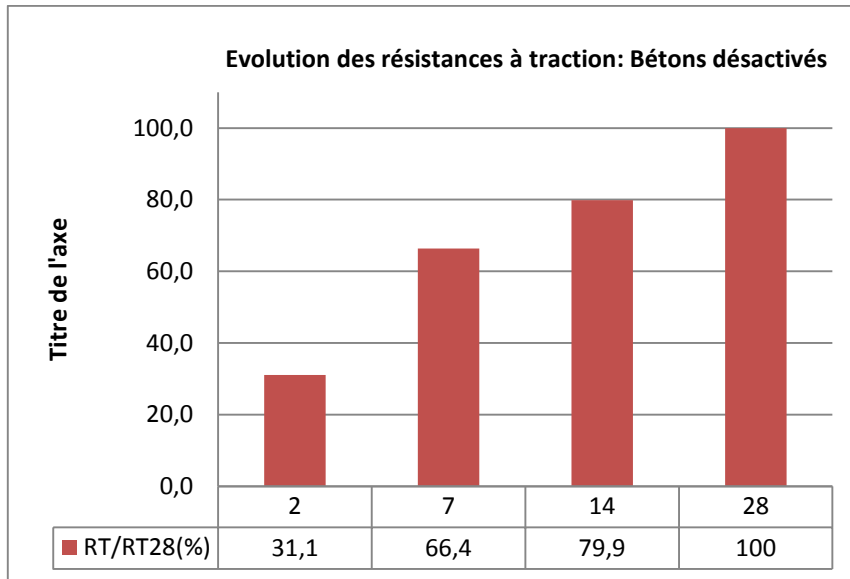


Figure IV- 17 : Evolution des résistances à la traction en fonction du temps.

De même que les résistances à la compression, les évolutions des résistances à la traction augment continuellement en fonction du temps. Par contre, les gains des résistances de ces évolutions sont plus faibles, elles atteignent un maximal de seulement de 35% entre 2 et 7 jours.

4- Réalisations de pavés/blocs en béton drainant et béton désactivé :

Après la fabrication de notre béton drainant au sein de la centrale à béton du groupe « GICA », nous avons réalisé une petite surface et un pavé représentatifs en béton drainant et désactivé montrés dans les figures suivantes :



Figure IV- 18 : Pavé rectangulaire en béton drainant.



Figure IV- 19 : Pavé rectangulaire en béton désactivé.

Les figures précédentes montrent des pavés de bétons élaborés comme échantillons tests, ils permettent de vérifier la perméabilité à l'eau des bétons drainants et de vérifier l'aspect visuel des bétons désactivés.

5- Réalisations des bétons drainants et des bétons désactivés à échelle réelle :

Après formulations, les différents essais ont été effectués sur les deux types de bétons aux états frais et durci, l'étape finale du présent travail est de réaliser des surfaces avec ces deux bétons, afin de se rendre compte des éventuelles difficultés qu'on peut avoir en réalisant des surfaces à échelle réelle.

Effectivement, malgré le manque de moyens matériels, différentes étapes étaient nécessaires pour cette réalisation. A commencer par la surface non-uniforme, puis la régularisation des surfaces supérieures des bétons, la pulvérisation du désactivant –qui aurait dû être effectué à l'aide d'un pulvérisateur) sur la surface supérieur du béton désactivé et enfin le nettoyage (qui aurait dû être faite avec un Karcher à haute pression) de cette surface du ciment non hydraté pour faire apparaître les granulats roulés.

Les figures suivantes montrent les différentes surfaces réalisées à l'entrée des deux laboratoires de recherche de génie civil (LCTPE) et celui du génie électrique.



Figure IV- 20 : Préparation du terrain avant coulage des bétons.



Figure IV- 21 : Préparation et pesage des matériaux.



Figure IV- 22 : Malaxage et préparation des bétons selon formulations.



Figure IV- 23 : Mise en place des coffrages pour délimiter les surfaces.



Figure IV- 24 : Coulage du béton drainant sur les côtés.



Figure IV- 25 : Damage et mise à niveau du béton drainant.



Figure IV- 26 : Aspects des bétons après coulage.



Figure IV- 27 : Aspects final des deux bétons après nettoyage de la surface supérieure du béton désactivé (au milieu).

5- Conclusion :

Dans ce quatrième et dernier chapitre, nous avons présenté les résultats des différents essais expérimentaux sur béton frais et durci ainsi que leurs interprétations avec des différentes courbes réalisées à l'aide des résultats obtenus au sein du laboratoire « GICA », ces essais ont été réalisés conformément aux normes en vigueur.

Des essais sur les bétons confectionnés ont été réalisés à l'état frais et à l'état durci aux échéances conventionnelles de 3, 7, 14 et 28 jours.

La qualité du béton drainant et désactivé obtenu a été vérifiée et les résultats obtenus leur confèrent des qualités très appréciables.

A la fin de notre partie pratique au sein de la centrale à béton du groupe « GICA », nous avons réalisé une petite surface et pavés représentatifs.

Afin de répondre aux attentes convenues du présent travail, des surfaces en bétons drainants et désactivés ont été réalisées au sein de la faculté FST, ces réalisations ont permis de se rendre compte des difficultés de passer à la réalisation à l'échelle réelle.

Chapitre V : Le guide de projet

1. Introduction :

Aujourd'hui, les startups émergent comme des moteurs de développement pour plusieurs pays dans le monde.

Notre projet s'inscrit dans cette transformation pour répondre à des besoins spécifiques en génie civil. L'étude de projet englobe les fondements de notre initiative, analysant son potentiel sur le marché, ses impacts économiques ainsi l'analyse de la proposition de valeur et de la faisabilité financière.

A travers ces pages de ce chapitre, vous découvrirez non seulement notre vision mais aussi les étapes cruciales pour concrétiser cette idée ambitieuse dans le paysage concurrentiel actuel.

2-Premier axe : Présentation du projet

2.1. L'idée de projet :

L'idée de projet commencé quand on a remarqué les problèmes d'inondations urbaines et l'aquaplanage sur les routes et les chaussées. Ensuite, aujourd'hui il y a une demande croissante pour des surfaces urbaines esthétiquement agréables personnalisables.

Notre projet vise à établir une entreprise spécialisée dans la production et la commercialisation des bétons drainant et désactivé, offrant des solutions innovantes pour les projets de construction et aménagement paysager. Nous croyons fermement en importance introduire des matériaux de construction nouveaux, durables et esthétiques sur le marché, répondant aux besoins croissants de nos clients.

2.2. La valeur proposée :

Le béton drainant est conçu pour permettre une infiltration efficace de l'eau, contribuant ainsi à la gestion des eaux pluviales et à la réduction des problèmes d'accumulation d'eau.

Par ailleurs, le béton désactivé offre une surface texturée et esthétique grâce à l'exposition des granulats, offrant une variété de couleurs et de motifs.

2.3. L'équipe de travail :

Notre équipe sera composée de deux jeunes diplômés motivés, formés dans le domaine du génie civil et passionnés par l'innovation.

Nous croyons fermement que notre entreprise contribuera à répondre aux besoins croissants du marché tout en promouvant des pratiques de construction durables.

2. 3. L'objectif du projet :






Notre entreprise s'engage à produire des matériaux de haute qualité, répondant aux normes et aux réglementations en vigueur. Nous mettons l'accent sur la recherche et le développement continus pour améliorer nos formulations de béton, en les adaptant aux exigences spécifiques des clients et aux diverses applications du marché.

En offrant des produits innovants, durables et esthétiques, nous visons à jouer un rôle clé dans l'industrie du génie civil en fournissant des solutions de construction modernes et respectueuses de l'environnement.

2.4. Calendrier de réalisation du projet :

Tableau V.1 : Calendrier de réalisation du projet.

3- Deuxième axe : Aspects innovants

			1	2	3	4	5	6	7
1		<ul style="list-style-type: none"> Établir les objectifs spécifiques du projet . Faire une analyse pour comprendre la demande du marché et la concurrence 	✓						
2		<ul style="list-style-type: none"> Etude de faisabilité technique Recherche des formulation Evaluation des matériaux 		✓		✓			
...		<ul style="list-style-type: none"> Réglage des formulations en fonction des résultats des tests en laboratoire 					✓		
N		<ul style="list-style-type: none"> Fabrication des prototypes et faire des tests initiaux pour évaluer la résistance , la perméabilité et l'aspect esthétique. 							✓
...		<ul style="list-style-type: none"> Réalisation des surfaces et faire des tests de performance approfondis 							

3.1. Nature des innovations :

Le béton drainant et le béton désactivé sont deux innovations importantes dans le domaine de la construction et du génie civil.

Béton drainant :

- **Fonction** : Conçu pour permettre le passage de l'eau à travers ses pores, le béton drainant est utilisé principalement pour les surfaces extérieures comme les parkings, les trottoirs, et les routes. Il aide à réduire les problèmes d'accumulation d'eau et à prévenir les inondations en permettant à l'eau de s'infiltrer dans le sol.
- **Avantages** : Améliore la gestion des eaux pluviales en réduisant le ruissellement, favorise la recharge des nappes phréatiques, et réduit les risques de formation de flaques d'eau et de glace en hiver.

Béton désactivé :

- **Fonction** : Aussi connu sous le nom de béton lavé, le béton désactivé est traité pour exposer les granulats à la surface, créant une finition esthétique avec une texture granuleuse.
- **Avantages** : Offre une grande variété de couleurs et de textures, idéal pour les surfaces piétonnes, les allées de jardin, et les zones où l'aspect visuel est important. Il est également résistant et durable.

Ces deux types de béton représentent des innovations importantes car ils répondent à des besoins spécifiques en matière d'ingénierie et de design tout en offrant des solutions durables et fonctionnelles pour l'aménagement urbain et la construction.

3.2. Domaines d'innovation :

Les domaines d'application du béton drainant et du béton désactivé sont diversifiés et répondent à des besoins spécifiques dans différents secteurs de la construction et de l'aménagement urbain :

Béton drainant :

- **Infrastructure routière** : Utilisé pour les chaussées, les trottoirs, les voies piétonnes et les parkings afin de réduire le ruissellement et d'améliorer la sécurité en réduisant les risques d'aquaplanage.

- ***Gestion des eaux pluviales*** : Employé dans les zones urbaines pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales dans le sol, réduisant ainsi la charge sur les systèmes de drainage et aidant à prévenir les inondations.
- ***Aménagements paysagers*** : Utilisé dans les parcs, jardins et espaces verts pour des surfaces perméables qui favorisent la croissance des plantes tout en réduisant le besoin d'irrigation.

Béton désactivé :

- ***Revêtements de sols extérieurs*** : Principalement utilisé pour les allées de jardin, les terrasses, les patios et les espaces piétonniers où l'aspect esthétique et la texture granuleuse sont appréciés.
- ***Décor urbain*** : Utilisé dans les zones piétonnes, les places publiques et les espaces urbains pour créer des designs personnalisés avec une variété de couleurs et de finitions.
- ***Revêtements antidérapants*** : Appliqué dans les environnements où une surface antidérapante est essentielle, comme autour des piscines, dans les zones de loisirs ou dans les zones commerciales à fort trafic piétonnier.

Ces domaines montrent comment le béton drainant et le béton désactivé peuvent être utilisés de manière créative et fonctionnelle pour répondre aux besoins spécifiques des projets d'urbanisme, de construction et d'aménagement paysager, tout en offrant des avantages significatifs en termes de durabilité et de gestion des ressources naturelles comme l'eau.

4. Troisième axe : Analyse stratégique de marché :

4.1. Le segment de marché :

Les clients qui peuvent opter pour le béton drainant et le béton désactivé sont :

- Propriétaires de maisons souhaitant des allées et des terrasses esthétiques et fonctionnelles.
- Entreprises : Bureaux, parcs d'affaires nécessitant des parkings et des espaces extérieurs drainants.

- Municipalités : Projets d'aménagement urbain et infrastructures publiques.
- Paysagistes et architectes : Partenariats pour des projets de conception extérieure.
- Promoteurs immobiliers : Constructions résidentielles et commerciales.

4.2. Le marché cible :

Nous ciblons les projets de construction, les espaces publics, les aménagements paysagers et d'autres applications où nos produits peuvent apporter une valeur ajoutée significative.

4.3 Mesure de l'intensité de la concurrence :

. Les concurrents les plus importants sur le marché algérien sont les entreprises spécialisées en béton imprimé, et d'autres types de bétons classiques.

Il faut savoir que les bétons drainants et les bétons désactivés seront exclusivement réalisés par notre entreprise, car les autres entreprises sur le marché du béton proposent des bétons classiques ne réponds pas aux besoins spécifiques.

Parmi leurs atouts, ces entreprises sont plus anciennes que notre entreprise dans ce domaine, ils connaissaient très bien le marché.

Notre atout c'est de spécialiser dans la production et la réalisation de ces deux bétons et offrir des solutions différentes de celles de ces entreprises concurrentes.

4.4 La stratégie marketing :

Notre stratégie marketing pour notre entreprise basée sur la recherche, la création d'une proposition de valeur unique.

Pour se démarquer de la concurrence, nous mettons en avant les avantages économiques, écologiques et pratiques de notre invention dans le Domain de béton.

On va utiliser les réseaux sociaux tels que (Facebook, Instagram, LinkedIn) pour montrer des projets finis et attirer des clients.

Pour atteindre notre public spécifique on va travailler en collaboration avec les architectes, les paysagistes et les entreprises de construction, on peut aussi travailler comme traitants avec les entreprises de production des bétons (BPE), on va aussi participer à des salons de l'habitat, de la construction et du jardinage.

5. Quatrième axe : Plan de production

5.1. Le Processus de production :

Le processus de production des bétons drainant et désactivé suit des étapes spécifiques pour garantir la qualité et les propriétés requises. Voici les principales phases impliquées dans la production de ces types de béton :

Béton Drainant :

Sélection des matériaux :

- *Choix des agrégats* : Utilisation d'agrégats propres et de différentes granulométries pour assurer la perméabilité du béton.
- *Adjuvants spécifiques* : Ajout d'adjuvants hydrofuges pour améliorer la perméabilité et la résistance du béton aux intempéries.

Formulation du mélange :

- Calcul précis des proportions d'eau, de ciment, d'agrégats et d'adjuvants pour obtenir une consistance optimale tout en maintenant la perméabilité.

Mélange :

- Assurer un mélange homogène pour garantir la distribution uniforme des agrégats et des adjuvants.

Coulage et mise en place :

- Coulage sur la surface préparée de manière à assurer une infiltration efficace de l'eau dans le sol.

Finition :

- Lissage ou brossage de la surface pour obtenir la texture finale souhaitée.

Béton Désactivé :

Préparation des agrégats :

- Sélection d'agrégats naturels colorés ou traités pour la surface désactivée.
- Préparation et tri des agrégats pour garantir une distribution uniforme et esthétique.

Formulation du mélange :

- Calcul précis des proportions de ciment, d'eau, d'agrégats et d'adjuvants pour obtenir la texture et la couleur désirées.

Mélange :

- Assurer un mélange homogène pour garantir la bonne exposition des agrégats à la surface.

Coulage et mise en place :

- Coulage du béton sur la surface préparée.
- Utilisation de techniques spéciales pour exposer les agrégats à la surface en fonction du type de finition souhaité (lavage à l'eau, brossage, etc.).

Lavage et finition :

- Lavage de la surface pour enlever la laitance et révéler les agrégats.
- Finition manuelle pour ajuster la texture et l'aspect final.

Points Importants :

✓ **Contrôle de la qualité** : Surveillance continue du processus de production pour assurer la conformité aux spécifications techniques et esthétiques.

✓ **Adaptation aux conditions locales** : Ajustement des formulations en fonction des conditions climatiques locales et des exigences spécifiques du projet.

✓ **Sécurité et environnement** : Respect des normes de sécurité et d'environnement lors du mélange, du transport et du coulage du béton.

5.2 L'Approvisionnement :

Dans le processus d'achat, nous traitons directement avec les fournisseurs de matériaux (sables, graviers, ciments, adjuvants etc.), ce qui est un avantage concurrentiel pour notre projet.

Il y a beaucoup de fournisseurs en Algérie de matériaux de béton, notre entreprise vas choisir les plus grands fournisseurs qui vont nous fournir de matériaux de béton de haute qualité avec un très bons prix et une durée de paiement ne dépasse pas 6 mois.

Fournisseur exclusif (avec contrat de prix préférentiels) :

- ✓ **GRANU-OUEST, GICA groupe, unité de Mostaganem.**

5.3. La main d'œuvre :

Notre projet crée environ 09 postes de travail direct selon les taches suivantes :

- ingénieurs en BTP : 2 postes
- Technicien de maintenance : 1 poste
- Ouvriers : 4 postes
- Chargé du service client : 1 poste
- agent sécurité : 1 poste

5.4. Les Principaux partenaires :

Les partenariats les plus importants dans notre cas sont les fournisseurs, au regard de l'importance de leurs prestations pour la réussite du projet. Les incubateurs universitaires aussi fournissent une aide précieuse aux projets. Sans oublier le poids des structures de financement...

6- Cinquième axe : Plan financier

6.1. Les Coûts et les charges :

Tableau V.2 : le total des équipements de production.

INVESTISSEMENT

		<u>Année 01</u>	<u>Total Période</u>
EQUIPEMENTS DE PRODUCTION	Bureaux	69 600	69 600
	Les chaises	48 000	48 000
	Ordinateur bureau	55 000	55 000
	Ordinateur portable	184 000	184 000
	Imprimante	80 000	80 000
	Matériel bureautique	15 000	15 000
	Caméra de surveillance	120 000	120 000
	Voiture utilitaire	3 720 000	3 720 000
	Bétonnière	600 000	600 000
	Dame Sauteuse	368 000	368 000
	Karcher	45 000	45 000
	Groupe électrogène	80 000	80 000
	Chariot élévateur	2 500 000	2 500 000
	Réservoir d'eau	19 000	19 000
	Pompe à eau	20 000	20 000
	L'outillage de maçonnerie	80 000	80 000
	Sous-Total	8 003 600,00	8003600

Tableau V.3 : le total des achats directs.

Achat directs

	<u>Prestation</u>	<u>Total</u>
Achats directs	Les joints dilatation	70000
	Gravier concassé 3/8	60 000
	Gravier roulé 3/8	120 000
	Sable 0/3	55 000
	Ciment 250	125 000
	Ciment 350	150 000
	Désactivant	50 000
	Adjuvant	50 000
	Sous-Total	680000

Tableau V.4 : Représentation du total des salaires annuels en DA.

MASSE SALARIALE

	<u>ETP</u>	<u>Total</u>
PERMANENTS	Ingénieur en BTP1	825 600
	Ingénieur en BTP2	825 600
	Chargedeserviceclient	453 618
	Agent de sécurité	453 618
	Technicien de maintenance	733 800
	Ouvrier	453 618
	Ouvrier	453 618

Ouvrier	453 618
Sous-Total	4 653 090

Tableau V.5 : Total des charges externes en DA/année.

CHARGES EXTERNES

	<u>Libellé</u>	<u>Total</u>
Charges externes	Sous-traitance	0
	Loyers	840000
	Energie/eau/gaz	22000
	Frais Marketing	60000
	Honoraires d'avocat	20000
	Honoraires du Notaire	20000
	Honoraires d'expert-comptable	20000
	Honoraires Commissaire aux Comptes	0
	Frais du transit	0
	Frais télécom	24000
	Divers fournitures	50000
	Frais de formation	0
	service de transport	96000
	Sous-Total	1 056 000,00

Tableau V.6 : le total des couts et charges en DA.

SYNTHESE

Catégorie	Montant	
Investissement	7 403 600	54%
Masse salariale	4 653 090	34%

	Achats directs	680 000	5%
	Charges externes	1 056 000	8%
TOTAL :		13 792 690	

6.2. Le chiffre d'affaire :

Tableau V.7 : représentation du chiffre d'affaires des deux types du béton.

		N-1 (historique)	Année 01	Année 02	Année 03	Année 04	Année 05
Produit/Service N°01	Désignation:	Béton drainant					
	Quantité:	m2	2500	3000	3500	4000	4500
	Prix unitaire:		8000	8000	8000	8000	8000
	Sous-Total:		0	20000000	24000000	28000000	32000000
		N-1 (historique)	Année 01	Année 02	Année 03	Année 04	Année 05
Produit/Service N°02	Désignation:	Béton désactivé					
	Quantité:	m2	2000	2500	3000	3500	4000
	Prix unitaire:		7000	7000	7000	7000	7000
	Sous-Total:		0	14000000	17500000	21000000	24500000

Total général (pour les deux bétons) : 34 000 000,00 DA

7. Sixième axe : prototype expérimental



Figure V-1 : Prototype expérimental pour le Béton drainant.



Figure V- 2 : Prototype expérimental pour le Béton désactivé.

Conclusion générale

Ce mémoire entre dans le cadre de création d'une Start-Up selon l'arrêté ministériel 1275.

La particularité de ce travail est l'étude de deux bétons (drainant et désactivé) non structuraux mais ayant des aspects esthétiques avec des résistances minimales recommandés respectées lors de leurs formulations (8 Mpa pour le béton drainant et de préférable plus de 20 Mpa pour le béton désactivé à 28 jours). Les valeurs des résistances à 28 jours obtenues sont plus de 14 MPa pour les bétons drainants et plus de 23 MPa pour les bétons désactivés.

Les bétons drainants étaient confectionnés avec des granulats concassés ayant $D_{max} = 8$ mm, alors que les bétons désactivés étaient élaborés avec des granulats roulés donnant un aspect visuel remarquable ces granulats doivent avoir de préférence un $D_{max} = 8$ mm.

Les bétons drainants ont été formulé par itération expérimentales, afin de fixer les valeurs de paramètres de composition selon « la méthode de boule de ». Leur faible rapport E/C leur donnent un aspect plastique, leur étalement horizontal peut s'avérer difficile. L'utilisation d'un superplastifiant fluidifiant à un dosage préalablement étudié est fortement recommandée.

Le béton désactivé a été formulé selon la méthode de Dreux-Gorisse avec utilisation de granulats roulés, comme pour les bétons ordinaires.

Les bétons drainants sont perméables à l'eau, leur utilisation est recommandée dans les grandes surfaces horizontales telles que les parkings, les allées piétonnières, aux alentours des piscines et sur toutes les surfaces horizontales inondables.

Les bétons désactivés sont plus résistants et ont un aspect visuel décoratif, les granulats roulés apparent souvent de différentes couleurs (gris et parfois marrons) leur permettent d'être utilisés dans les jardins, dans les entrées principales des maisons et dans les allées centrales des tramways.

La présente étude a proposé des devis estimatifs relatifs à la création de la start-up, les montants proposés s'étalent sur une période de cinq années. Ces montants ont été calculés sur la base des charges d'achats de matériaux, de matériels, de la masse salariale annuelle et des charges annexes.

En perspectives, nous suggérons la poursuite du présent travail par :

- ✚ Etudier l'influence de la fumée de silice à moyen et long terme.
- ✚ Utiliser dans la fabrication des bétons drainants d'autres superplastifiants pouvant améliorer mieux leur maniabilité et facilitant ainsi leurs mises en œuvre sur des surfaces horizontales étendues.
- ✚ Etudier la résistance à l'arrachement des granulats des bétons drainants.
- ✚ Et enfin, puisqu'il s'agit de bétons poreux, étudier le cycle gel-dégel de ces bétons.

Références bibliographiques

Daniel Mont Harry et Micheal Platzter : la technique du bâtiment

Site www.febelcem.be : Les composants du béton.

WINER.R. R : National pollutant Removal data base for Storm water treatment practices, second Edition, center for water shed protection, ellicot city ; MD, 2000,29 p.

NASR EDDINE. K : Propriétés et pathologie du béton, OPU, 1991

Site www.pavebeton.fr /béton drainant, caractéristiques du béton drainant.

Conseil du bâtiment durable du canada (CBDCA) .Guide de référence LEED Canada, 2010.

ACI report on pervious concrete, American Concrete institue. ETATS-UNIS 2011, 522R-10.

Costa. U et Massaza. F : From matériels science to construction matériels engineering, Proc 1stInt.Rilemcongres, VOL.1 (Versailles 1987) ,159.

Normes AFNOR (NF EN 12697-19) “bétons- Essai de perméabilité”.

ASHBY M.F et JONES D.R.H : Matériaux 2, Dunod, édition 1991.

GERVAIS, G. (2000) : Etudes des méthodes de mesures de la masse volumique et de teneur en eau des matériaux université du Québec.

Normes Françaises : Granulats-équivalent du sable (1991), P18-598.

Normes AFNOR. (1981), ‘ ‘ Bétons- Essai d’affaissement’ ’

Normes ISO 4110 : Béton Essai vété.

Norme Française : Granulats – mesures de la masse volumique, (1990) de la porosité et de la teneur en eau’ , AFNOR, PARIS.

NORMES AFNOR. (1981), P18-406 ‘ ‘ Béton-essai de compression’ ’

Razoug. R et Zine-Eddine. W : La technologie du béton.

Annexe

A. Méthode de Dreux Gorisse :

Une méthode de la représentation globale de la granulométrie des agrégats à l'aide d'un indice numérique appelé « module de finesse » a été donnée, en 1918, par Abrams. Ce module est la somme des refus en poids divisée par 100, obtenue par certains tamis américains de la série Tyler qui a été remplacée par les tamis ASTM. Cette méthode est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse global pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisis de manière que les vides dans ce mélange soient en principe, réduits au minimum ; les modules optimaux pour béton de granulat roulés, déterminent expérimentalement par Abrams, sont indiqués En fonction du dosage en ciment et de la dimension D du granulat le plus gros.

A) Critères de formulation :

1. Critère de maniabilité

La maniabilité est caractérisée, entre autre, par la valeur de l'affaissement au cône d'Abrams. Elle est choisie en fonction du type d'ouvrage à réaliser, du mode de réalisation et des moyens de vibration disponibles sur chantier (voir tableau I-3).

Tableau I-3 : Affaissement au cône conseillé en fonction du type d'ouvrage à réaliser.

Affaissement en cm	Plasticité	Désignation	Vibration conseillée	Usages fréquents
0 à 4	Ferme	F	Puissante	Bétons de VRD
5 à 9	Plastique	P	Normale	Bétons de masse
10 à 15	Très plastique	TP	Faible	Ouvrage courant
> 16	Fluide	FL	Léger piquage	Dalles et voiles

2. Critère de résistance

Le béton doit être formulé pour qu'à 28 jours sa résistance moyenne en compression atteigne la valeur caractéristique σ'_{28} .

Cette valeur doit, par mesure de sécurité, être supérieure de 15 % à la résistance minimale en compression fc_{28} nécessaire à la stabilité de l'ouvrage.

$$\sigma'_{28} = 1,15 \times f_{c28}$$

3. Choix du ciment

Le choix du type de ciment est fonction de la valeur de sa classe vraie $\sigma^{\circ}c$ et des critères de mise en œuvre (vitesse de prise et de durcissement, chaleur d'hydratation, etc...). La classe vraie du ciment est la résistance moyenne en compression obtenue à 28 jours sur des éprouvettes de mortier normalisé. Le cimentier garantit une valeur minimale atteinte par au moins 95 % des échantillons (dénomination normalisée spécifiée sur le sac de ciment). La correspondance entre classe vraie du liant et valeur minimale garantie par le fabricant est donnée dans le tableau I-4.

Tableau I-4 : Correspondance entre classe vraie et dénomination normalisée des ciments.

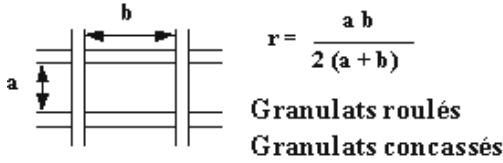
Dénomination normalisée	32,5 MPa	42,5 MPa	52,5 MPa
Classe vraie $\sigma^{\circ}c$	45 MPa	55 MPa	> 60 MPa

4. Choix des granulats

Les granulats à utiliser dans la fabrication du béton doivent permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Il faut en conséquence utiliser des granulats de toutes tailles pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. Pour permettre une mise en œuvre correcte du béton, il est important que la taille des plus gros granulats D_{max} ne s'oppose pas au déplacement des grains entre les armatures métalliques du ferrailage. Le tableau I-5 donne une borne supérieure de D_{max} à respecter en fonction de la densité du ferrailage, des dimensions de la pièce à réaliser, et de la valeur de l'enrobage des armatures. D_{max} est le diamètre du plus gros granulat entrant dans la composition du béton. Sa valeur peut être lue sur la feuille d'analyse granulométrique des granulats correspondants.

Tableau I-5 : Détermination de D_{max} en fonction du ferrailage et de l'enrobage.

Caractéristiques de la pièce à bétonner		D_{max}
Eh	Espacement horizontal entre armatures horizontales	$\leq eh / 1,5$
Ev	Espacement vertical entre lits d'armatures horizontales	$\leq ev$
	Enrobages des armatures :	

D	Ambiance très agressive ≥ 5 cm Ambiance moyennement agressive ≥ 3 cm Ambiance peu agressive ≥ 3 cm Ambiance non agressive ≥ 1 cm	$< d$
r	Rayon moyen du ferrailage 	$\leq 1,4 r$ $\leq 1,2 r$
Hm	Hauteur ou épaisseur minimale	$\leq Hm / 5$

B) Procédé de formulation de Dreux- Gorisse

La formulation théorique se base sur les étapes suivantes :

- Détermination du rapport C/E
- Détermination de C et E
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- Détermination de la compacité du béton
- Détermination des masses de granulats

1. Détermination du rapport C/E

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

σ'_{28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa(25 MPa)

σ'_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa(55 MPa)

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton(350 kg/m³)

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton

G' = Coefficient granulair (Tableau I-6) fonction de la qualité et de la dimension maximale des granulats.

Tableau I-6 : Coefficient granulair G' en fonction de la qualité et de la taille maximale des granulats D_{max} .

Qualité des granulats	Dimension D_{max} des granulats		
	Fins	Moyens	Gros
	$D_{max} < 12,5 \text{ mm}$	$20 < D_{max} < 31,5$	$D_{max} > 50 \text{ mm}$
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Ces valeurs supposent que le serrage du béton sera effectué dans de bonnes conditions (par vibration en principe)

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0,5) = 0,45 * 55 * (350/E - 0,5) = 24,75 * (350/E - 0,5) = 25 \text{ MPa}$$

$$\Rightarrow (350/E) = 25/24,75 + 0,5 = 1,51$$

$$\Rightarrow E = (350/1,51) = 231,79 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow (E/C) = (231,79/350) = 0,66$$

2. Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure I-1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

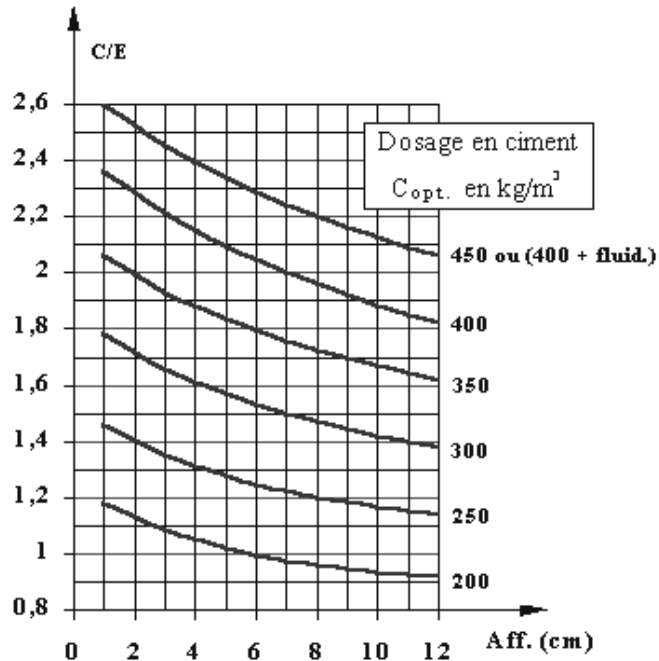


Figure I-1 : Abaque permettant la détermination de $C_{opt.}$

Pour cela il suffit de positionner sur l'abaque les valeurs de C/E et de l'affaissement au cône recherchées. Le point ainsi obtenu doit être ramené parallèlement aux courbes de l'abaque pour déterminer la valeur optimale de $C_{opt.}$

Le dosage effectif de ciment C à retenir doit être supérieur ou égal à $C_{opt.}$, et aux valeurs minimales C_{min} données par les formules 1 à 3 pour les bétons non normalisés (formule 1 lorsque le béton est en milieu non exposé, formule 2 pour un milieu exposé sans agressivité particulière et formule 3 pour un milieu agressif).

(1) : Milieu non exposé Avec : σ'_{28} en MPa et D_{max} en mm.

$$C_{min} (kg / m^3) = \frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[3]{1,25 D_{max}}}$$

(2) : Milieu exposé sans agressivité particulière

$$C_{min} (kg / m^3) = Max \left[\frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[3]{1,25 D_{max}}}, \frac{550}{\sqrt[3]{1,25 D_{max}}} \right]$$

(3) : Milieu agressif

$$C_{\min} (\text{kg} / \text{m}^3) = \text{Max} \left[\frac{250 + 10 \sigma'_{28}}{\sqrt[3]{1,25 D_{\max}}}, \frac{700}{\sqrt[3]{1,25 D_{\max}}} \right]$$

3. Détermination de E

La quantité d'eau E nécessaire à la confection du béton se calcule grâce aux valeurs de C/E et de C.

4. Corrections sur le dosage en ciment C et le dosage en eau E

Lorsque la dimension maximale des granulats Dmax est différente de 20 mm, une correction sur la quantité de pâte est nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. Les corrections (Tableau I-7) sont à apporter sur les quantités d'eau et de ciment (le rapport C/E reste inchangé).

Tableau I-7 : Correction sur le dosage de pâte en fonction de D_{max}.

Dimension maximale des granulats (Dmax en mm)	5	8	12,5	20	31,5	50	80
Correction sur le dosage de pâte (en %)	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

5. Détermination du mélange optimal à minimum de vides

Il s'agit de déterminer les pourcentages de sable, de gravillons et de cailloux qui vont permettre la réalisation d'un squelette granulaire à minimum de vides. Les quantités des matériaux de chaque classe granulaire doivent être judicieuses pour que les plus petits éléments viennent combler les vides laissés par les plus gros. La courbe granulométrique théorique d'un matériau à minimum de vides peut être schématisée par une droite brisée. La démarche proposée par Dreux pour déterminer le mélange optimum à minimum de vides est la suivante :

- Tracé de la droite brisée de référence
- Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Tracé de la droite de référence de Dreux

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

En abscisse :

Si $D_{\max} \leq 20 \text{ mm}$ $X = D_{\max} / 2 = 8 / 2 = 4 \text{ mm}$

Si $D_{\max} > 20 \text{ mm}$ $\text{Module}(X) = (\text{Module}(D_{\max}) + 38) / 2$

En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 (D_{\max})} + K' \quad \text{où } K' = K + K_s + K_p$$

$$Y = 50 - \sqrt{1,25 * 4} + 0,78 = 48,54$$

$$K' = K + K_s + K_p = 0 + 0,78 + 0 = 0,78$$

Y est donné en pourcentage de passants cumulés

K est un coefficient donné par le tableau I-8, Ks et Kp étant des coefficients correctifs définis par :

Ks (correction supplémentaire fonction de la granularité du sable) :

$$K_s = (6 \text{ Mfs} - 15) \text{ avec Mfs le module de finesse du sable. } K_s = (6 * 2,63 - 15) = 0,78$$

Kp (correction supplémentaire si le béton est pompable) :

Kp = +5 à +10 selon le degré de plasticité désiré.

Tableau I-8 : K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

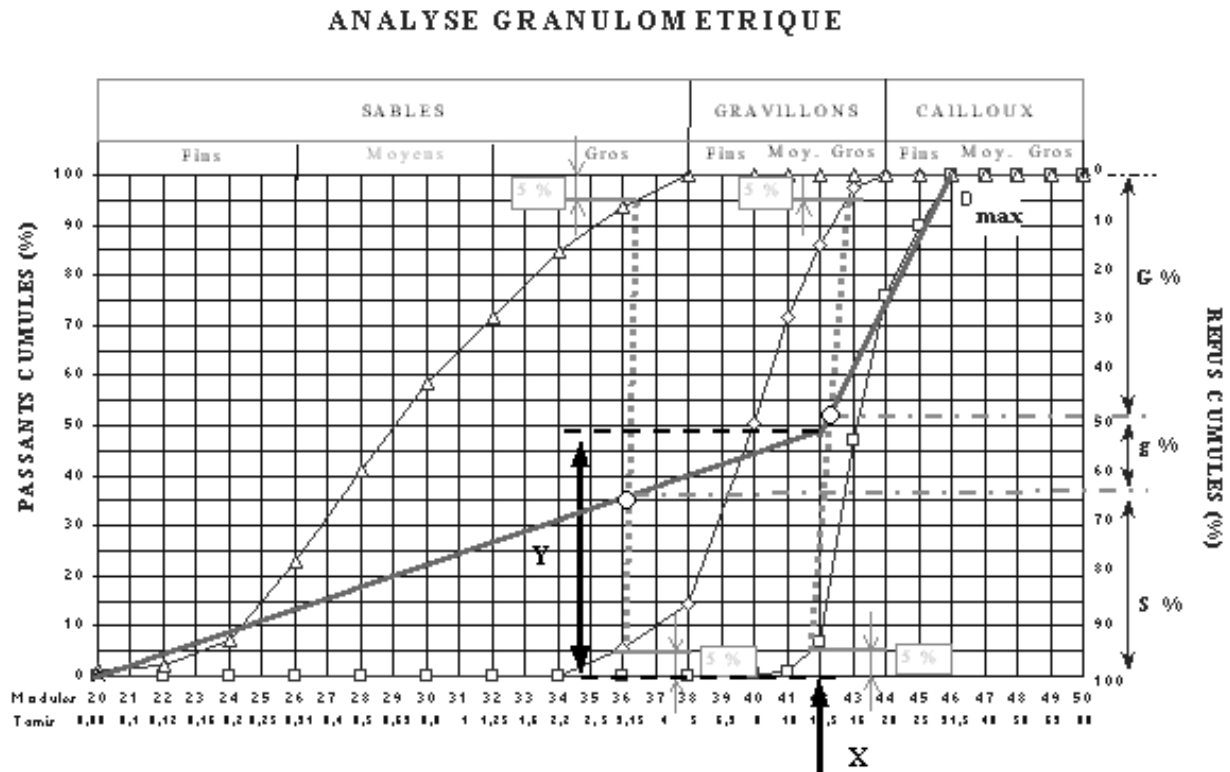
Vibration		Faible		Normale		Puissante	
		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Forme des granulats (du sable en particulier)							
Dosage en Ciment	400 + Fluide	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2
	250	+ 6	+ 8	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4
	200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

La droite de Dreux a pour origine le point 0 ; l'origine du graphe ; et pour extrémité le point Dmax caractéristique des plus gros granulats.

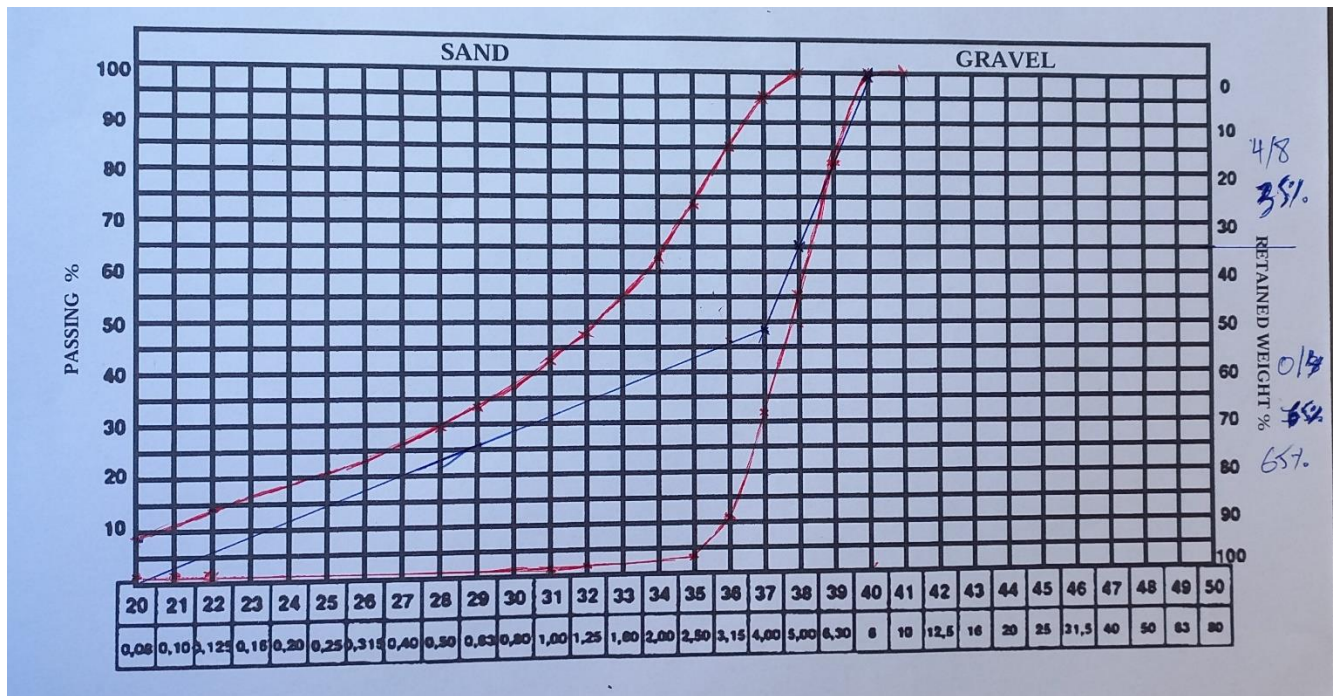
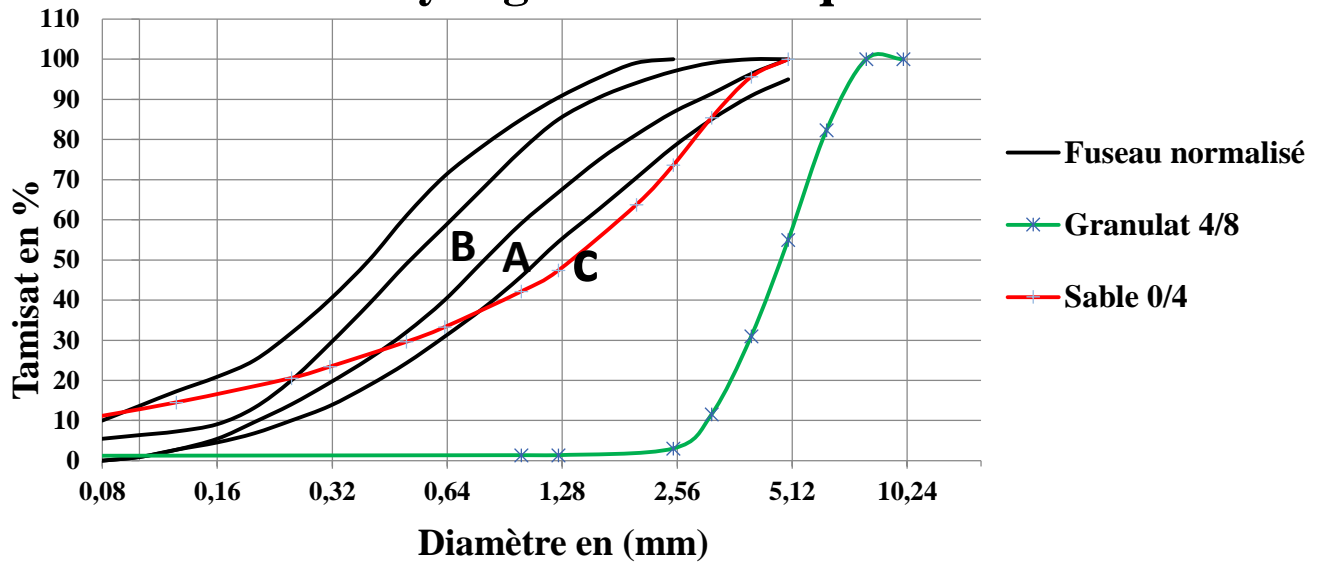
6. Détermination des pourcentages en volumes absolus de matériaux

Pour déterminer les pourcentages en volumes absolus de granulats permettant la confection d'un mélange à minimum de vide il est nécessaire de tracer comme indiqué sur la figure I-2 des droites reliant deux à deux les courbes granulométriques des matériaux du mélange.

Ces droites sont définies par 5 % de refus pour le matériau à faible granularité et par 5 % de passant pour le matériau à forte granularité. L'intersection des droites ainsi tracées avec la droite brisée de Dreux permet, par prolongement sur l'axe des ordonnées, de déterminer les pourcentages en volumes absolus de chaque matériau. Ces pourcentages doivent permettre l'obtention d'un mélange dont la courbe granulométrique est proche de la droite brisée de Dreux. Si la courbe du mélange obtenue est trop éloignée de la courbe de Dreux, un ajustement de ces pourcentages peut s'avérer nécessaire.



Analyse granulométrique du sable



Sable 0/4	
5	100,00
4	95,63
3,15	85,47
2,5	73,62
2	63,75
1,25	47,39
1	42,17
0,63	33,29
0,5	29,62
0,315	23,41
0,25	20,59
0,125	14,53
0,063	9,45

Granulat 4/8	
10	100,00
8	100,00
6,3	82,37
5	55,02
4	31,00
3,15	11,55
2,5	3,04
1,25	1,37
1	1,37
0,063	1,22

7. Détermination de la compacité du béton

Pour déterminer les masses de granulats entrant dans la composition de béton, il est nécessaire de déterminer la compacité du béton qui correspond au volume absolu en m³ de solide contenu dans un mètre cube de béton (volumes absolus de ciment, de sable, de gravette et de gravier). Sa valeur de base c_0 est fonction de la taille des granulats, de la consistance du mélange et des moyens de vibration mis en œuvre (Tableau 9). Des corrections (c_1 , c_2 et c_3) fonctions de la forme des granulats, de la masse volumique des granulats et du dosage en ciment, doivent être apportées (Tableau I-9) :

$$c = c_0 + c_1 + c_2 + c_3 = 0,790 + 0,00 + 0 + 0 = \mathbf{0,790}$$

La valeur de la compacité c du béton permet de déterminer le volume total absolu V de granulats intervenant dans la formulation du béton : $V = (c - V_c) / \rho_s(c)$ où V_c est le volume de ciment défini par $V_c = C / \rho_s(c)$ où $\rho_s(c)$ est la masse volumique absolue du ciment utilisé.

Tableau I-9 : Compacité du béton en fonction de Dmax, de la consistance et du serrage.

Consistance	Serrage	compacité (c0)						
		Dmax=5	Dmax=8	Dmax=12,5	Dmax = 20	Dmax=31,5	Dmax = 50	Dmax = 80
Molle (TP-FI)	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique (P)	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme (F)	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

Note :

* Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes : - Sable roulé et gravier concassé (c1 = - 0,01)

- Sable et gravier concassé (c1 = - 0,03)

* Pour les granulats légers on pourra diminuer de 0,03 les valeurs de c : (c2 = -0,03)

* Pour un dosage en ciment $C \neq 350 \text{ kg/m}^3$ on apportera le terme correctif suivant : $(c3 = (C - 350) / 5000)$

8. Détermination des masses de granulats

Connaissant le volume total absolu des granulats (V) et les pourcentages en volume absolue de sable (S %), de gravillon (g %) et de gravier (G %), il est alors possible de déterminer les volumes de sable (Vs) de gravillon (Vg) et de gravier (VG) ainsi que leurs masses respectives (S, g et G) :

$$V_c = 350 / 2,9 = 120,69 \text{ L} \quad E/C = 0,66$$

$$V_e = (350 * 0,66) / 1 = 231 \text{ L}$$

$$V = 1000 - (120,69 + 231) = \mathbf{648,31 \text{ L}}$$

$$V_s = V * S \% \quad S = V * S \% * \rho_s(S) \quad S = 648,31 * 35 \% * 2,48 = \mathbf{562,73 \text{ kg}}$$

$$V_g = V * g \% \quad g = V * g \% * \rho_s(g) \quad g = 648,31 * 65 \% * 2,6 = \mathbf{1095,64 \text{ kg}}$$

A défaut de renseignements précis concernant les masses volumiques absolues des matériaux, on peut en première approximation utiliser les valeurs suivantes :

$$\rho_s(c) = 2,9 \text{ t/m}^3, \rho_s(S) = 2,48 \text{ t/m}^3, \rho_s(g) = 2,6 \text{ t/m}^3$$

9. Obtention de la formulation théorique de béton

La formulation théorique de béton recherchée est définie par les quantités d'eau E, de sable S, de gravillon g et de gravier G. La masse totale d'un mètre cube de béton $\Delta_o = (E + C + S + g)$ est pour un béton courant comprise entre 2,3 t/m³ et 2,5 t/m³. La formulation obtenue reste théorique et il convient de la tester et de la corriger par des essais de laboratoire avant d'être utilisée.