



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 و المعمارية

Department of Civil Engineering & Architecture

N° d'ordre : M/GCA/2020



Mémoire de Master académique

Filière : Génie Civil

Spécialité : VOA

Etude des propriétés des bétons drainants en fonction des paramètres de composition

Présenté par :

- Elharouchi Amira
- Benkoibiche chahrazed

Présidente : BELAS Nadia Professeure UMAB Mostaganem

Examineur : BELARIBI Omar M.C.A UMAB Mostaganem

Encadrant : MEBROUKI Abdelkader Professeur UMAB Mostaganem

Année Universitaire : 2019 / 2020

Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail
À ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais
Jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

- ❖ A l'homme, mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma Réussite et tout mon respect : mon cher père Abdelkader.*
- ❖ A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, qui n'a jamais Dit non à mes exigences et qui n'a épargné aucun effort pour me rendre heureuse : mon adorable mère Faiza.*
- ❖ A ma chère sœur Kawther, Mon chère frère Mohamed et mon fiancé Abdelmadjid qui n'ont pas cessée de me conseiller, encourager et soutenir tout au long de mes études. Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur.*
- ❖ A mes amies Sihem, Karima, Hadjer et à tt mes cousines*
- ❖ A mes grands-mères, mes oncles et mes tantes. Que Dieu leur Donne une longue et joyeuse vie.*
- ❖ A tous les amis que j'ai connu jusqu'à maintenant. Merci pour leurs amours et leurs encouragements.*

Amira.

Dédicace

À ma famille

À ma promotion

À tous mes amis

Chahrazed.

Remercîment

Au terme de ce précieux travail

*Je tiens 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.

Je tiens à remercier vivement mon encadrant

Pr.Mebrouki

D'avoir pris en charge la direction scientifique

*Pendant le déroulement et la réalisation de notre
travail.*

A tous les enseignants de Faculté de génie civil

de Mostaganem.

A tous mes collègues de la promotion 2020 de

Génie civil.

Je tiens également à remercier les membres de

Jury qui ont accepté de juger avec sagesse et honnêteté le

Présent travail de fin d'étude.

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, d'ailleurs ces dernières décennies ont été marquées par une utilisation croissante du béton drainant dans le monde. Les applications les plus courantes sont : les aires de stationnements, les routes piétonnes et carrossables, les piscines, air de jeux, terrain de tennis. Néanmoins le béton drainant possède des caractéristiques mécaniques faibles comparées au béton ordinaire, ceci est dû à sa porosité effective relativement importante. L'objectif primordial pour le concepteur est de trouver un bon équilibre entre les propriétés mécaniques et drainantes conformément aux exigences voulues.

Dans cette étude, un intérêt particulier est porté sur le béton drainant appelé aussi béton perméable ou caverneux, à travers ce travail, nous étudions une composition d'un béton drainant par une formule proposée par la filière « GRANU-OUEST » du groupe « GICA ».

Pour ce faire, une caractérisation générale des matériaux utilisés a été faite, suivie de l'étude de la fabrication du béton étudié. Ensuite des essais mécaniques ont été réalisés à différents âges du béton. Notre étude a permis l'obtention d'un bon béton avec des caractéristiques performantes.

Mots clés : Béton drainant, Formulation, état frais, état durci.

Abstract

Drainage concrete (also called porous concrete, permeable concrete) is a special type of high porosity concrete that absorbs rain water and facilitates its natural flow into the ground.

This concrete is generally used for its drainage characteristics, more over these last decades have been marked by an increasing use of drainage concrete in the world. The most common applications are: parking areas, pedestrian and motorable roads, swimming pools, play grounds, tennis courts. However, draining concrete has weak mechanical characteristics compared to ordinary concrete, this is due to its relatively high effective porosity. The primary objective for this work is to find a good balance between mechanical and drainage properties in accordance with the desired requirements.

In this study, a particular interest is focused on the draining concrete also called permeable or cavernous concrete, through this work, we studied a composition of a draining concrete by a formula proposed by the "GRANU-OUEST" sector of the "GICA" group ".

To do this, a general characterization of the materials used was made, followed by the study of the manufacture of the concrete studied. Then mechanical tests were carried out at different ages of the concrete. Our study made it possible to obtain good concrete with high performance characteristics.

المخلص

خرسانة الصرف (وتسمى أيضًا الخرسانة المسامية ، الخرسانة القابلة للنفاذ) هي نوع خاص من الخرسانة عالية

المسامية التي تمتص مياه الأمطار وتسهل تدفقها الطبيعي إلى الأرض.

تُستخدم هذه الخرسانة عمومًا لخصائص الصرف الخاصة بها ، علاوة على ذلك ، فقد تميزت العقود الماضية بزيادة استخدام خرسانة الصرف في العالم. التطبيقات الأكثر شيوعًا هي: مناطق وقوف السيارات وطرق المشاة والسيارات وحمامات السباحة والملاعب وملاعب التنس. ومع ذلك ، فإن تصريف الخرسانة له خصائص ميكانيكية منخفضة مقارنة بالخرسانة العادية ، ويرجع ذلك إلى مساميتها الفعالة العالية نسبيًا. الهدف الأساسي للمصمم هو إيجاد توازن جيد بين الخصائص الميكانيكية وخصائص الصرف وفقًا للمتطلبات المطلوبة.

في هذه الدراسة ، يتم التركيز بشكل خاص على الخرسانة المستنزفة والتي تسمى أيضًا الخرسانة النفاذة أو الكهفية ، من خلال هذا العمل ، درسنا تركيبية خرسانة التصريف من خلال الصيغة التي اقترحها قطاع "GRANU-OUEST" لمجموعة "GICA".

للقيام بذلك ، تم عمل توصيف عام للمواد المستخدمة ، متبوعًا بدراسة تصنيع الخرسانة المدروسة. ثم أجريت اختبارات ميكانيكية على عمر مختلف للخرسانة. أتاحت دراستنا الحصول على خرسانة جيدة ذات خصائص أداء عالية.

SOMMAIRE

Chapitre I : Définition & Préparation

1-Introduction :.....	2
2-composition du béton drainant :.....	3
2-1-Ciment :	3
2-2-Granulats :.....	3
2.2.1 Gros granulats :	3
2.2.2 Granulats fins :	4
2-3-Adjuvants :.....	4
2-3-1- Fumée de silice :.....	5
2-3-2- Superplastifiant réducteur d'eau :.....	5
2-4-EAU :	6
2-5-Fibres :	6
3- Propriétés du béton drainant :	6
3-1-Retrait au séchage :.....	7
3-2-Résistance à la compression :	7
3-3-Résistance au cycle gel/dégel :	7
3-4-Masse Volumique :	8
3-5- Rhéologie et Pompabilité :.....	8
3-6- Porosité et perméabilité (taux de percolation) :	8
3-7- Autres propriétés du béton drainant :.....	8
a- Propriétés à l'état frais :.....	8
b- Propriétés à l'état durci :.....	8
4- Caractéristiques du béton drainant :.....	9
5- l'utilisation du béton drainant :	9
6- Les principales limitations du béton drainant sont :.....	11
7-les Avantages du béton drainant :	11
7-1- Avantages environnementaux :.....	11
7-2-Avantages pour la sécurité :.....	11
8-Fabrication du béton drainant :	11
8-1- La fabrication en industrie :.....	12
8-2-La méthode traditionnelle :.....	12
9- Les étapes de mise en place d'un béton poreux	12
9-1- La préparation du sol :.....	12

9-2- La mise en place des joints de dilatation :	13
9-3- La pose du béton proprement dite :	13
10-Mise en place :	13
10-1- Préparation du sol :	13
10-2- Installation d'un joint de dilatation :	14
10-3-Etalage du béton drainant :	14
10-4-Fin de chantier :	15
11- Conclusion :	15

CHAPITRE II :Matériaux & Méthodes

1- Introduction :	19
2- Matériaux	19
2-1-le ciment :	19
2-1-1- Composition du ciment :	19
2-1-2- Caractéristiques du ciment :	19
2-2- le sable :	21
1- Les différents essais de caractérisation des sables :	22
a- Essai d'équivalent de sable (P18-598) :	22
b- Essai au Bleu de méthylène (EN933-9) :	23
c- Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18-560) :	24
2-3 Le gravier :	28
a-Analyse granulométrique par tamisage : (P18-560) :	28
2-5-Masses volumiques (NF P18-555) :	29
a- Masse volumique apparente (M _{Va}) :	29
b-La masse volumique absolue ou réelle (M _{Vr}) :	30
3-Méthodes.....	30
3-1 Equivalant de sable : (P18-598) :	30
a-1-Principe de l'essai :	30
a-2-Appareillage utilisé :	30
a-3-Description de l'essai :	31
3-2- Essai au Bleu de méthylène :(EN933-9) :	32
b-1-Principe de l'essai :	32

b-2-Appareillage utilisé :	32
b-3- Description de l'essai :	32
4-Formulation du béton drainant :	33
5- Essais sur le béton frais	37
5-1 Essai au cône d'Abrams : (NF EN 12350-2) :	37
A-1-Principe de l'essai :	37
A-2-Equipement nécessaire :	37
A-3-description de l'essai :	37
5-2- Essai teneur en air (NF EN 12350-7) :	38
b-1 Principe de l'essai :	39
b-2-Equipement nécessaire :	39
b-3-description de l'essai :	39
5-3-Essai Vébé : (Norme ISO 4110) :	39
C-1-Principe de l'essai :	39
C-2- Equipement nécessaires :	39
C-3-Conduite de l'essai :	40
6-Essai sur le béton durci :	41
6-1-Essai de porosité (NF P18-459) :	41
a-1-Conduite de l'essai :	41
6-2-Essai de perméabilité : (NF EN 12697-19) :	42
b-1-Conduite de l'essai :	42
6-4- Essai de compression :(NFP 18-406) :	43
d-1-Conduite de l'essai :	43
7- Conclusion :	44

Chapitre III : Résultats et discussion

1- Introduction :	Error! Bookmark not defined.
2- Rappel sur la composition des bétons adoptés	Error! Bookmark not defined.
3- Résultats des essais sur béton frais :	Error! Bookmark not defined.
3-1- Affaissement au cône d'Abrams :	Error! Bookmark not defined.
3-2- Teneur en air : (Aéromètre)	Error! Bookmark not defined.
4- Résultats des essais sur béton durci :	Error! Bookmark not defined.

4-1- Essai de perméabilité à l'eau :	Error! Bookmark not defined.
4-2- Résistances à la compression :	Error! Bookmark not defined.
4-2-1- Béton témoin :	Error! Bookmark not defined.
4-2-2- Béton avec granulats lavés :	Error! Bookmark not defined.
4-4-3- béton avec fumée de silice :	Error! Bookmark not defined.
4-3-4- Béton avec adjuvant haut réducteur d'eau sky841 :	Error! Bookmark not defined.
5- Réalisations de pavés/blocs en béton drainant :	Error! Bookmark not defined.
6- Conclusion :	Error! Bookmark not defined.

Liste des figures

Chapitre I

Figure 1-I : échantillon d'un béton drainant.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 2-I : Echantillon d'un ciment	Error! Bookmark not defined.
Figure 3-I: Échenillions des sables 0/1 et 0/3.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 4-I: Fumée de silice.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 5-I: Réducteur d'eau MasterGlenium SKY 841.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 6-i: Autour d'une maison en béton drainant.	Error! Bookmark not defined.
Figure 7-I: Parking en béton drainant.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 8-I: Autour d'une piscine en béton drainant	Error! Bookmark not defined.
Figure 9-I: stade de tennis en béton drainant.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 10-I: préparation du sol.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 11-I: pose du joint de dilatation	Error! Bookmark not defined.
Figure 12-I: étalage du béton drainant.....	Error! Bookmark not defined.
Figure 13-I: Damage du béton drainant.....	Error! Bookmark not defined.

Chapitre II

Figure 1-II Echantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5)	19
Figure 2-II : Echantillon de sable OZMERT 0/1.....	21
Figure 3-II :Echantillon de sable OZMERT 0/3.....	21
Figure 4-II : Résultats de l'essai.....	23
Figure 5-II : Courbe Granulométrique du sable 0/1.	26
Figure 6-II : Courbes Granulométrique du sable 0/3.....	26
Figure 7-II : Courbe Granulométrique du sable 0/1.	26
Figure 8-II] : Courbe granulométrique du sable optimal.....	27
Figure 9-II: Courbe granulométrique des 3 sables.	28
Figure 10-II: Courbe granulométrique du gravier 3/8.	29
Figure 11-II:: schéma explicatif d'équivalent de sable	31
Figure 12-II: Eprouvettes de l'essai Equivalent de Sable.	31
Figure 13-II: Appareillages utilisés.	32
Figure 14-II: Essai au bleu de méthylène.	33
Figure 15-II: Réalisation du béton drainant témoin.....	34
Figure 16-II: Béton drainant adjuvanté au réducteur d'eau.....	36
Figure 17-II : équipement utilisé	37
Figure 18-II: Mode opératoire	38
Figure 19-II: Manomètre	39
Figure 20-II: Matériel pour l'essai vébé	40
Figure 21-II: schéma explicatif de l'essai	41
Figure 22-II: Mode opératoire de l'essai	41
Figure 23-II: schéma explicatif du principe de l'essai de perméabilité.....	42
Figure 24-II: Essai de la résistance à la compression.....	43

Chapitre III

Figure 1-III : Essais à l'état frais	47
Figure 2-III: essai de perméabilité à l'eau	50
Figure 3-III : Résistance à la compression sur éprouvette 11x22.....	51
Figure 4-III : courbe résistance à la compression (béton témoin)	52
Figure 5-III Diagramme de la variation de la résistance à la compression en fonction du temps.	52
Figure 6-: courbe résistance à la compression pour béton avec granulats lavés	54
Figure 7-III : diagramme de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps (gr.lavés).	54
Figure 8-III : courbe résistance à la compression pour béton avec fumée de silice	56
Figure 9-III : diagramme de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps (fumée de silice).....	56
Figure 10-III : courbe résistance à la compression pour béton adjuvanté	58
Figure 11-III : Diagramme de la variation des résistances à la compression en fonction du temps des bétons adjuvantés.....	59
Figure 12-III : Diagramme de l'évolution résistances à la compression en fonction du temps des différents bétons	60
Figure 13-III : pavé rectangulaire en béton drainant.	62
Figure 14-III: perméabilité du béton drainant.	62

Liste des tableaux

CHAPITRE II

Tableau 1-II : Paramètres physico-chimique du ciment.....	20
Tableau 2-II Caractéristiques chimiques du ciment.....	20
Tableau 3-II :Essai d'équivalent du sable 0/1	22
Tableau 4-II: Essai d'équivalent de sable 0/3.....	22
Tableau 5-II : Essai au bleu de méthylène de sable 0/1 et 0/3.....	23
Tableau 6-II : Analyse granulométrique du sable 0/1	24
Tableau 7-II: Analyse granulométrique sable 0/3.	25
Tableau 8-II: Analyse granulométrique du sable optimal	27
Tableau 9-II : Analyse granulométrique du gravier 3/8.	28
Tableau 10-II: Masse volumique absolue et apparente des granulats et de l'adjuvant.....	30
Tableau 11-II : Composition du béton drainant adoptée (béton témoin).....	34
Tableau 12-II: Composition du béton drainant avec la fumée de silice	35
Tableau 13-II : Composition du béton drainant adjuvanté au réducteur d'eau.	36
Tableau 14-II: Consistance du béton à partir de l'affaissement.	38

CHAPITRE III

Tableau 1-III : Compositions différents bétons adoptées	46
Tableau 2-III : Normes des essais à l'état frais.	47
Tableau 3-III : Consistances des différents bétons.....	48
Tableau 4-III : Teneur en air du béton en fonction du diamètre.....	49
Tableau 5-III : Résultats des écrasements des éprouvettes (béton témoin).....	51
Tableau 6-III : résultats (béton avec g.lavée)	53
Tableau 7-III : Résistances à la compression des bétons avec fumée de silice	55

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 **le 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 (Dmax 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 comme on peut en connaître à La Réunion. **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. Plus besoin de vous soucier de l'écoulement des eaux de pluies et fini les flaques d'eau !

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

La présente étude de recherche traite l'amélioration des propriétés physico-mécaniques de ce type de béton. En effet, se basant sur une étude antérieure (*Elaboration et étude d'un béton drainant, Ould Ahmed O. & Yakho M.A, Mémoire de Master, D.G.C.A, Université UMAB de Mostaganem, juin 2019*) de laquelle, la formulation de base du béton drainant a été obtenue, cette formulation servira à confectionner des bétons témoins pour comparaison.

L'amélioration des caractéristiques du béton se basera sur la modification des paramètres de composition. Dans ce contexte en plus du béton de référence, trois autres bétons seront confectionnés. Un premier béton sera élaboré à base granulats (sable et gravillons). Le second béton préparé en ajoutant la fumée de silice disponible en grande quantité localement, nous avons opté d'utiliser 10% de fumée de silice en ajout au ciment, vue que notre étude concernera les propriétés mécaniques à court terme (28 jours). Un troisième et dernier béton sera réalisé par utilisation d'un superplastifiant haut réducteur d'eau. Ce choix se justifie par

l'aspect ferme du béton drainant et de la difficulté de sa mise en œuvre. On gardera le rapport E/C constant, ce qui entraînerait une meilleure maniabilité du béton ainsi confectionné.

Notre mémoire sera composé de trois principaux chapitres.

Le chapitre (I) « Définition & préparation » visera une étude bibliographique (aperçu général), il 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) « Matériaux & Méthodes » sera consacré à la préparation de l'étude expérimentale, dans lequel nous allons définir les principales caractéristiques et identifications des différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons (graviers, ciment, sables, eau, fumée de silice et superplastifiant haut réducteur d'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). Une analyse granulométrique sera aussi effectuée pour les classes granulaires 0/1 ,0/3,3/8. Ensuite nous allons présenter la formulation du béton drainant (poreux) témoin, puis des autres mélanges avec granulats lavés, fumée de silice puis du béton avec adjuvants. Nous présenterons 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 (III) « Résultats & discussion », constituera la dernière partie de notre mémoire. Nous allons présenter les résultats et discussions des essais réalisés sur le béton à l'état frais et à l'état durci.

Enfin notre travail sera clôturé par une conclusion générale tout en synthétisant les principaux résultats trouvés et en suggérant des perspectives sur l'emploi du béton drainant.

Chapitre I : Définition & Préparation

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.[1]

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 1-I : 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 2-1 : 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 Committee 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 à

CHAPITRE 1

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]

2.2.2 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% a été utilisé pour formuler un béton drainant ayant une résistance à la compression à 28 jours de 50 MPa.[2]



Figure 3-I: Échantillons des sables 0/1 et 0/3

2-3-Adjuvants :

Les adjuvants utilisés doivent satisfaire aux exigences de la norme ASTM C 494. Lorsque de faibles rapports E/C sont utilisés ($< 0,30$), il est nécessaire d'employer un agent réducteur d'eau ou un super-plastifiant pour avoir une meilleure maniabilité et des propriétés mécaniques améliorées. D'autres adjuvants sont également utilisés, notamment les

CHAPITRE 1

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. [3]

2-3-1- Fumée de silice :

Microlisica est un dioxyde de silicium (silice) amorphe composé de particules primaires sphériques submicroniques et d'agglomérats de ces particules. Le matériau est très réactif dans les systèmes cimentaires et les systèmes de liant céramique.



Figure 4-I: Fumée de silice

2-3-2- 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.* Dans la présente étude, le superplastifiant à utiliser est le Master Glenium SKY 841, c'est un superplastifiant haut réducteur d'eau basé sur la technologie d'une nouvelle génération de polycarboxylates. Sa structure chimique agit sur la défloculation des grains de ciment mais aussi de toutes les fines présentes dans le béton.

Les molécules présentes dans le superplastifiant pour le béton prêt à l'emploi (Master-Glenium SKY 841) vont tout d'abord s'adsorber sur les grains de ciment et créer un phénomène combiné de répulsion électrostatique et stérique.

CHAPITRE 1

Ce phénomène va empêcher tout rapprochement entre les particules de ciment : il en résulte un état dispersé et une fluidification du béton.



Figure 5-1: Réducteur d'eau MasterGlenium SKY 841

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. [3]

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.[4]

3- Propriétés du béton drainant :

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

CHAPITRE 1

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. [4]

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. [5]

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 [Z. Yang et al, 2006]. 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)
- Force de compression (4MPa – 30MPa)

4- Caractéristiques du béton drainant :

Le béton poreux se distingue nettement des bétons courants par ses caractéristiques. [6]

- 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. [7].

CHAPITRE 1



Figure 6-i: Autour d'une maison en béton drainant.



Figure 7-I: Parking en béton drainant.



Figure 8-I: Autour d'une piscine en béton drainant



Figure 9-I: 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. [8]

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]

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]

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.

CHAPITRE 1

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 10-I: préparation du sol

CHAPITRE 1

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 11-I: pose du joint de dilatation

10-3-Etalage 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 12-I: étalage du béton drainant

CHAPITRE 1

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-13). Pour des surfaces importantes, des engins de compactage seront utilisés.



Figure 13-I: 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

CHAPITRE 1

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 : Matériaux & Méthodes

1- Introduction :

Le béton drainant est tout comme la plupart des types de bétons, il est composé des matériaux de base que sont : le ciment ; les granulats.

Sa préparation nécessite bien entendu l'apport d'eau et éventuellement d'adjuvants. Si l'on souhaite le personnaliser, on peut y ajouter un colorant ou du vernis protecteur.

Pour obtenir un béton qui répond aux exigences demandées, il est préférable que ces constituants soient conformes aux normes.

Dans notre cas on va présenter deux différents composants supplémentaires dans le but d'essayer d'améliorer les caractéristiques et obtenir de meilleurs résultats.

Dans ce chapitre, seront présentés les différents matériaux utilisés dans la confection du béton drainant et leurs caractéristiques ainsi que les essais correspondant adoptés. [10]

2- Matériaux

2-1-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. [11]

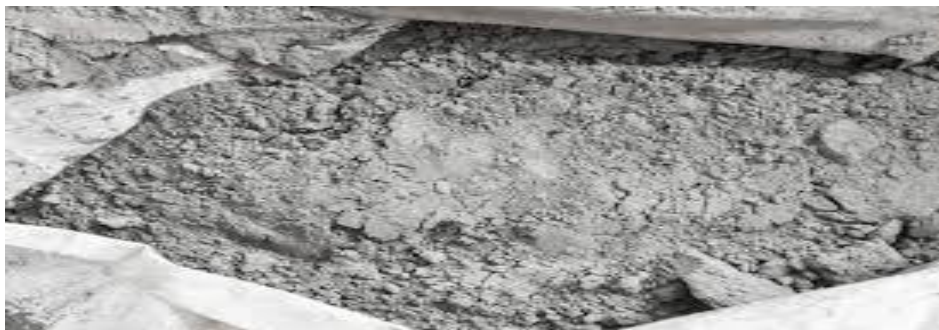


Figure 14-II Echantillon de ciment (CPJ CEM II 42.5)

2-1-1- Composition du ciment :

Le ciment Portland composé CPJ-CEM II/A 42.5 est constitué de 80 à 94% de clinker Portland, de 6 à 20% maximum d'ajouts (calcaire pur) et de Constituants secondaires (0 à 5% sulfate de calcium comme régulateur de prise).

2-1-2- Caractéristiques du ciment :

Les caractéristiques physico-mécaniques de ciment utilisé sont présentées dans le tableau [II.1] ci-dessous.

Tableau 1-II : Paramètres physico-chimique du ciment

Paramètres	Résultats			Norme
	Mini	Maxi	Moy	
physico-mécaniques				NA 442
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 2 jours (MPa)	3.96	4.71	4.31	-
Flexion 7 jours (MPa)	5.37	6.27	5.91	-
Flexion 28 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 sont données par le tableau [II. 2] ci-dessous.

Tableau 2-II Caractéristiques chimiques du ciment.

Paramètres chimiques	Résultats			Norme
	Mini	Maxi	Moy	
				NA 442
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	-

2-2- le sable :

Deux types de sables ont été utilisés. Un sable fin (0/1 mm) et un sable concassé (0/3 mm) de provenance de la carrière OZMERT, commune de FROUHA, wilaya de MASCARA.

Les photos ci-dessous sont présentées afin de montrer l'aspect de chaque sable utilisé dans la confection de tous les bétons de cette étude.



Figure 15-II : Echantillon de sable OZMERT 0/1.



Figure 16-II : Echantillon de sable OZMERT 0/3.

1- Les différents essais de caractérisation des sables :

a- Essai d'équivalent de sable (P18-598) :

⇒ l'équivalent de sable est donné par la formule suivante :

$$E_s = 100 * h_2 / h_1 \quad (\text{II.1})$$

⇒ l'équivalent de sable visuel est donné par la formule suivante :

$$E_{sv} = 100 * h'_2 / h_1 \quad (\text{II.2})$$

Tableau 3-II :Essai d'équivalent du sable 0/1

	Eprouvette 1	Eprouvette 2
h_1	12.2	12.2
h_2	10.8	10.3
h'_2	10.8	10.3
E.S.V	84.4	88.5
E.S	84.4	88.5

Moyenne $E_s(\%) = 86.5 \%$

Tableau 4-II: Essai d'équivalent de sable 0/3

	Eprouvette 1	Eprouvette 2
h_1	9.8	9.8
h_2	7.6	7.3
h'_2	7.6	7.3
ES _v	77.6	74.5
E.S	77.6	74.5

Moyenne $ES_v(\%) = 76.0 \%$

Le sable 0/1 présente un équivalent de sable vérifiant **ES > 80%** : Sable très propre.

L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Le sable 0/3 présente un équivalent de sable vérifiant $70 \% < ES < 80 \%$: Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.

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

Est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer la propreté d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol, et les différents types d'argiles qu'il contient. Le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles de type montmorillonite (argile gonflante) et de matières organiques. Les autres argiles (Illites et Kaolinites) sont peu sensibles au bleu de méthylène.

L'essai consiste à mesurer la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée.

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

Tableau 5-II : Essai au bleu de méthylène de sable 0/1 et 0/3.

Masse sèche de la prise d'essai de la fraction granulométrique 0/1 et 0/3 mm (au gramme près) M1	M1=200g
Quantité totale de solution de colorant ajoutée, V1	V1= 10.5ml
Valeur MB, exprimée en gramme de colorant par kg de grains de fraction 0/1 et 0/3 mm	MB=0.52%

Moins la valeur du bleu est élevée, plus le sable est propre. La valeur trouvée (MB=0,52%) étant faible, on conclue que les deux sables sont propres.

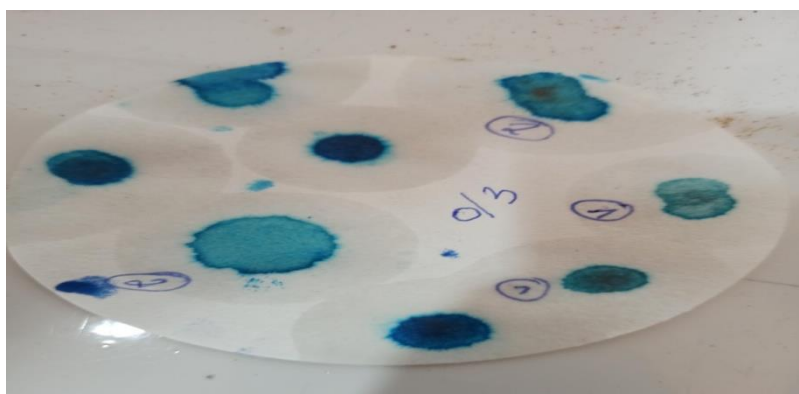


Figure 17-II : Résultats de l'essai

c- Analyse granulométrique par tamisage (NF P 18-560) :

Les résultats des essais de l'analyse granulométrique effectuée sur chaque sable sont représentés par les courbes granulométriques suivantes :

Tableau 6-II : Analyse granulométrique du sable 0/1

DIAMETRE TAMIS (mm)	POIDS TOTAL SEC=562 g			TAMISATS %
	REFUS (g)	REFUS CUMULE	REFUS %	
5	0.00	0.00	0.00	100%
2.5	0.00	0.00	0.00	100%
1.25	0.00	0.00	0.00	100%
0.63	0.00	0.00	0.00	100%
0.315	263	263	46.8%	53.2%
0.125	277	540	96.1%	3.9%
0.063	5	545	97%	3%
Module de finesse (NF P 18-554)		1.68	1.8 < MF < 3.2	
Teneur en fine (%)		3		

Tableau 7-II: Analyse granulométrique sable 0/3.

DIAMETRE TAMIS mm	POIDS TOTAL SEC=737g			TAMISATS %
	REFUS (g)	REFUS CUMULE	REFUS %	
5	0.00	0.00	0.00	100%
2.5	89	161	21.8%	78.2%
1.25	127	357	55%	45%
0.63	69	474	64.3%	35.7%
0.315	62	569	77.2%	22.8%
0.125	9	602	81.7%	18.3%
0.063	56	658	89.3%	10.7%
Module de finesse (NF P 18-554)		2.5	1.8 < MF < 3.2	
Teneur en fine (%)		10.7		

Les résultats de l'analyse granulométrique obtenus des deux tableaux [II.6] et [II.7] seront représentés dans les courbes suivantes :

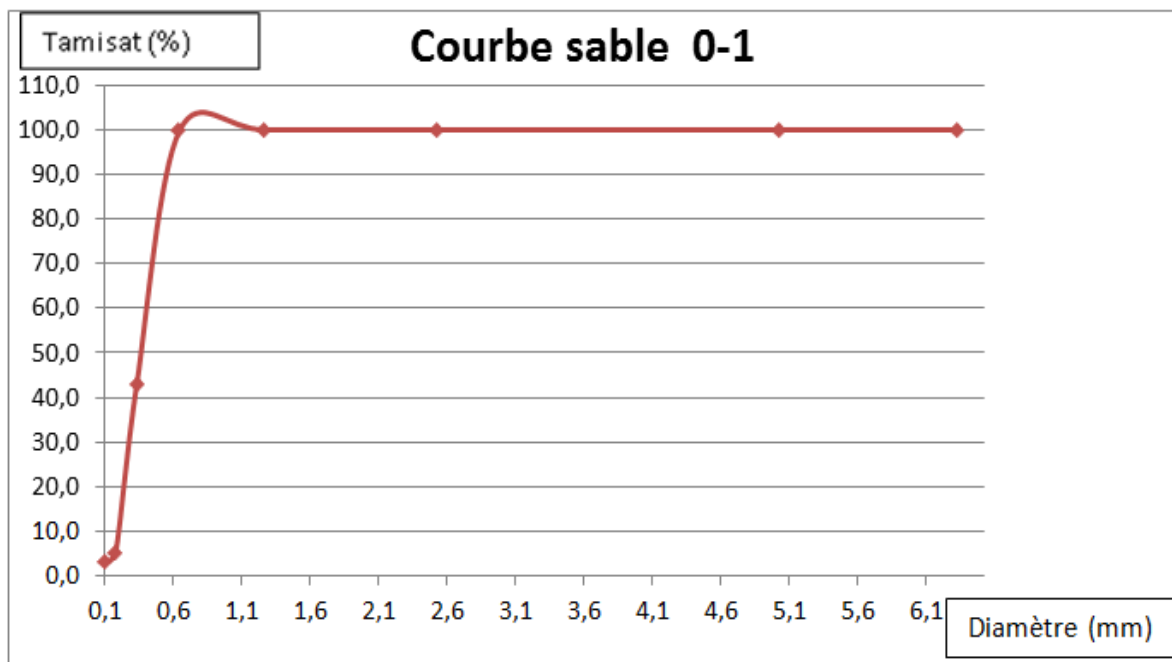


Figure 18-II : Courbe Granulométrique du sable 0/1.

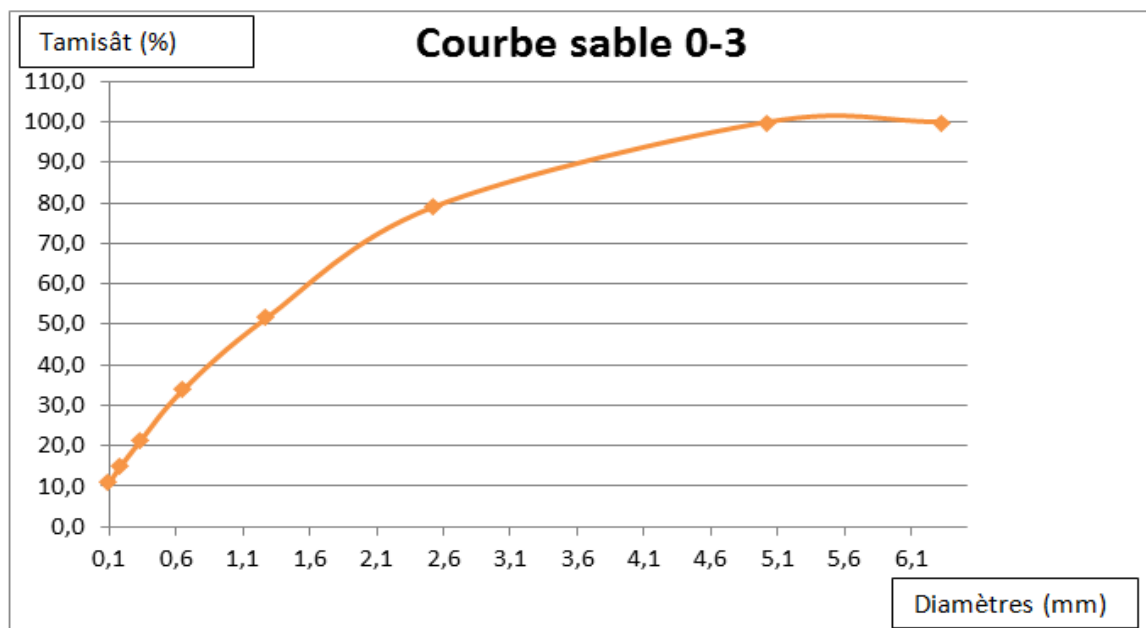


Figure 19-II : Courbes Granulométrique du sable 0/3.

Se basant sur ces résultats, il est clair qu'une correction est nécessaire pour l'utilisation de ces sables dans la confection des bétons. Pour cela, le choix d'un module de finesse optimal est de fixer $mf = 2,70$. Le sable corrigé sera donc composé des deux sables à raison de 20 % de sable 0/1 mm et de 80% de sable 0/3mm.

L'analyse granulométrique de notre sable final est représenté dans le tableau suivant :

Tableau 8-II: Analyse granulométrique du sable optimal

DIAMETRE	POIDS TOTAL SEC= 2000g			
TAMIS (mm)	REFUS (g)	REFFUS CUMULE (g)	REFUS %	TAMISATS %
6,3	0,00	0,00	0,00	100,0
5,0	0,00	0,00	0,00	100,0
2,5	383,00	383,00	19,15	80,9
1,25	453,00	836,00	41,80	58,2
0,63	261,00	1 097,00	54,85	45,2
0,315	354,0	1 451,00	72,55	27,5
0,160	271,0	1 722,00	86,10	13,9
0,080	58,0	1 780,00	89,00	11,0
Module de finesse (NF P 18-554)		2,70	1,8<MF<3,2	
Teneur en fine (%)		11,00		

Les valeurs obtenues du tableau [II.8] ainsi que les deux tableaux précédents [II.6] et [II.7] ont permis de tracer la courbe granulométrique du sable optimal ainsi qu'une courbe représentante les trois sable 0/1 et 0/3 et sable optimal (en vue de comparaison).

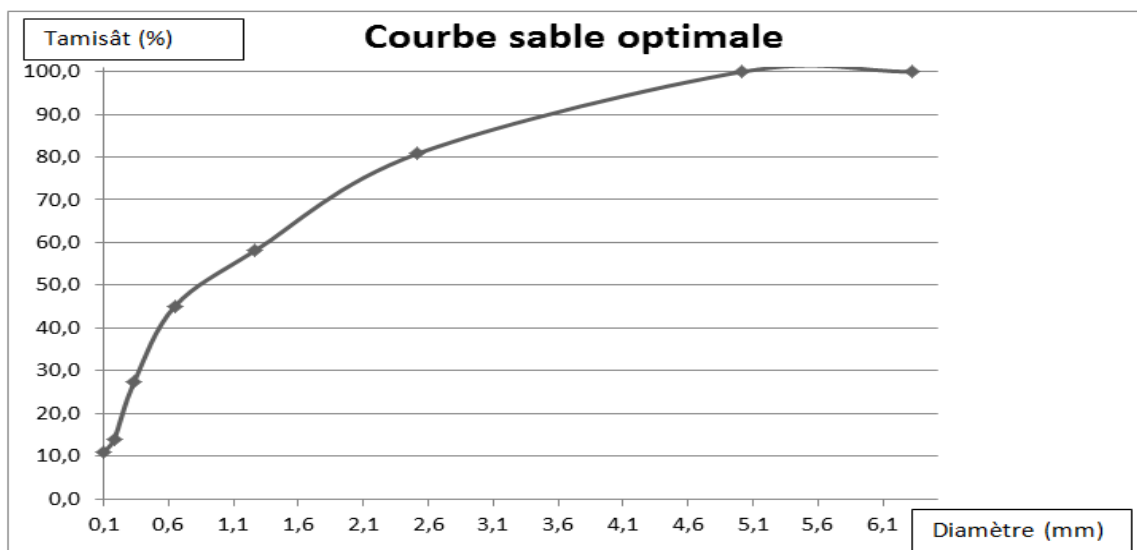


Figure 21-II] : Courbe granulométrique du sable optimal

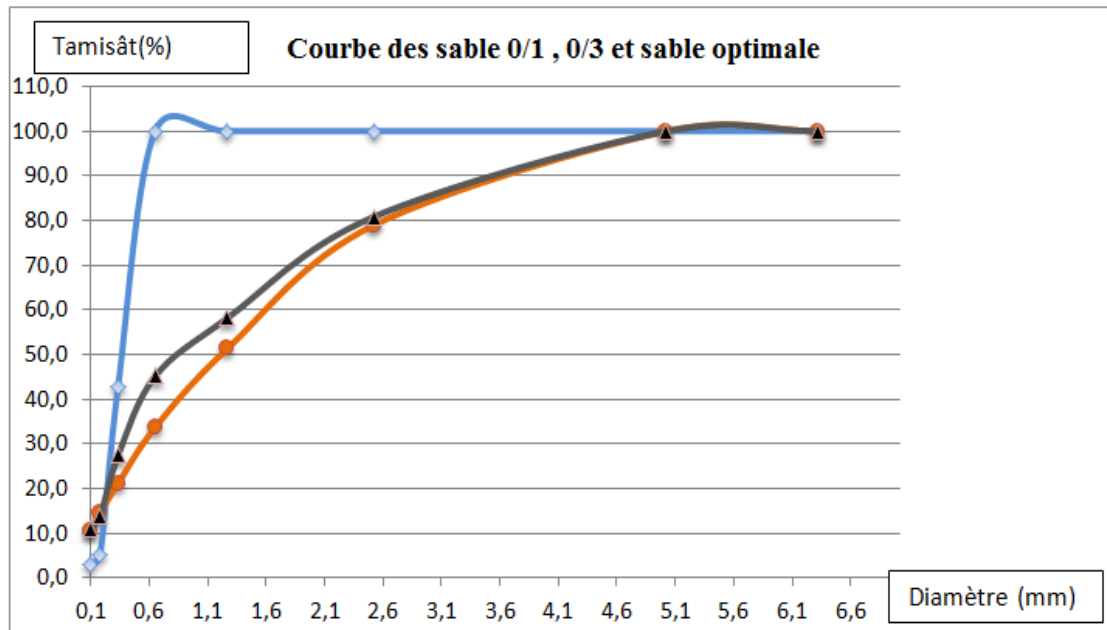


Figure 22-II: Courbe granulométrique des 3 sables.

2-3 Le gravier :

a-Analyse granulométrique par tamisage : (P18-560) :

Le seul gravier utilisé pour la confection des bétons drainants est un gravier 0/3 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 9-II : Analyse granulométrique du gravier 3/8.

Diamètre Tamis (mm)	Poids total sec (g) = 1865g			
	Refus (g)	Refus cumulé	Refus %	Tamisât %
12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100
10 mm	0,00	0,00	0,00	100
8,0 mm	0,00	0,00	0,00	100,0
6,30 mm	226,00	226,00	12,12	87,9
5,0 mm	380,00	606,00	32,49	67,5
2,50 mm	1 000,00	1 606,00	86,11	13,9
1,25 mm	121,00	1 727,00	92,60	7,4
0,63 mm	31,00	1 758,00	94,26	5,7
0,5 mm	13,00	1 771,00	94,96	5,04

Les résultats obtenus du tableau [II.9] nous ont permis de tracer la courbe granulométrique du gravier 3/8.

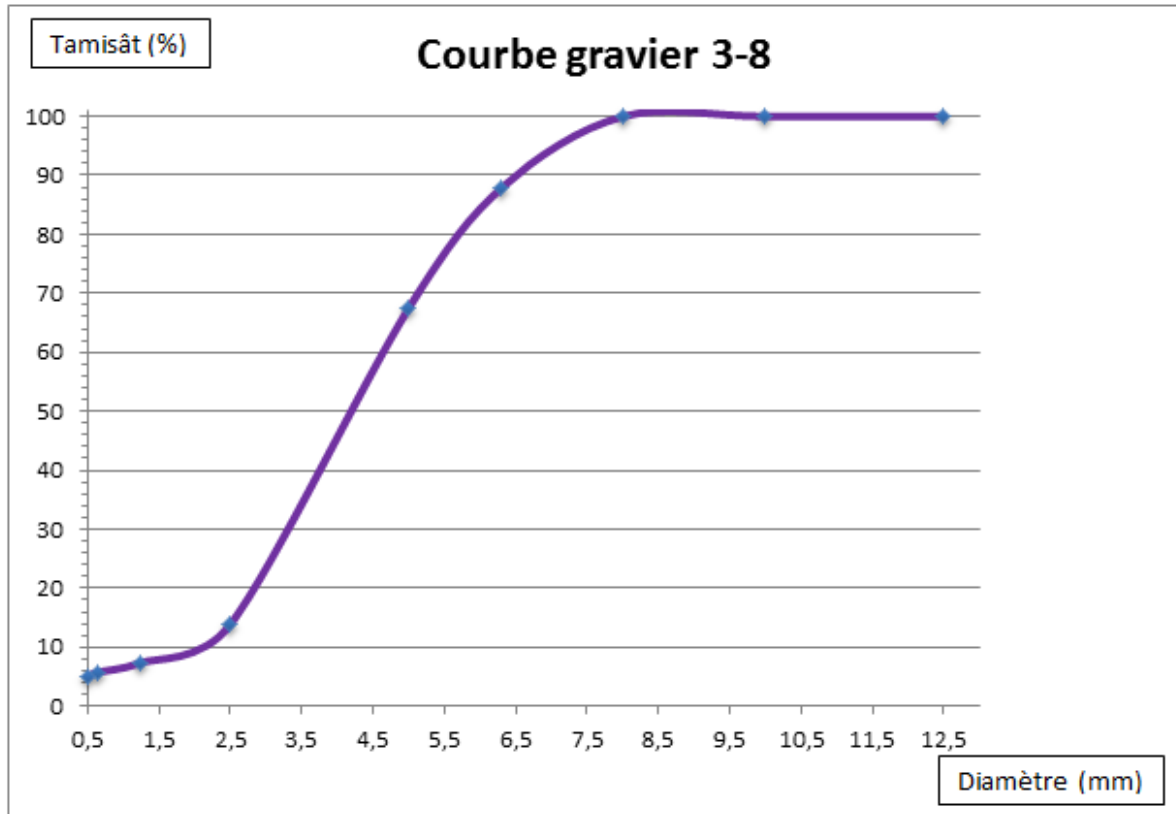


Figure 23-II: Courbe granulométrique du gravier 3/8.

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

2-5-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. C'est l'inverse du volume massique. [12]

a- Masse volumique apparente (MVa) :

La masse volumique apparente ou plus précisément masse volumique apparente sans tassement, souvent appelée improprement densité apparente, est une grandeur utilisée essentiellement avec les substances se présentant sous forme de granulés, afin de rendre compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel.

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

La masse volumique réelle est définie comme le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume occupé par la matière solide, y compris les vides contenus dans les grains (volume réel).

Les résultats obtenus des essais de mesure de ces masses volumiques sont donnés dans le tableau [II.9] ci-dessous.

Tableau 10-II: Masse volumique absolue et apparente des granulats et de l'adjuvant.

Types de granulats	Sable 0/1	Sable 0/3	Gravier 3/8	Adjuvant SKY841
MV _a (g/cm ³)	1.45	1.50	1.32	1.047
MV _r (g/cm ³)	2.59	2.59	2.9	2.05

3-Méthodes**3-1 Equivalant de sable : (P18-598) :**

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, il rend compte globalement de la quantité et la qualité des éléments fins en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. La valeur de l'équivalent de sable (Es) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée. [13]

a-1-Principe de l'essai :

L'essai consiste à déterminer les caractéristiques des différents sables utilisés.

a-2-Appareillage utilisé :

- Spatule et cuillère.
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200ml.
- Balance.
- Chronomètre.
- Règle gradué.
- Goupillon pour nettoyage des éprouvettes.
- Eprouvettes.

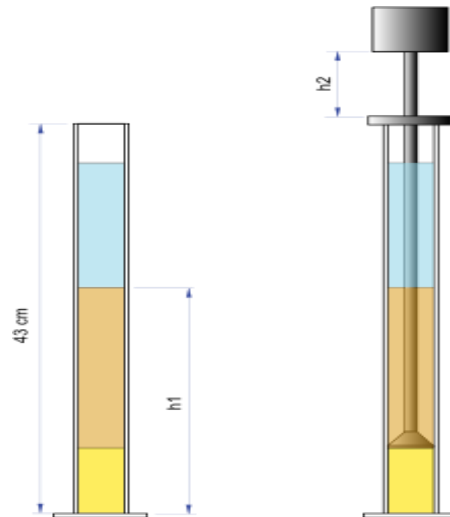


Figure 24-II:: schéma explicatif d'équivalent de sable

a-3-Description de l'essai :

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution flocculant dans une éprouvette graduée et d'agiter 90 cycles de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon, ensuite laver et remplir les éprouvettes avec le tube plongeur, puis laisser reposer 20 minutes en évitant toutes vibrations. L'équivalent de sable est le rapport hauteur du sable sur hauteur totale, exprimé en pourcentage.



Figure 25-II: Eprouvettes de l'essai Equivalent de Sable.

3-2- Essai au Bleu de méthylène :(EN933-9) :

L'essai au bleu de méthylène, ou « essai au bleu », est utilisé pour déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol selon la norme (EN933-9).

L'essai consiste à déterminer la quantité de particules argileuses présentes dans l'échantillon. Pour cela on utilise du bleu de méthylène, substance adsorbée de préférence par les argiles.

b-1-Principe de l'essai :

L'essai a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration.

b-2-Appareillage utilisé :

- Burette.
- Papier-filtre.
- Récipients de pesée pouvant recevoir environ 200ml
- Tige de verre. Agitateur a ailettes.
- Balance.
- Chronomètre.
- Becher.

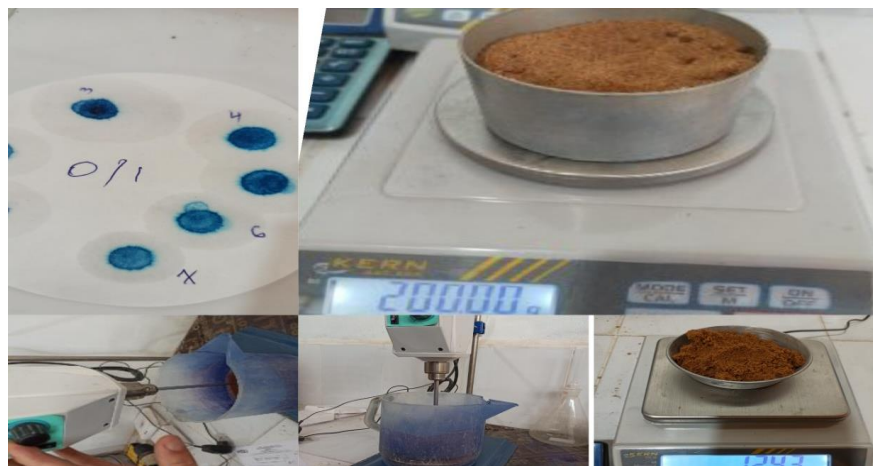


Figure 26-II: Appareillages utilisés.

b-3- Description de l'essai :

Un échantillon de sable est préparé de telle sorte qu'il contienne au moins 200g, ensuite préparer la suspension il convient de verser 500ml d'eau distillée dans le bicher et ajouter l'échantillon préparé.

Agiter la solution a la vitesse de 600tr/min pendant 5minutes, puis agiter continuellement a 400 tr/min pendant la poursuite de l'essai. Apres chaque injection de colorant à l'aide de la

burette (5ml toutes les minutes), le test à la tache consiste à prélever à l'aide de la tige de verre une goutte de la suspension et de la déposer sur le papier filtre, la tache qui se forme est en générale d'une couleur bleu foncé, entourée d'une zone humide incolore.

Le test est considéré comme positif si, dans la zone humide, une auréole bleu clair persistante d'environ 1mm apparait autour du dépôt central .Le point finale doit être confirmé en répétant le test à la tache toutes les minutes pendant 5min sans ajout de solution de colorant.



Figure 27-II: Essai au bleu de méthylène.

4-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 et la durabilité qui conduit à imposer un dosage adéquat en ciment et en rapport E/C.

Pour notre cas, nous nous sommes basés sur une formule proposée et étudiée au paravent par la filiale « GRANU-OUEST » du groupe « GICA » et réalisé par nos collègues de la promotion 2019.

Dans but d'augmenter la résistance et garder les caractéristique du béton poreux, on a décidé avec le groupe « GICA » et notre encadrant de faire plusieurs mélanges du béton en y ajoutant une addition (fumée de silice) et superplastifiant réducteur d'eau.

Le tableau suivant présent les différentes quantités pour un mètre cube de béton :

Tableau 11-II : Composition du béton drainant adoptée (béton témoin).

Composant	Dosage
Sable 0/1	20kg
Sable 0/3	80 kg
Gravier 3/8	1600 kg
Ciment	250 kg
Eau	110 L
E/C	0.44



Figure 28-II: Réalisation du béton drainant témoin.

Notre deuxième mélange était un simple béton drainant avec granulats lavés et sans adjuvant avec toujours la même formulation (Tableau [II.11]). Ceci a été réalisé afin d'étudier l'influence des granulats lavés sur les performances mécaniques de ces bétons.

Dans le troisième mélange on a ajouté de la fumée de silice par ce que son incorporation dans les bétons pourrait conduire à des améliorations des caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons. Pour les bétons frais la fumée de silice, par sa finesse, complète le fuseau granulaire et supprime les tendances au ressuage ou à la ségrégation tout en réduisant les chaleurs d'hydratation. Pour les bétons durcis, la fumée de silice permettrait de créer une microstructure très dense qui conduit à des bétons extrêmement compacts, à caractéristiques mécaniques élevées en réduisant les teneurs en eau grâce à l'utilisation d'un adjuvant réducteur d'eau. On l'utilisera cette addition en substitution au ciment (à raison de 10 %) comme est recommandé par la norme NF EN 13263-1.

Le tableau suivant présente les différentes quantités pour un mètre cube de béton élaboré avec de la fumée de silice.

Tableau 12-II: Composition du béton drainant avec la fumée de silice

Composant	Dosage
Sable 0/1	20kg
Sable 0/3	80 kg
Gravier 3/8	1600 kg
Ciment	225 kg
Eau	110 L
Fumée de silice	25kg
$E/(C+10\% F) = E/L$	0.44

Dans notre dernier mélange on a ajouté un superplastifiant réducteur d'eau « MASTERGLINUIM SKY841 » par ce qu'il permet (selon sa fiche technique) sans modifier la teneur en eau, d'augmenter considérablement l'affaissement/l'étalement ou de produire les deux effets à la fois : d'augmenter la maniabilité tout en conservant les performances, de réaliser des bétons à compacité élevée, permettant des gains de performance très importants en terme de résistances mécaniques initiales et finales élevées.

Leur dosage moyen est de 0,8 à 3 % du poids du ciment. Selon la norme **NF P 18-333**. Dans notre cas on a choisi 1.2%.



Figure 29-II: Béton drainant adjuvanté au réducteur d'eau

Le Tableau suivant présente les différentes quantités pour un mètre cube de béton adjuvanté au superplastifiant réducteur d'eau.

Tableau 13-II : Composition du béton drainant adjuvanté au réducteur d'eau.

Composant	Dosage
Sable 0/1	20kg
Sable 0/3	80 kg
Gravier 3/8	1600 kg
Ciment	250 kg
Eau	110 L
Sp	3L
E/C	0.43

5- Essais sur le béton frais

5-1 Essai au cône d'Abrams : (NF EN 12350-2) :

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. [14]

A-1-Principe de l'essai :

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

A-2-Equipement nécessaire :

- Un moule tronconique sans fond de 30cm de haut, de 20cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10cm de diamètre en sa partie supérieure ;
- Une plaque d'appui.
- Une tige de piquage.
- Un portique de mesure



Figure 30-II : équipement utilisé

A-3-description de l'essai :

Pour mesurer l'affaissement on introduit le béton frais dès la fin de sa confection en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage. Araser le moule, démouler immédiatement en soulevant le moule. Après mesurer l'affaissement à partir du point le plus bas du béton.

L'affaissement est mesuré par la différence de hauteur entre le moule et le niveau supérieur du béton après démoulage, le résultat obtenu permet de classer les bétons.

- ✓ L'essai doit être réalisé sur une surface horizontale
- ✓ L'essai complet doit être exécuté sans interruption en moins de deux minutes et demie
- ✓ Démouler verticalement (sans mouvement de torsion) en 5 à 10 secondes
- ✓ Mesurer l'affaissement du béton à 10 mm près.

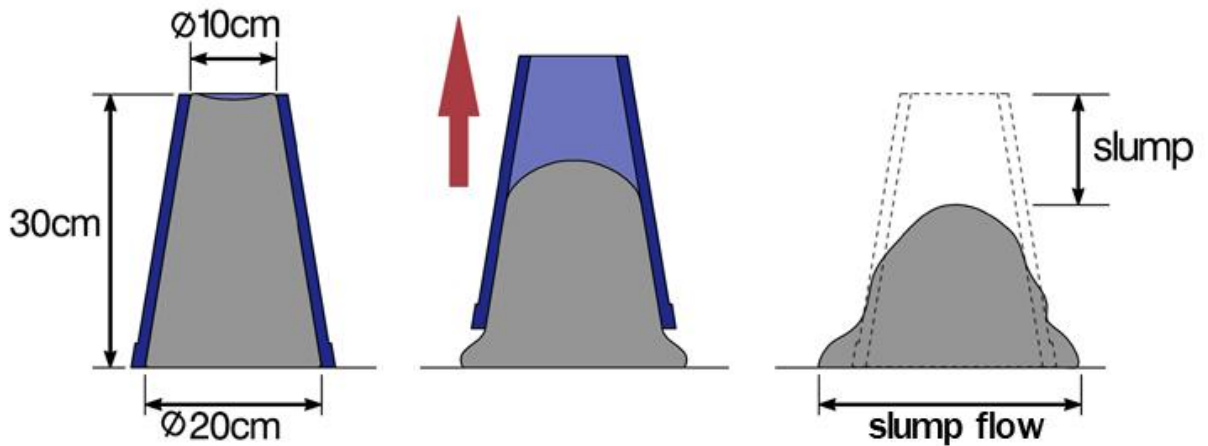


Figure 31-II: Mode opératoire

Le tableau ci-dessous présente les valeurs normalisées de l'affaissement au cône d'Abrams pour les bétons ordinaires.

Tableau 14-II: 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	

5-2- 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 pourcentage (%) d'air correspondant à la pression résultante.

b-1 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.

b-2-Equipement nécessaire :

- Une tige de piquage.
- Un manomètre



Figure 32-II: Manomètre

b-3-description de l'essai :

Après avoir confectionné notre béton on introduit ce dernier dans le moule en trois couches recevant chacune 25 coups de piquage, ensuite on arase le moule puis préparer le dispositif et introduire un volume d'eau, enfin pomper jusqu'à atteindre notre résultats.

5-3-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. [15].

C-1-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.

C-2- 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 33-II: Matériel pour l'essai vété

C-3-Conduite de l'essai :

Le cône d'Abrams est fixé à l'intérieur du récipient cylindrique. Le béton est mis en place dans ce cône. Le cône d'Abrams est alors soulevé et à ce stade de l'essai il est donc possible de mesurer l'affaissement au cône.

L'essai se poursuit ensuite par la mise en vibration de la table durant un temps t tel que la face supérieure du béton soit entièrement aplanie et au contact du disque transparent qui accompagne la descente du béton pendant le compactage.

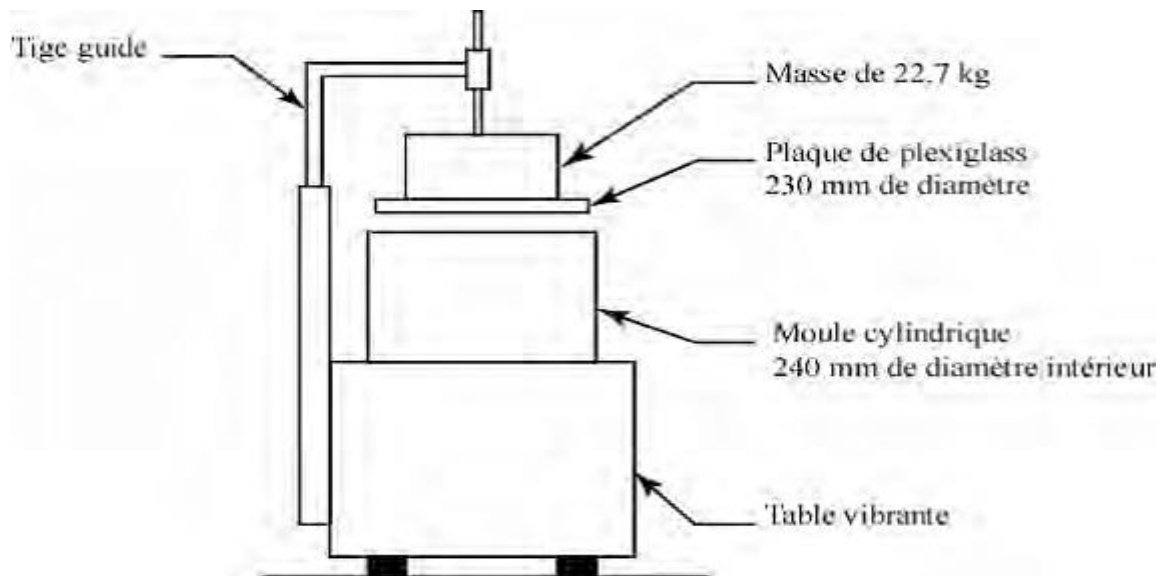


Figure 34-II: schéma explicatif de l'essai

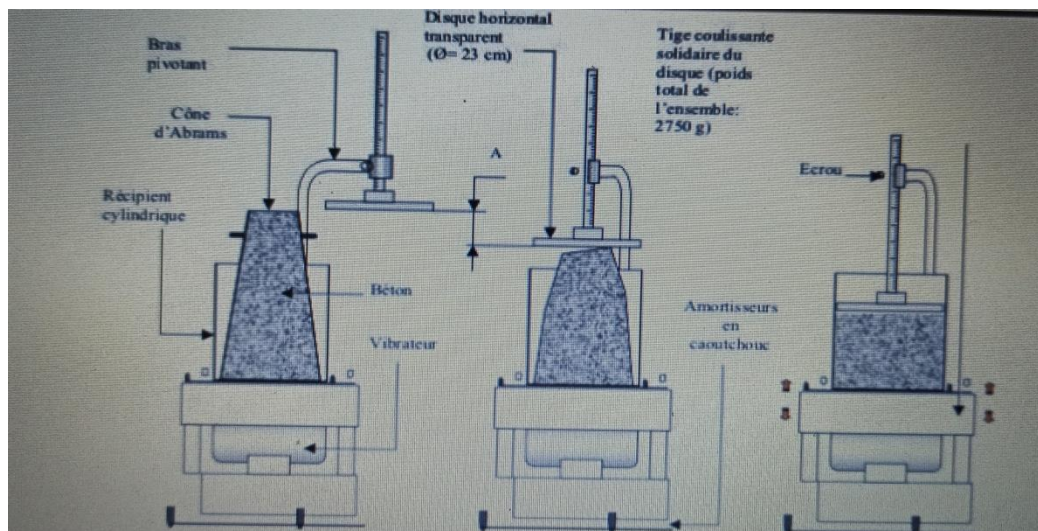


Figure 35-II: Mode opératoire de l'essai

6-Essai sur le béton durci :

6-1-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 16H32cm après 24h minimum de durcissement du béton. [16]

a-1-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 : $P\% = 100 \times (M / V)$.

6-2-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.

b-1-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.

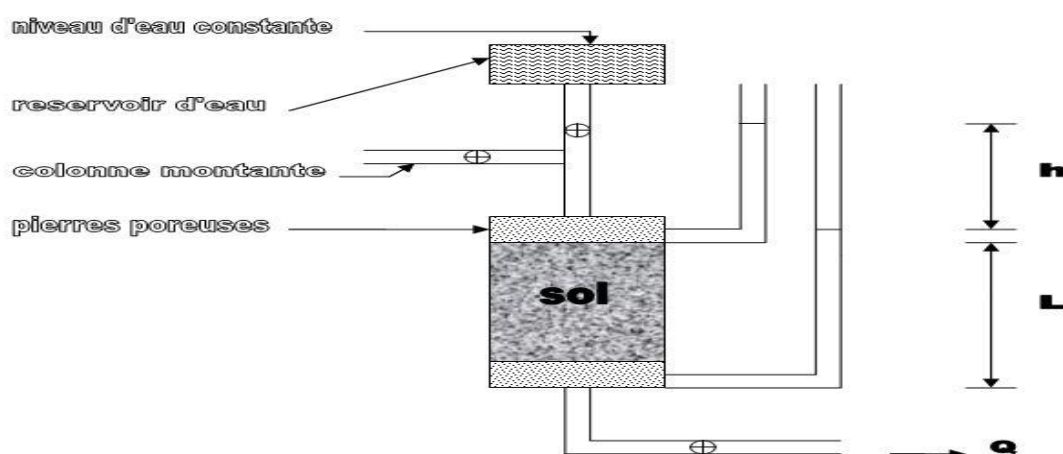


Figure 36-II: schéma explicatif du principe de l'essai de perméabilité

6-4- Essai de compression :(NFP 18-406) :

Les essais de compression simple ont été réalisés au laboratoire sur une presse, Elle est programmée pour les essais de compression et cela pour différentes dimensions (échantillons cylindriques, cubiques). [17]

d-1-Conduite de l'essai :

Les échantillons confectionnés sont placés entre les deux plateaux de la presse. Le plateau inférieur sur lequel est posée l'échantillon étant fixe, le plateau supérieur est mobile.

En dévalant celui-ci écrase le corps de l'échantillon contre le plateau inférieur. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante.

La charge maximale P est connue lorsque la rupture est enclenchée, on peut dire a ce moment la que l'essai de compression est achevé.



Figure 37-II: Essai de la résistance à la compression

7- Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des différents matériaux (gravier, sable, adjuvants.. etc.) à travers les essais in-situ que nous avons réalisé au laboratoire du groupe « GICA ».

Ensuite nous avons présenté les graphes et les tableaux ainsi que les classes granulaires. Les sables pris séparément ont présenté des résultats acceptable et aucune correction n'a été nécessaire, notre sable optimal avait un module de finesse de 2.5.

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

Chapitre III : Résultats et discussion

1- Introduction :

Le béton drainant est un matériau qui est fabriqué d'un mélange de granulats, ciment, eau et éventuellement addition et adjuvant.

Le présent chapitre présente les résultats des différents essais effectués sur les bétons à l'état frais et à l'état durci.

Dans le but d'améliorer les performances mécaniques du béton drainant, de composition initiale quaternaire (ciment, sable, gravier et sable), trois autres bétons ont été élaborés pour connaître quel paramètre pourrait améliorer ces performances.

A l'état frais, seul l'essai de l'affaissement au cône d'Abrams a été effectué.

A l'état durci, suite aux contraintes sanitaires connues, les essais Vébé, les essais de résistances à la compression sur éprouvettes 11x22 et les essais de perméabilité à l'eau ont réalisés. [18]

2- Rappel sur la composition des bétons adoptés

Plusieurs bétons poreux ont été confectionnés en vue de procéder à des comparaisons entre les différentes propriétés de ces bétons. Le tableau suivant reprend les différentes compositions des bétons.

Tableau 15-III : Compositions différents bétons adoptées

Composant	Béton témoin	Béton à granulats lavés	Bétons avec fumée de silice	Béton avec adjuvant
Sable 0/1	20kg	20kg	20kg	20kg
Sable 0/3	80 kg	80 kg	80 kg	80 kg
Gravier 3/8	1600 kg	1600 kg	1600 kg	1600 kg
Ciment	250 kg	250 kg	250 kg	250 kg
Eau	110 L	110 L	110 L	110 L
Sp	/	/	/	3L
Fumée de silice	/	/	25kg*	/
E/C	0.44	0.44	0.44**	0,43

(*) : Fumée de silice utilisée en ajout. (**): $E/(C+F) = E/L = 0,44$.

Pour le dernier béton confectionné en utilisant un superplastifiant réducteur d'eau à raison de 1,2 % de la masse du ciment, le rapport E/C a été gardé égal 0,44 comme pour l'ensemble des bétons pour pouvoir comparer les résistances mécaniques, en conformité avec la norme en vigueur.

3- 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 et de l'essai de la teneur en air sur les différents mélanges réalisés de béton. L'essai d'affaissement est important pour ce type de béton, dans le sens où il donne une idée sur l'éventuelle difficulté de leurs mises en œuvre.

Dans le tableau ci-dessous on a citées les normes selon les quelles on a réalisé ces essais.

Tableau 16-III : Normes des essais à l'état frais.

Essais	Normes
Affaissement.	NFP 18-305
Teneur en air.	NF EN 12350-7



Figure 38-III : Essais à l'état frais

3-1- Affaissement au cône d'Abrams :

Les classes de consistance sont mesurées selon le test au cône d'Abrams. Elles correspondent à une caractéristique du béton lorsqu'il est encore frais. Ces différentes classes vont nous permettre de mesurer la fluidité de notre béton et d'ajuster notre dosage en fonction des performances recherchées. L'ouvrabilité est une caractéristique à ne pas négliger, surtout

lorsqu'il s'agit de la mise en place du béton sur un chantier. Par conséquent, la classe de consistance de notre béton variera en fonction du dosage en ciment et en eau de notre béton.

Il existe 5 différentes classes de consistance des bétons référencés par la norme NF EN 206-1. Ces classes sont définies par les **essais d'affaissement** du béton au cône d'Abrams. [14]

Les résultats des essais sont présentés au tableau suivant :

Tableau 17-III : Consistances des différents bétons.

Béton	Affaissement A en (mm)	Classe / Définition	Utilisation
Béton témoin	40 mm	S1 / Béton ferme	Béton de voirie
Béton granulats lavés	43 mm	S1 / Béton ferme	Béton de voirie
Béton fumée de silice	20 mm	S1 / Béton très ferme	Béton de voirie- Mise en œuvre difficile
Béton adjuvanté	55 mm	S2 / Béton plastique	Béton à étaler sur de grandes surfaces

D'après les résultats obtenus des essais, l'affaissement du béton témoin est 40 mm appartenant à l'intervalle [10-40], **le béton témoin est un béton ferme de classe S1.**

Le béton de même composition mais fabriqué à partir de granulats lavés a donné un affaissement légèrement plus grand (43 mm), **il est de classe S2 mais pas suffisamment de nature plastique.**

Pour notre béton fabriqué avec de la fumée de silice, un affaissement plus faible de valeur 20 mm a été obtenu, appartenant à l'intervalle [10-40], **le béton confectionné avec de la fumée de silice est un béton ferme de classe S1.** C'est un béton très ferme et difficile à mettre en œuvre. Il ne peut être recommandé que sur des voiries de faibles surfaces.

C'est avec le béton adjuvanté au réducteur d'eau que l'affaissement le plus élevé a été obtenu, il est égal à 55mm appartenant à l'intervalle [50-90]. **Le béton adjuvanté au réducteur d'eau est un béton plastique de classe S2. Ce béton serait le plus maniable qui pourrait être étalé sur des surfaces horizontales avec plus de facilité de mise en œuvre que les autres bétons.**

3-2- Teneur en air : (Aéromètre)

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

La teneur en air du béton est fonction du diamètre maximum des granulats (Dmax).[19]

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

Tableau 18-III : 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 [III.4] précédent qui exprime la teneur en air maximale en fonction du diamètre maximale Dmax.

Dans notre cas le Dmax de notre béton est de 8 mm la teneur en air mesurée et donnée par l'aéromètre doit être inférieure ou égale à 3. **Les teneurs en air mesurées sur les différents bétons ont donné une valeur maximale de 2.8 %, cela veut dire que les bétons confectionnés ne présentent pas de défauts de compacité ou de granulométrie.**

4- Résultats des essais sur béton durci :

Pour le béton durci on a fait deux parties d'essais, destructifs (compression) et non destructifs (essai de porosité ouverte), ces essais ont été réalisés au sein du laboratoire « GICA » conformément aux différentes normes.

4-1- Essai de perméabilité à l'eau :

On a réalisé cet essai sur un échantillon carotté, on a couvert une surface de la face supérieure et on a paraffiné l'entourage pour empêcher les fuites d'eau. (Figure III.5).



Figure 39-III: essai de perméabilité à l'eau

L'essai n'a pas pu être effectué sur tous les bétons suite au manque de temps et de moyen. Le laboratoire d'accueil a mis à notre disposition les moyens techniques nécessaires au bon déroulement de l'essai de perméabilité ouverte à l'eau. [10]

Le choix s'est finalement porté sur le béton ayant montré des performances intéressantes, il s'agit du béton adjuvanté au réducteur d'eau. La quantité d'eau infiltrée ou bien drainée pendant un temps fixe de 1 min pour un échantillon carotté est de 20000g. **C'est-à-dire que notre béton draine une quantité d'eau de 20 litres / min à travers ses interstices ouvertes et interconnectées.**

4-2- Résistances à la compression et pertes de masses:

Un béton drainant est un béton dont la porosité est supérieure à 15 %. On caractérise par conséquent un béton drainant par sa résistance à la compression et par sa perméabilité.

Le béton drainant est également appelé «béton semi caverneux ou caverneux». Il ne peut être ni armé, ni pompé.

La résistance caractéristique f_{c28} correspond à la résistance à la compression du béton à 28 jours sur cylindres 11 x 22 cm. Selon la norme EN 206-1 et repris par la norme NF EN13369 stipulant qu'il n'y a pas de changement à apporter sur les résistances mesurées (résistances équivalentes à celles aux résistances sur éprouvettes 16 x 32) puisque D_{max} est inférieur à 22,4 mm.

Il est recommandé d'obtenir une résistance à la compression à 28 jours $f_{c28} \geq 8$ Mpa.

Aucune condition n'a été posée sur sa résistance à la traction cependant, une résistance minimale est nécessaire pour éviter l'arrachement des granulats sous l'effet des circulations.

Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique ou cubique à une force croissante et constante jusqu'à rupture de celle-ci afin de déterminer sa résistance à la compression. [17]



Figure 40-III : Resistance à la compression sur éprouvette 11x22

La perte de masse est un phénomène qui parvient au cours de la cure du béton. Elle est essentiellement due à la consommation de l'eau par le ciment et éventuellement son évaporation. Ce phénomène d'évaporation parvient les premières 24h avant conservation des éprouvettes dans le bac d'eau.

4-2-1- Béton témoin :

Les résultats obtenus des écrasements ont été mesurés aux échéances 2, 7, 14 et 28 jours sont présenter dans les tableaux suivants :

Tableau 19-III : Résultats des écrasements des éprouvettes (béton témoin)

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 pour béton témoin sont présenté dans la **figure (III.4)** suivante :

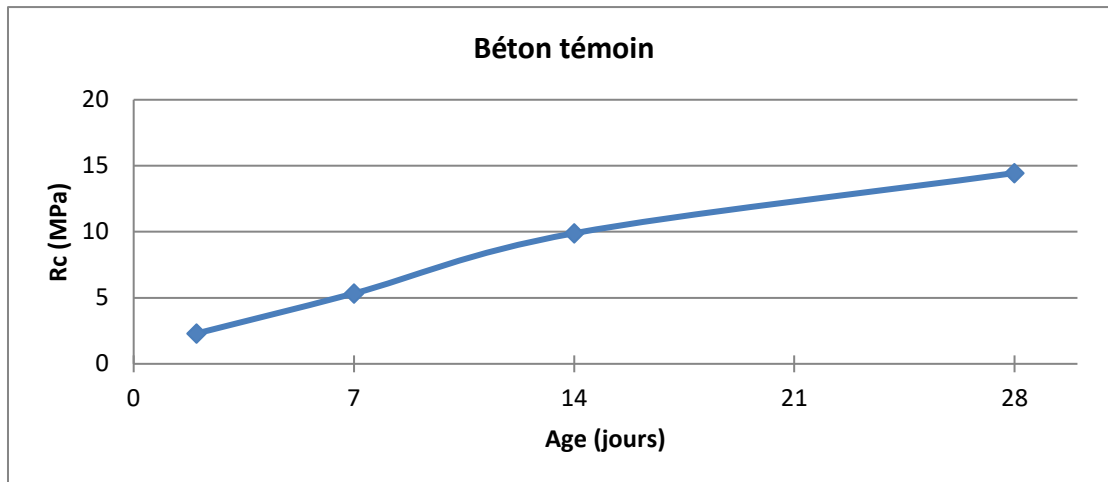


Figure 41-III : Courbe variation de la résistance à la compression (béton témoin)

Du tracé de cette courbe, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Cette augmentation se poursuit jusqu'à 28 jours. La valeur de la résistance à 28 jours avoisine 14.45 MPa, ce qui est très acceptable pour un béton drainant.

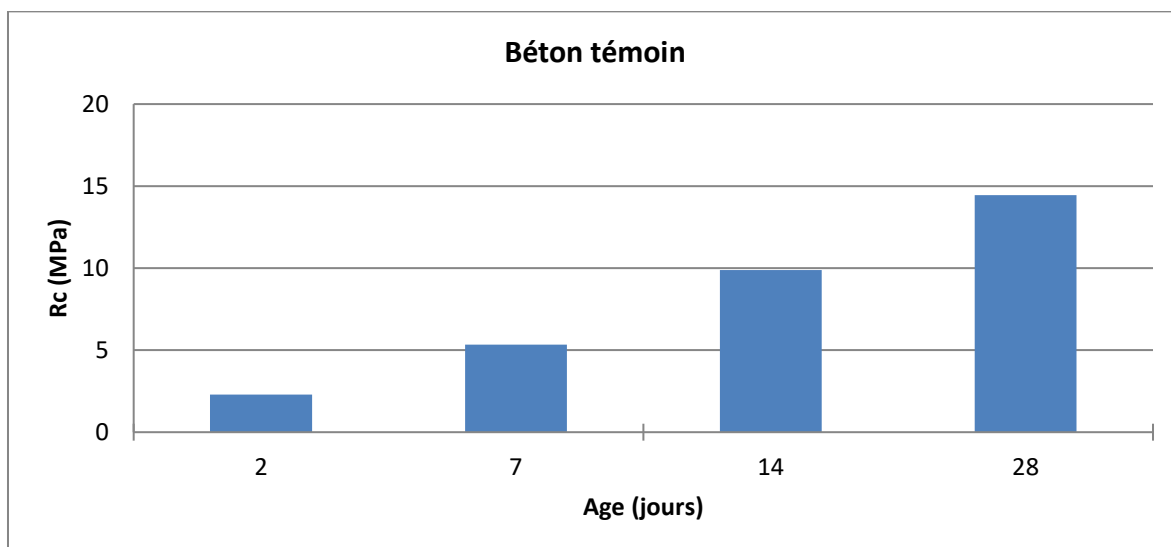


Figure 42-III : Diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps.

L'étude des variations de la perte de masse a été effectuée par la pesée des masses de chaque éprouvette aux mêmes échéances que les résistances à la compression. Ces pesées ont été faites juste avant de procéder aux écrasements des ces éprouvettes.

La figure ci-dessous présente les variations des masses des éprouvettes du béton témoin.

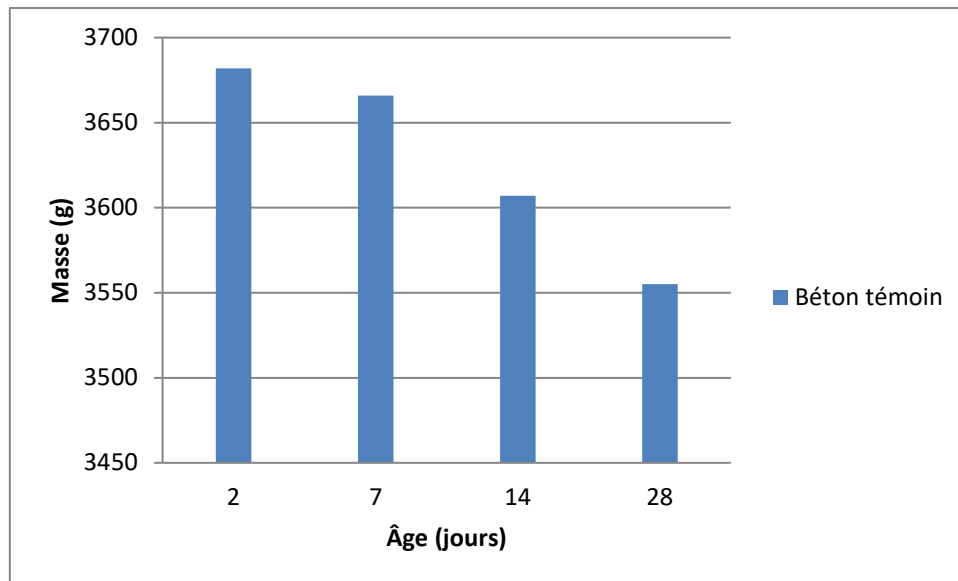


Figure 5-bis III : Variation des masses en fonction de l'âge (béton témoin)

A l'inverse des résistances mécaniques, les masses des éprouvettes diminuent en fonction du temps. La perte de masse totale entre 2 et 28 jours est estimée à 127 g, soit 3,4% par rapport à la masse de départ. Cette diminution est associée à un gain de résistance de 12,15 MPA (Cf tableau 5-III).

4-2-2- Béton avec granulats lavés :

Les résultats des mesures des résistances à la compression sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 20-III : résultats (béton avec g.lavée)

Jours	2	7	14	28
Rc (MPa)	4	9,45	11,66	16,42

La variation des résistances à la compression en fonction du temps pour béton avec granulats lavée sont présenté dans la **figure (III.6)** suivante :

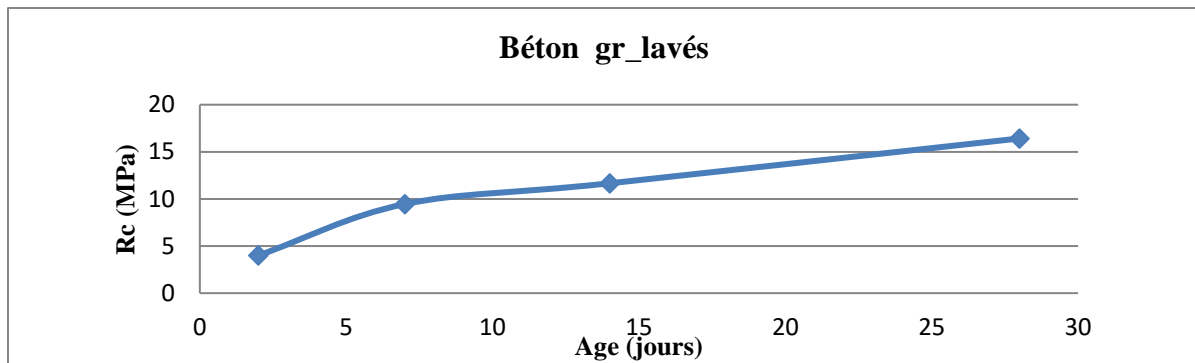


Figure 43-III: Courbe de la résistance à la compression du béton avec granulats lavés

Du tracé de cette courbe, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Cette augmentation se poursuit jusqu'à 28 jours. La valeur de la résistance à 28 jours avoisine 16.42 MPa, ce qui est aussi très acceptable pour un béton drainant.

On remarque une augmentation de la résistance par rapport au notre béton témoin de référence ce qui nous mène à distinguer que la diminution des fins au niveau des granulats aide à augmenter la résistance mécanique de ce dernier.

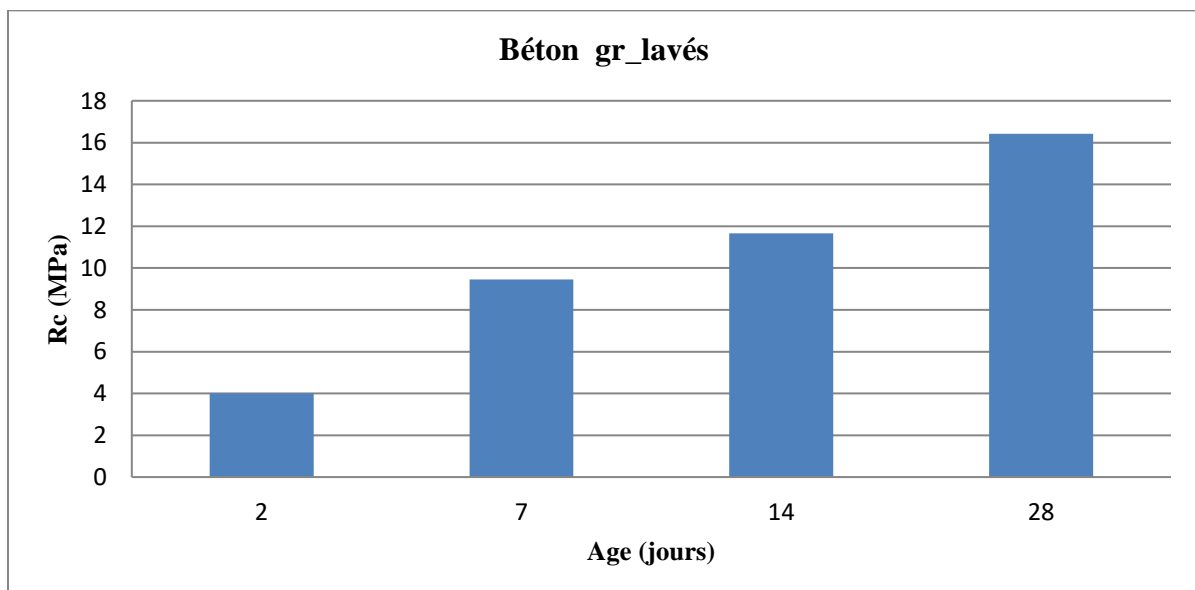


Figure 44-III : diagramme de la résistance à la compression en fonction du temps (gr.lavés).

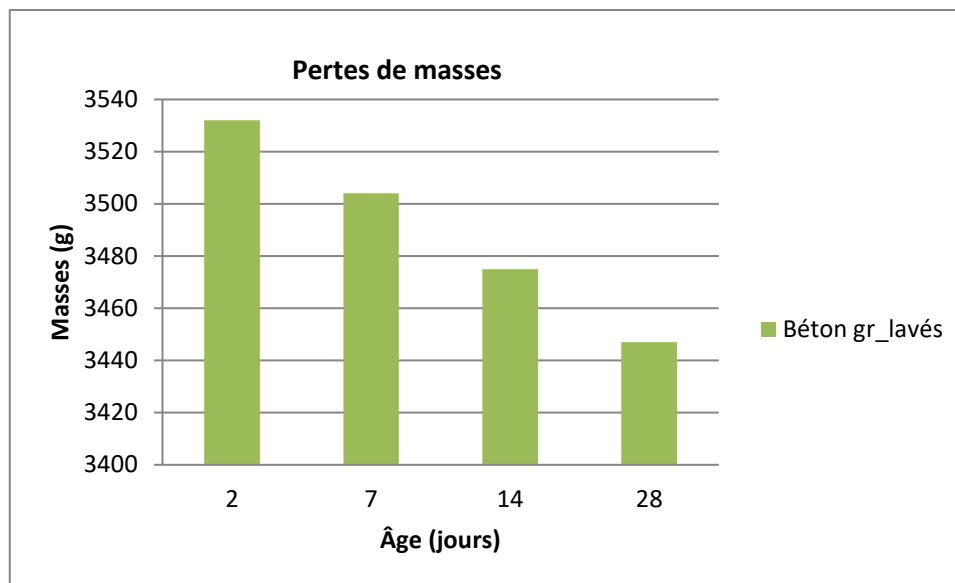


Figure 45 bis -III : Variation des masses en fonction du temps (béton avec gr.lavés).

Les bétons fabriqués avec des granulats lavés ont produits des pertes de masses très appréciables. Les fines particules de ciment de ce béton ont consommé des quantités d'eau supérieures à celles du béton témoins durant toutes les échéances de mesure.

4-4-3- béton avec fumée de silice :

Le béton fabriqué en ajoutant 10 % de fumée de silice a aussi été assujéti aux essais d'écrasement afin de déterminer les résistances à la compression entre 2 et 28 jours, les résultats des mesures sont donnés par le tableau suivant.

Tableau 21-III : Résistances à la compression des bétons avec fumée de silice

Jours	2	7	14	28
Rc (MPa)	1,5	3,55	7,42	13,65

La variation des résistances à la compression en fonction du temps pour béton avec fumée de silice sont présentée dans la **figure (III.8)** suivante :

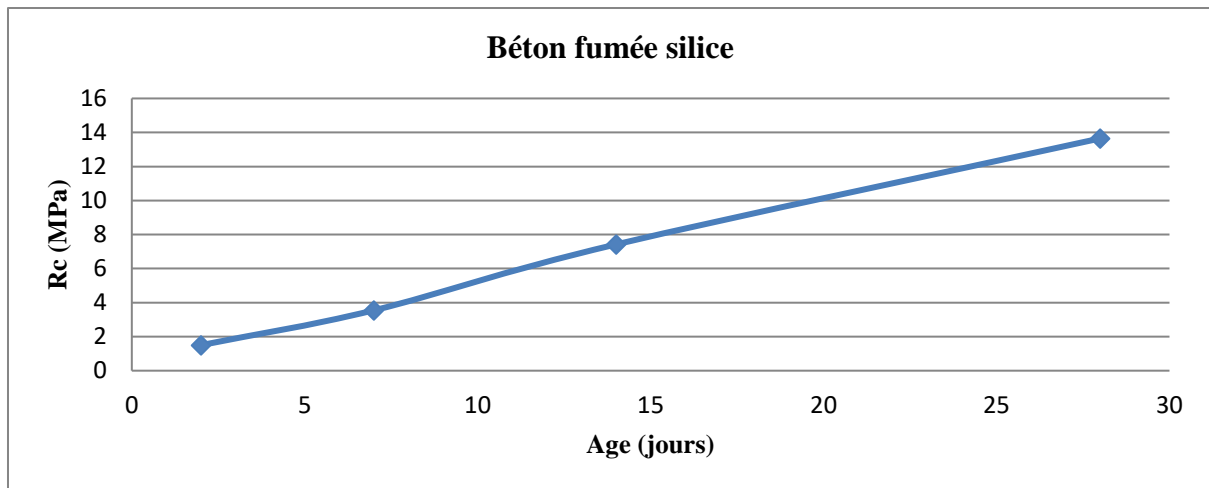


Figure 46-III : courbe résistance à la compression pour béton avec fumée de silice

Du tracé de cette courbe, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Cette augmentation se poursuit jusqu'à 28 jours. La valeur de la résistance à 28 jours avoisine 13.65 MPa, ce qui est acceptable pour un béton drainant.

On remarque une petite diminution de la résistance par rapport aux autres bétons pour une seule raison qui est que la fumée de silice réagit à long terme (donne des résultats meilleurs au-delà de 28 jours). Ceci serait dû au caractère **pouzzolanique de la fumée de silice, qui réagit avec de la chaux libéré par le ciment hydraté.**

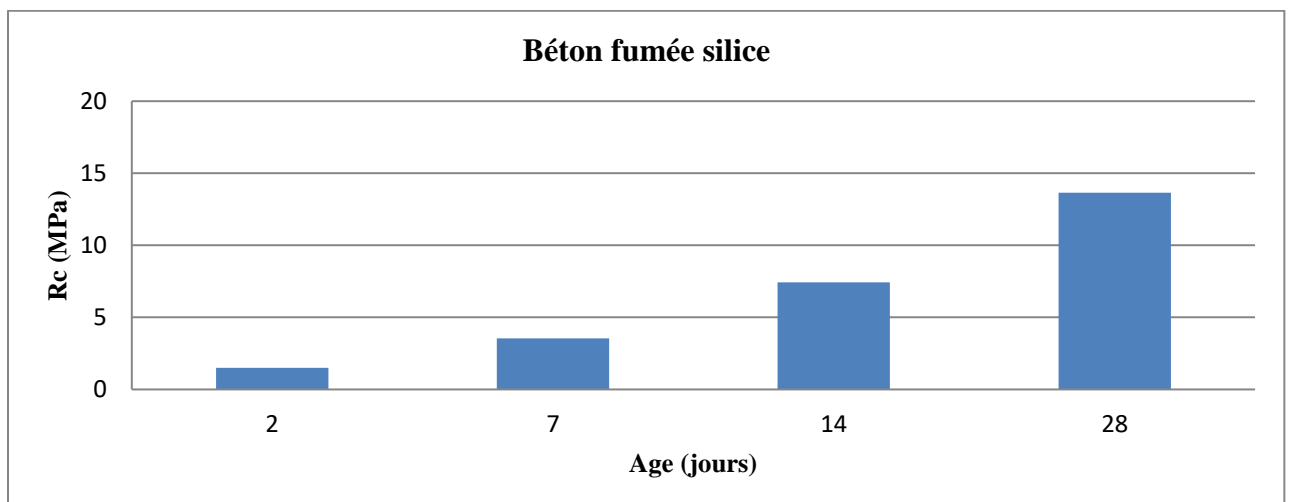


Figure 47-III : diagramme de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du temps (fumée de silice).

La variation des pertes des masses des différentes éprouvettes a aussi été mesurée pour les bétons fabriqués à base de la fumée de silice. Cette variation est représentée par la figure ci-dessous.

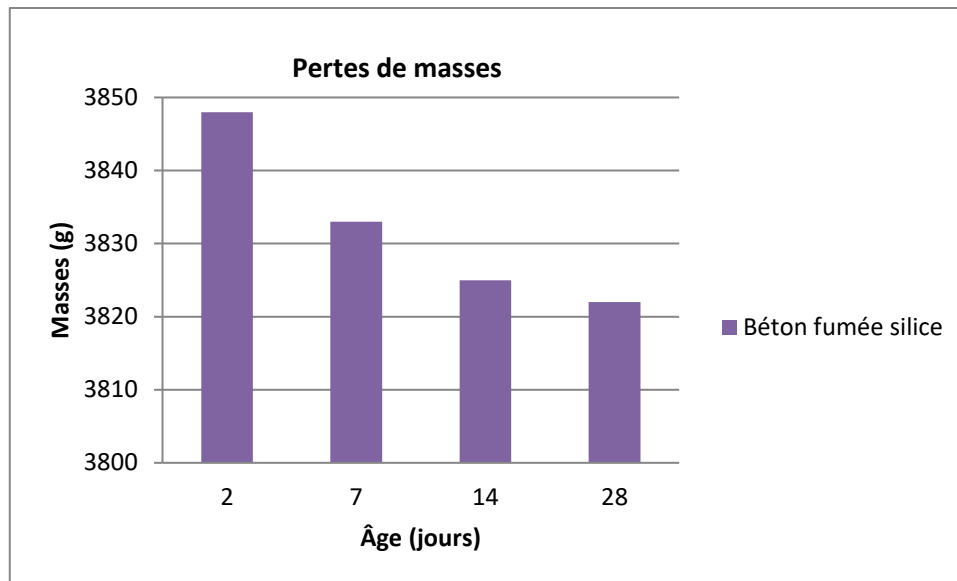


Figure 9 bis -III : Variation des masses en fonction du temps (béton avec fumée de silice).

La perte de masse totale de ces bétons, entre 2 et 28 jours est inférieure à 20 g. Ceci peut être expliqué par la consommation suffisante de l'eau par le ciment. Les grains de ciments sont mélangés aux grains de la fumée de silice. Cette dernière ne réagit pas avec l'eau, elle ne consomme donc pas.

4-3-4- Béton avec adjuvant haut réducteur d'eau sky841 :

Les résistances à la compression de ce béton en fonction de l'âge sont regroupés dans le tableau suivant.

Tableau 22-III : résultats (béton avec adjuvant (réducteur d'eau sky 841))

Jours	2	7	14	28
Rc (MPa)	5	10,68	13,55	19,01

La variation des résistances à la compression en fonction du temps pour béton avec adjuvant réducteur d'eau sont présenté dans la **figure (III.10)** suivante :

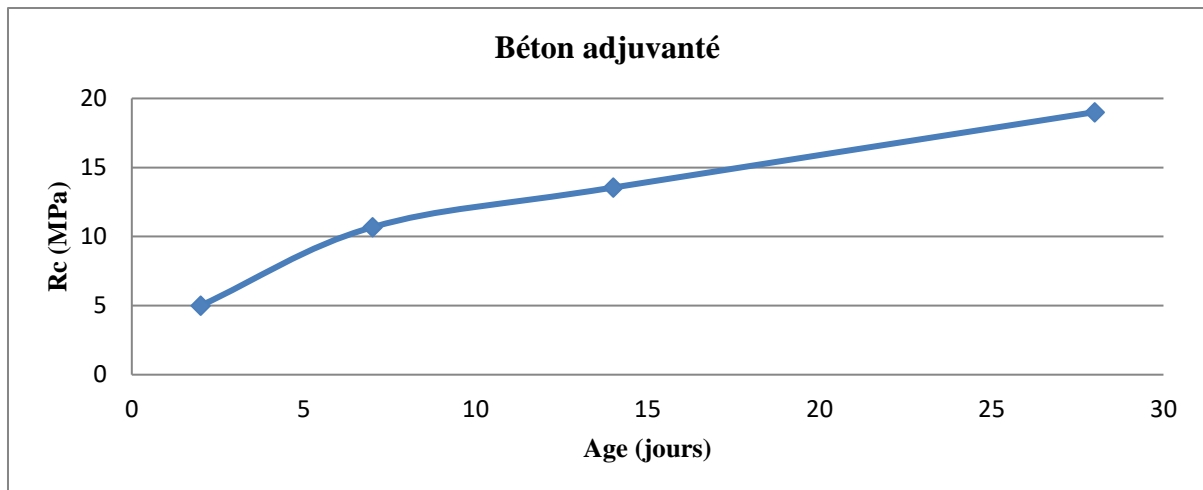


Figure 48-III : courbe résistance à la compression pour béton adjuvanté

Du tracé de cette courbe, on constate que toutes les résistances augmentent en fonction du temps. Cette augmentation se poursuit jusqu'à 28 jours. La valeur de la résistance à 28 jours avoisine 19.01 MPa, ce qui est excellent pour un béton drainant. Ce béton a développé des résistances supérieures aux trois autres bétons.

Avec l'aide de l'adjuvant haut réducteur d'eau SKY841 on a réussi à atteindre notre objectif et augmenter la résistance mécanique du béton. Cela veut dire que l'adjuvant est à l'origine de cette augmentation de résistance.

Ce béton a donné la meilleure résistance, ce qui nous a incité à étudier sa perméabilité ouverte à l'eau.

Remarque :

On a obtenu cette résistance et à côté une perméabilité de 20 litres/min, ce qui répond à tous les besoins du béton drainant par ce qu'on caractérise un béton drainant par sa résistance à la compression et par sa perméabilité.

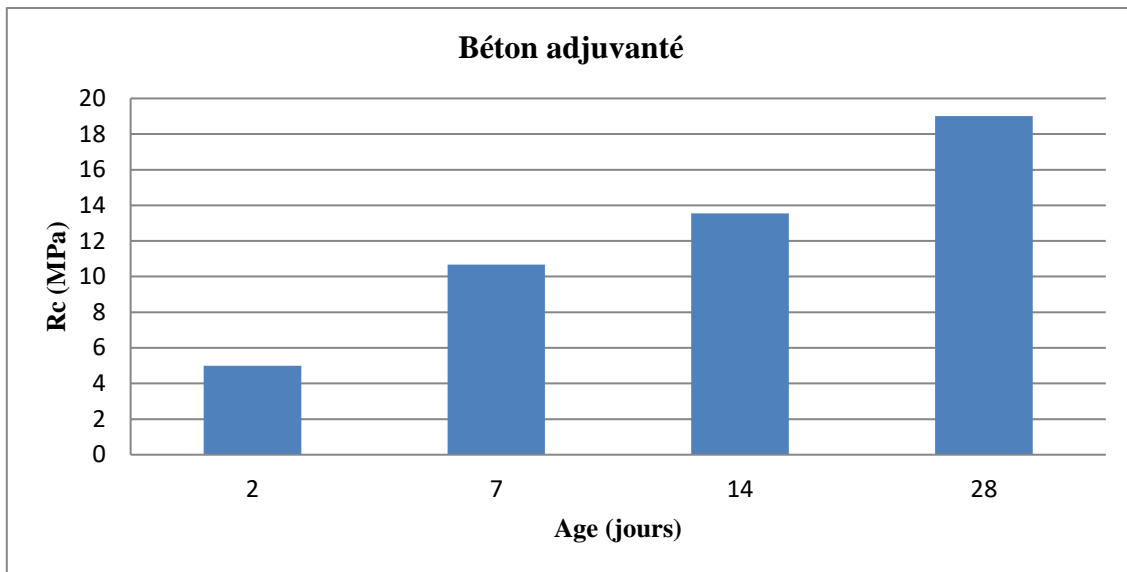


Figure 49-III : Diagramme de la variation des résistances à la compression en fonction du temps des bétons adjuvantés

De la figure (III.11) 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 15 % entre 3 et 7 jours, de plus de 20 % entre 7 et 14 jours et de plus de 35 % entre 14 et 28 jours.

La valeur de la résistance à la compression à 28 jours de 19 MPa est suffisante pour les grandes surfaces en béton drainant pour piétons et pour circulation occasionnelle de véhicules (de service et véhicules utilitaires en stationnement dans parking).

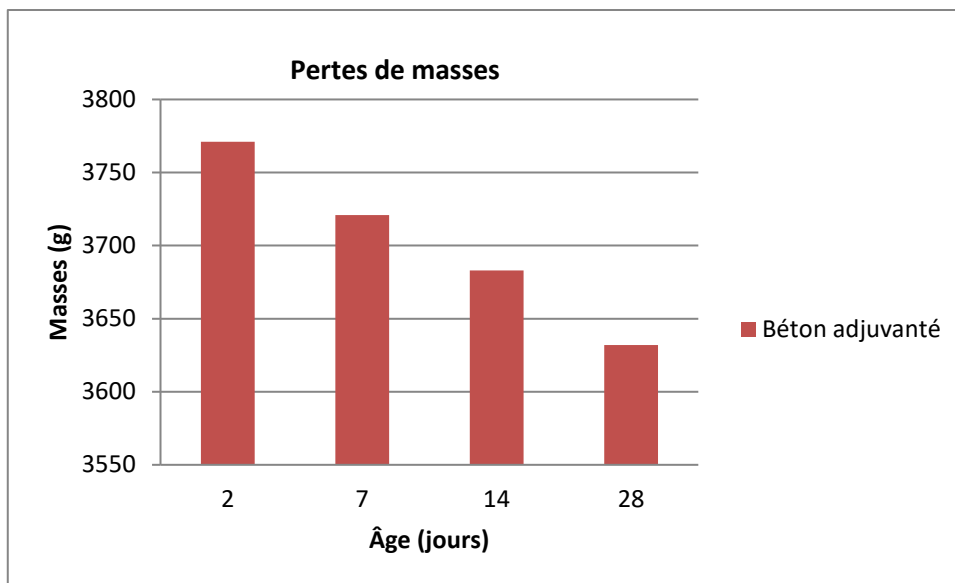


Figure 11bis -III : Variation des masses en fonction du temps (béton avec adjuvant).

La figure montre clairement une perte de masse assez importante de ces bétons. L'effet du dispersant de l'adjuvant a permis aux grains de ciment de mieux s'hydrater et par conséquent, de consommer plus d'eau.

Afin de pouvoir comparer les différentes résistances à la compression des différents bétons entre elles, on a réalisé la courbe des évolutions des résistances par rapport au béton de référence. Ces évolutions sont présentées dans la courbe ci-dessous.

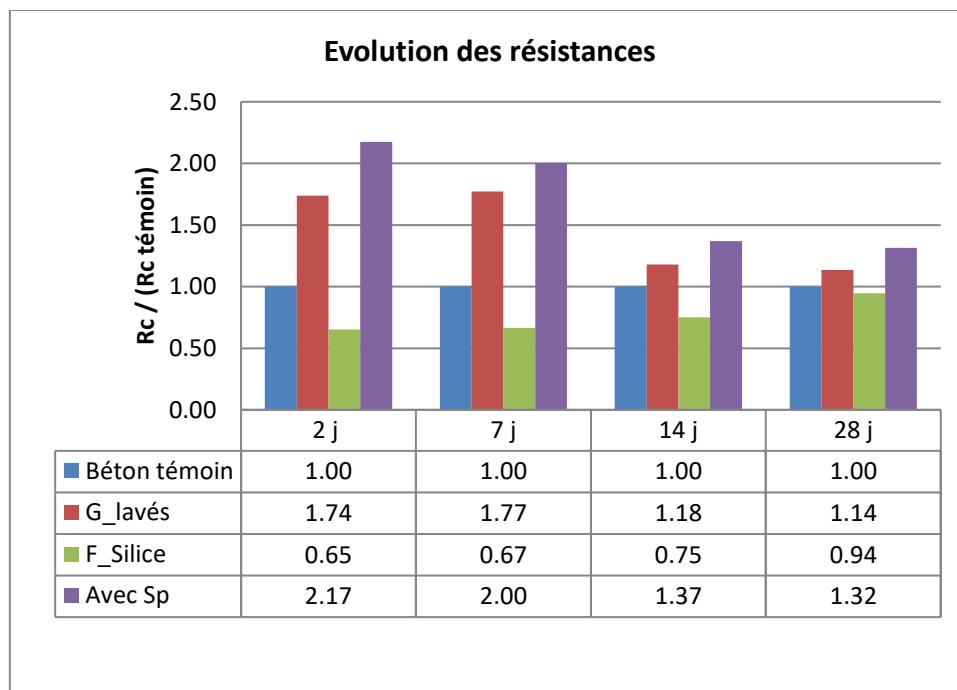


Figure 50-III : Diagramme de l'évolution résistances à la compression en fonction du temps des différents bétons

Les pertes de masses associées à ces résistances sont présentées dans la figure ci-dessous.

Le béton adjuvanté est le béton qui a développé le plus de résistances par rapport aux autres bétons. Contrairement au béton à base de fumée de silice qui des résistances les plus faibles. La fumée de silice n'a pas eu suffisamment de temps pour réagir avec la chaux libérée par le ciment hydraté. Les résistances de ces bétons restent inférieures à celles du béton témoin.

Les bétons avec granulats lavés ont développé des résistances supérieures à celles des bétons témoins durant toutes les échéances.

La figure des pertes des masses de ci-dessous montre clairement que les bétons à base de fumée de silice ont subi les pertes de masses les plus faibles. Alors que les bétons adjuvantés ont développé des pertes de masses appréciables. Ce qui mène à dire que plus la perte de masse est élevée, plus la résistance à la compression augmente.

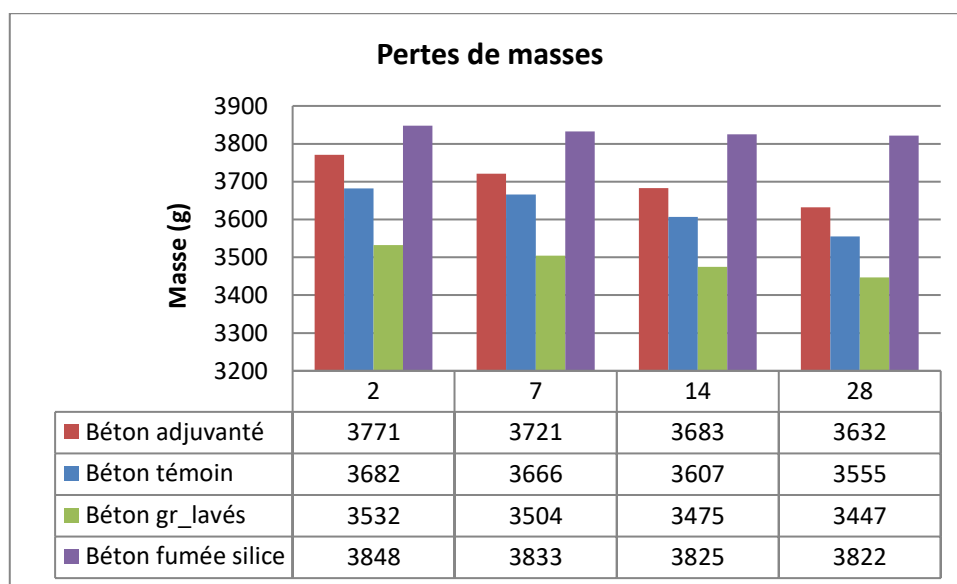


Figure 12 bis -III : Variation des masses en fonction du temps des bétons drainants élaborés.

5- Réalisations de pavés/blocs en béton drainant :

Après la fabrication de notre béton drainant au sein de la centrale à béton du groupe « GICA », nous avons réalisé quelques blocs et pavés représentatifs en bétons drainant montrés dans les figures suivantes :

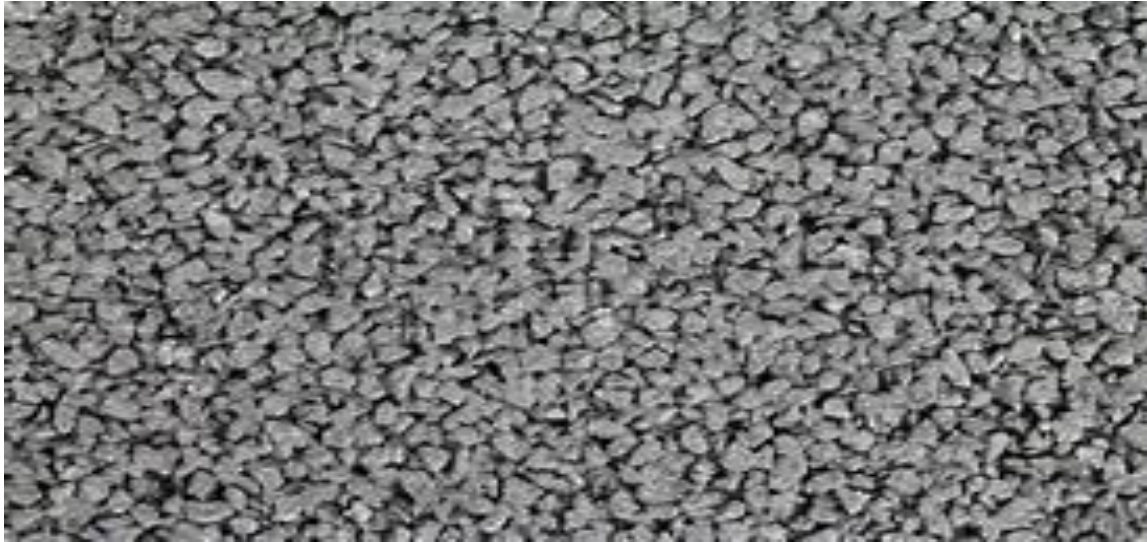


Figure 51-III : pavé rectangulaire en béton drainant.



Figure 52-III: perméabilité du béton drainant.

6- Conclusion :

Dans ce troisième et dernier chapitre nous avons présenté les différents résultats des essais qu'on a réalisé sur le béton frais et durci, on a réalisé 4 différents mélanges du béton avec et son adjuvant et avec granulats lavés pour ensuite les comparer avec notre béton de référence qui a été réalisé au sein du laboratoire « GICA », Ces essais ont été réalisés conformément aux normes.

Les essais sur les bétons confectionné on été réalisé aux échéances conventionnel de 3, 7, 14 et 28 jours.

On a obtenu des résultats différentes dans certains mélanges on a remarqué une augmentation de résistance et dans un autre une diminution.

L'ajout des adjuvants n'a rien changer à la perméabilité des différentes béton réaliser qui ont la même formulation.

Sachant que le but de notre recherche était d'augmenter la résistance mécanique sans toucher aux autres caractéristiques du béton drainant, d'après les résultats présentés dans ce chapitre on peut dire qu'on atteint notre objectif.

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire est une extension d'une recherche technique sur le **béton drainant**, ce béton allie les performances mécaniques, hydraulique et esthétiques.

Ce projet était l'occasion idéale d'apprendre et d'approfondir nos connaissances, cette recherche nous a permis de voir les choses autrement et d'exploiter nos connaissances acquises de ces années d'études théorique.

L'objectif principal de cette recherche était d'améliorer les caractéristiques mécaniques en ajoutant des adjuvants et des ajouts et d'élaborer plusieurs mélanges basé sur la formulation d'un béton drainant déjà réalisé dans une autre recherche, plusieurs bétons poreux ont été confectionnés en vue de procéder à des comparaisons entre les différentes propriétés de ces bétons, après identification des matériaux utilisés pour sa confection, ont été effectués des essais sur ses performances à l'état frais puis à l'état durci tels que les mesures des résistances mécanique, de perméabilité à l'eau, sur toutes les mélanges du béton qu'on a réalisé.

Pour atteindre cet objectif, l'étude a été devisée en trois parties :

La première partie concernait l'étude bibliographique sur tout ce qui concerne le béton drainant en générale, (ces utilisation, ces avantages et inconvénients ect...), elle nous a permis de fournir le contexte scientifique et technique pour notre travail.

La deuxième partie était sur l'étude expérimentale, dans cette partie on a défini les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés et les différentes méthodes des essais effectuées.

La troisième partie a porté sur l'ensemble des résultats obtenus et leurs analyses.

Ces résultats nous ont permis d'établir les conclusions suivantes :

- ✚ L'ajout d'un adjuvant pour le béton drainant aide fortement à améliorer les performances mécaniques et donner des résultats très satisfaisants.

- ✚ Le superplastifiant haut réducteur d'eau SKY841 et un adjuvant qui aide à améliorer les résistances mécaniques sans avoir un effet négative sur les autres caractéristique du béton drainant.
- ✚ La fumé de silice réagit avec la chaux libéré par le ciment, elle peut donner des résultats à long terme (+28jours). Cependant, on peut fabriquer un béton drainant à base de fumée de silice et obtenir une résistance supérieure à 8 MPa demandée.
- ✚ Le béton adjuvanté au superplastifiant est celui qui adonné les meilleures performances mécanique.
- ✚ Le béton adjuvanté au réducteur d'eau est un béton plastique de classe S2. Ce béton serait le plus maniable qui pourrait être étalé sur des surfaces horizontales avec plus de facilité de mise en œuvre que les autres bétons.
- ✚ La perméabilité à l'eau du notre béton est élevée par rapport au béton référence, ce qui fait de lui le matériau indispensable car il diminue les risques d'inondation.
- ✚ Ce béton a présenté une porosité supérieure à 15% très élevé qui assure un drainage aisé des eaux après les grandes pluies. C'est une caractéristique recherchée pour les bétons drainant.
- ✚ Le béton adjuvanté et celui avec granulats lavée ont donné une résistance à la compression élevée comparées au autres béton et au celui de référence, elle est assez suffisante pour les grandes surfaces en béton drainant pour piétons et pour circulation occasionnelle de véhicules (de service et véhicules utilitaires en stationnement dans parking).
- ✚ La perte de masse est directement associée à la résistance mécanique. Les bétons ayant perdu plus de masse durant leurs cures, ont développé des résistances à la compression les plus élevées.

Pour conclure notre travail a abouti à répondre aux objectifs initialement posés, mais faute temps et des circonstances sanitaires actuelles, le travail n'a pas été achevé comme nous l'avons souhaité.

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 bibliographique

- [1] **DANIEL MONT HARRY**, Michealplatzer , la technique du bâtiment
- [2] **constitution des bétons et des mortiers** située du site (GT-GT 10-30-41-PDF)
- [3] **Daddy kabagire kibenga** ,sherbrooke (québec) canada 20/3.
- [4] **WINER.R.R**, National pollutant Removal data base for storm water treatment practices, second edition , center for watershed protection, elicott city ; MD,2000,29p
- [5] **NASR – EDDINE.K** proietes et pathologie du beton OPU, 1991
- [6] **PAVEBETON FR /BETON DRAINANT**, caractéristique du béton drainant.
- [7] **CONSEIL DU BATIMENT DURABLE DU CANADA (CBDCA)** .Guide de référence LEED Canada, 2010
- [8]**ACI REPORT ON** Perviousconcrete American Concrete institue. ETATS-UNIS 2011 , 522R-10
- [9] **COSTA.U.MASSAZA.F** « frommaterials science to construction materials engineering », Proc 1st Int.Rilemcongrees, VOL.1 (VERSAILLES 1987) ,159
- [10] **NORMES AFNOR (NF EN 12697-19)** “bétons- Essai de perméabilité”
- [11] **ASHBY M.F, JONES D.R.H,** « **Matériaux.2** », Dunod, édition 1991.
- [12]**GERVAIS, G. (2000)** “**3Etudes des méthodes de mesures de la masse volumique et de teneur en eau des matériaux** ” université du Quebec.
- [13] **NORMES FRANCAISE. (1991)**, P18-598, “ Granulats-équivalent du sable”
- [14]**NORMES AFNOR. (1981)**, “ Bétons- Essai d'affaissement”
- [15] **NORMES ISO 4110** “ Béton Essai vété ”
- [16] **NORME FRANCAISE. (1990)** “ Granulats – mesures de la masse volumique, de la porosité et de la teneur en eau”, AFNOR, PARIS.

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

[18] **RAZOUG.R, ZINE-EDDINE. W**, « la technologie du béton ».