



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة غرداية  
Université de Ghardaïa

N°d'enregistrement  
/...../...../...../...../.....

كلية العلوم والتكنولوجيا  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
قسم الري والهندسة المدنية  
Département Hydraulique et Génie Civile

## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : ST

Filière: Génie Civil

Spécialité: Structures

Thème :

Valorisation des matériaux locaux : Effet des fines sur les mélanges  
des sables alluvionnaire -calcaire sur le comportement  
physico-mécaniques du béton (Région de Ghardaia )

Déposé le : 18/06/2023

Par :

- BOUHICHA Abdelatif
- BOUKHARI Chouaib

Évalué Par le jury composé de :

|                        |                         |               |           |
|------------------------|-------------------------|---------------|-----------|
| M. Laroui. Abdelbasset | Maitre Assistant A      | Univ Ghardaia | Président |
| M. SALHI Aimad         | Maitre Assistant A      | Univ Ghardaia | Examineur |
| M. CHERIF Miloud       | Magister en génie civil | Gérant BET    | Encadreur |

Année universitaire : 2022/2023

## ***Remerciement***

Je tiens tout d'abord louange à ALLAH , le tout puissant et miséricordieux, qui m'a donné la force et la patience d'accomplir ce travail de thèse.

Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.

Nous remercions tous les enseignants à université de GHARDAIA, particulièrement les enseignants de département de génie civile pour leurs précieux conseils et leurs efforts, sans oublier les responsables de la bibliothèque qui nous ont facilité notre recherche bibliographique.

Un grand merci à notre encadreur Mr : CHERIF Miloud , à sa confiance, son soutien incessant et à son encouragement permanent.

Un grand merci à toute l'équipe du laboratoire LTPS pour leur excellent accompagnement .Ainsi que leur soutien et la mise à disposition de matériel pour mener à bien nos travaux en laboratoire. Nous remercions les membres de jury qui nous font l'honneur de présider et d'examiner ce travail.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce projet de fin d'étude.

## Résumé

Après diverses expérimentations, les chercheurs ont déterminé le rapport idéal entre le sable alluvionnaire et le sable calcaire concassé pour obtenir les meilleures propriétés mécaniques et physiques du béton, telles que la compression, la traction et la flexion, ainsi que la durabilité. Ils ont découvert que le ratio de 50% d'échanges de sable alluvionnaire avec du sable calcaire concassé était le plus efficace. [27]

Dans cette étude, l'objectif but était de déterminer le taux optimal de fines (SC) résultant de la substitution de 50% de sable alluvionnaire par du sable calcaire pour du béton ordinaire. Des variantes de ce taux de fines (SC) 6%, 9%, 12%, 15% et 18%, ont été testées afin d'évaluer leur impact sur les propriétés du béton frais et durci « mécaniques et physiques »

À partir de notre étude expérimentale, nous avons déduit que le taux optimal de fines est de 15% en comparaison aux autres ratios étudiés. Ce taux a permis une amélioration notable des caractéristiques physiques et mécaniques du béton par rapport au béton de référence.

**Mots clés:** sable alluvionnaire, calcaire ,concassé, alluvion-calcaire ,taux fines , effet des fines, propriétés du béton .

## Abstract

After various experiments, researchers have determined the ideal ratio between alluvial sand and crushed limestone sand to achieve the best mechanical and physical properties of concrete, such as compression, tension, flexion, and durability. They discovered that the ratio of exchanging 50% of alluvial sand with crushed limestone sand was the most effective.

The objective of this study was to determine the optimal rate of fines (SC) resulting from substituting 50% of alluvial sand with limestone sand for ordinary concrete. Variants of this fines rate (SC) at 6%, 9%, 12%, 15%, and 18% were tested to evaluate their impact on the fresh and hardened concrete properties, both mechanical and physical.

From our experimental study, we concluded that the optimal rate of fines is 15% compared to the other studied ratios. This rate allowed a notable improvement in the physical and mechanical characteristics of concrete compared to the reference concrete.

**Keywords:** alluvial sand, limestone, crushed, alluvium-limestone, fine content, effect of fines, concrete properties.

## ملخص

بعد التجارب المتنوعة، توصل الباحثون إلى النسبة المثلى بين الرمل الغريني والرمل الجيري المسحوق للحصول على أفضل الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة مثل الضغط والشد والانحناء، بالإضافة إلى المتانة. وقد اكتشفوا أن نسبة تبادل 50% بين الرمل الغريني والرمل الجيري المسحوق كانت الأكثر فعالية.

وكان الهدف من هذه الدراسة هو تحديد النسبة المثلى للعناصر الدقيقة للرمل الجيري المسحوق (SC) المترتبة عن استبدال 50% من الرمل الغريني بالرمل الجيري للخرسانة العادية. تم اختبار متغيرات هذه النسبة من العناصر الدقيقة للرمل الجيري المسحوق (SC) بنسب مختلفة وهي: 6% و 9% و 12% و 15% و 18% لتقييم تأثيرها على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة الطازجة والمتصلبة.

ومن خلال دراستنا التجريبية، توصلنا إلى أن النسبة المثلى للعناصر الدقيقة للرمل الجيري المسحوق (SC) هي 15% بالمقارنة مع النسب الأخرى المدروسة. وقد سمحت هذه النسبة بتحسين ملحوظ للخصائص الميكانيكية والفيزيائية للخرسانة مقارنة بالخرسانة المرجعية.

**الكلمات المفتاحية:** الرمل الغريني، الجيري، المسحوق، رمل الجيري الغريني، نسبة العناصر الدقيقة، تأثير العناصر الدقيقة، خصائص الخرسانة.

Liste des Tableaux

Chapitre I

Tableau I.1: Tableau des différents types de béton ..... 5  
Tableau I.2: Classification des ciments en fonction de leur résistance normale ..... 7  
Tableau I.3: composition minéralogique de clinker ..... 8  
Tableau I.4: valeurs préconisées pour l'équivalent des sables par Dreux ..... 15  
Tableau I.5: La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton ..... 22

Chapitre II

Tableau II-1 A.G.T des graviers 3/8 ..... 27  
TableauII-2 A.G.T de graviers 8/15..... 28  
Tableau II-3 : Caractéristiques physiques des graviers 3/8 et 8/15 ..... 29  
TableauII-4 : les résultats A.G.T des sables «SC», «SA» et « SAC»..... 30  
Tableau II-5: E.S des sable «SC», «SA» et « SAC» ..... 32  
Tableau II-6: les masses volumique des sable «SC», «SA» et « SAC» ..... 32  
Tableau II-7: caractéristiques chimique pour les deux sables « SA» et « SC» ..... 32  
TableauII-8: les résultats A.G.T SAC avec variation des taux des fines 6% à 18% ..... 33  
Tableau II-9: E.S du sable « SAC» avec différentes taux des fines ..... 35  
Tableau II-10: les masses volumique du sable « SAC» avec différentes taux des fines ..... 35  
Tableau II-11: les données initiales pour la formulation de béton B12..... 36  
Tableau II-12: Formulation de béton B12 détaillée avec la méthode de Dreux-Gorisse ..... 36  
Tableau II-13: Récapitulatif des dosages Formulation de béton B12..... 38

Liste des Figures

Chapitre I

Figure I.1: composants de béton ..... 4  
Figure I.2: Constituants et ordre de grandeur des proportions d'un béton ordinaire ..... 6  
Figure I.3: les minéraux principaux du clinker ..... 8  
Figure I.4 : La forme d'un granulats ..... 12  
Figure I.5: Principe de l'essai d'équivalence de sable ..... 15  
Figure I.6: Estimation approximative de la quantité de ciment en fonction du rapport C/E et du niveau d'ouvrabilité souhaité. .... 18  
Figure I.7: Le graphique de référence optimal selon la méthode Dreux Gorisse ..... 19  
Figure I.8 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams ..... 19  
Figure I-9: Mesure de la masse volumique du béton ..... 22  
Figure I.10 : Représentation schématique pour l'essai de Résistance à la compression ..... 23  
Figure I .11 Représentation schématique pour l'essai de résistance à la traction par fendage 24  
Figure I 12 : La structure globale d'essai de Résistance à la flexion ..... 24

Chapitre II

Figure II.1: Sac de ciment ..... 26  
Figure II.2 Quartage et sélection d'échantillon ..... 29  
Figure II-3 Les courbes granulométrique de graviers 3/8 et 8/15 ..... 30  
Figure II-4 Les courbes granulométrique des sables ( SC, SA et SAC) ..... 31  
Figure II-5 Les courbes granulométriques des sables (SAC ) (6 à 18%) des fines ..... 37  
Figure II-6 les classe d'affaissement des bétons ..... 43  
Figure II.7 Schématisation du dispositif pour l'essai de résistance à la flexion ..... 45  
Figure II -8 Schéma essai de traction par fendage ..... 45

Chapitre III

Figure III.1. L'effet de la variation du pourcentage de fines sur l'ouvrabilité ..... 49  
Figure III.2. Les valeurs de la densité du béton en fonction de variation le taux de fines ..... 50  
Figure III.3 l'effet de la variation du taux en fines calcaires sur les résultats de Rc du béton..51  
Figure III.4 L'effet de la variation du taux des fines SA sur les résultats de Rtf du béton. .... 53  
Figure III.5 Résultats de Rtf du béton en fonction de la variation du pourcentage de fines. ..54  
Figure III.6. La variation de la vitesse ultrasonique en fonction du taux des fines (SC) ..... 56  
Figure III.7. Les mesures d'indices sclérométriques en fonction du taux des fines (SC) ..... 57

Liste des photos

Photo II-1 Échantillons des graviers utilisés 3/8 et 8/15 ..... 27

Photo II-3 sable concassé 0/3..... 30

Photo II -4: Sable roulé 0/4..... 30

Photo II -5 Préparation des fines SC ..... 36

Photo II -6 les fines SC ..... 36

Photo II.7. Ajout des fines de SC dans le malaxeur. .... 42

Photo II.8 Confection des éprouvettes ..... 42

Photo. II.9 . Mesure de l'affaissement à l'aide du cône d'Abrams..... 43

Photo II.9 l'éprouvette (15x30) cm<sup>2</sup> ..... 44

Photo II.10 . La machine de compression..... 44

Photo II.11 . Machine d'essai de flexion ..... 44

Photo II.12. L'essai de R<sub>tf</sub> ..... 45

Photo II.13 Éprouvettes après écrasements ..... 45

Photo II.14.: Essai ultrasonique ..... 46

Photo II.15 Essai Sclérométrique..... 47



## Liste des abréviations

- SAC** : Sable Alluvion-calcaire
- SA** : Sable Alluvionnaire
- SC** : Sable calcaire
- A.G.T** : Analyse granulométrie par tamisage
- Mf** : le module de finesse de sable
- Mvabs** : La Masse volumique absolue
- Mvapp** : La masse volumique apparente
- Rc** : La résistance à la compression du béton
- Rtf** : La résistance à la traction par fendage
- BT** : Béton témoin
- B6** : Béton de 6% des fines (SAC)
- B9** : Béton de 9% des fines (SAC)
- B12** : Béton de 12% des fines (SAC)
- B15** : Béton de 15% des fines (SAC)
- B18** : Béton de 18% des fines (SAC)

## Table des matières

|  |      |
|--|------|
| Remerciements .....  | I    |
| Résumé.....  | II   |
| Abstract.....  | III  |
| ملخص .....   | IV   |
| Liste des tableaux.....  | V    |
| Liste des figures.....   | VI   |
| Liste des photos .....   | VII  |
| Liste des abréviation .....                                    | VIII |
| Table des matières .....                                       | IX   |
| Introduction générale .....                                    | 1    |
| <b>Chapitre I : Synthèse Bibliographique</b>                   |      |
| I.1.Introduction .....   | 4    |
| I.2.Définition .....   | 4    |
| I.3.Classification des bétons .....                            | 4    |
| I.4.Les différents types du béton.....                         | 5    |
| I.5 Les constituants du béton .....                            | 6    |
| I.5 .1 Le ciment.....  | 6    |
| I.5.1.1. Les classifications de ciments .....                  | 7    |
| I.5.1.2 Les Constituants des ciments .....                     | 8    |
| I.5.2 Le granulat .....  | 10   |
| I.5.2.1 Classification des granulats selon la provenance ..... | 10   |
| I.5.2.1.1 Granulats naturels .....                             | 10   |
| I.5.2.2 Classification des granulats selon la grosseur .....   | 11   |
| I.5.2.3 Origine minéralogique .....                            | 11   |
| I.5.2.4 Caractéristiques des granulats .....                   | 12   |
| I.5.2.4.1 Caractéristiques géométriques .....                  | 12   |
| I.5.2.4.2 Caractéristiques physiques.....                      | 13   |
| I.5.2.4.3 Caractéristiques mécaniques .....                    | 14   |
| I.5.3 Le sable.....  | 15   |
| I.5.3.1 Propreté de sable .....                                | 15   |
| I.5.3.2 Module de finesse .....                                | 16   |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I.5.4 L'eau de gâchage .....</b>                                   | <b>17</b> |
| <b>I.6. Rôle des différents éléments constituant le béton .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>I.7. Formulations du béton .....</b>                               | <b>18</b> |
| <b>I.7.1. Méthode de Dreux-Gorisse .....</b>                          | <b>18</b> |
| <b>I.8. Les essais sur les bétons .....</b>                           | <b>22</b> |
| <b>I.8.1 Essais réalisés pour le béton à l'état frais .....</b>       | <b>22</b> |
| <b>I.8.1.1. Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams .....</b>            | <b>22</b> |
| <b>I.8.1.2. Essai de la masse volumique.....</b>                      | <b>23</b> |
| <b>I.8.2 Essais réalisés pour le béton à l'état durc .....</b>        | <b>24</b> |
| <b>I.8.2.1. Résistance à la compression .....</b>                     | <b>24</b> |
| <b>I.8.2.2. L'essai de résistance à la traction par fendage .....</b> | <b>24</b> |
| <b>I.8.2.3. Résistance à la flexion .....</b>                         | <b>25</b> |
| <b>I.8.2.4 Essai ultrasonique .....</b>                               | <b>26</b> |
| <b>I.8.2.5. Essai de Scléromètre .....</b>                            | <b>26</b> |
| <b>I.9. Conclusion .....</b>  | <b>26</b> |

**Chapitre II : Matériels et méthodes expérimentales**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>II.1. Introduction .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>II.2 Le Ciment .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.3 Eau de gâchage.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.4 Les granulats .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.4.1 Echantillonnage .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.4.2 Les Gravieres .....</b>  | <b>30</b> |
| <b>II.4.2.1 Analyse granulométrie par tamisage (A.G.T) .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>II.4.2.1.1 A.G.T des Gravieres 3/8.....</b>   | <b>30</b> |
| <b>II.4.2.1.2 A.G.T des Gravieres 8/15 .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>II.4.2.2 Caractéristiques physiques des graviers .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>II.4.3 Les Sables .....</b>   | <b>32</b> |
| <b>II.4.3.1 A.G.T des sables «SC», «SA» et « SAC» .....</b>  | <b>33</b> |
| <b>II.4.3.2 Caractéristiques physiques et chimiques des sable «SC, SA et SAC» .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>II.4.3.3 Préparation des fines de sable calcaire .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>II.4.3.3 A.G.T des sables « SAC» « 50 %SA + 50% SC » avec variation le taux des fines (06 % , 09 %,12 %,15 %,18 % ) .....</b> | <b>36</b> |
| <b>II.4.3.4 Caractéristiques physiques et chimiques des sable « SAC» avec variation le taux des fines .....</b>                  | <b>37</b> |

|   |    |
|---|----|
| 1) L'équivalent de Sable « ES» .....  | 37 |
| 2) La masse volumique apparente et absolue .....                                  | 38 |
| II.5 Les Adjuvants .....  | 38 |
| II.6 Composition du béton.....  | 39 |
| 6.1 Formulation de béton B12 pour un mélange SAC à 12% des fines. .               | 39 |
| II.6.2 Récapitulatif des dosages Formulation de béton B12.....                    | 41 |
| II.6.3 Procédure de gâchage.....  | 41 |
| II.6.4 Confection et cure des éprouvettes.....                                    | 42 |
| II.7 Programme des essais.....  | 43 |
| II.7.1 Propriétés physiques.....  | 43 |
| II.7.1.1 L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (ouvrabilité) .....              | 43 |
| II.7.1.2 Essai de la masse volumique .....  | 43 |
| II .8 Propriétés mécaniques.....  | 44 |
| II .8.1Essai de la résistance à la compression .....                              | 44 |
| II .8.1.2Essai de traction par flexion .....                                      | 44 |
| II.8 .1.3 L'essai de résistance à la traction par fendage (essai brésilien) ..... | 45 |
| II.8 .1.4 Essai ultrasonique .....  | 46 |
| II.8 .1.5 Essai Sclérométriques.....  | 46 |
| II.9 Conclusion .....   | 47 |

### Chapitre III : Analyse et discussions des résultats

|   |    |
|---|----|
| III.1 Introduction.....   | 48 |
| III.2 Résultats du comportement le béton a l'état frais : .....                     | 48 |
| III.2.1 Ouvrabilité .....   | 48 |
| III.2.2 Densité à l'état frais de différents bétons étudiés.....                    | 48 |
| III.3 Les résultats des propriétés physico-mécaniques du béton à l'état durci ..... | 49 |
| III.3.1. Essai de la compression .....  | 49 |
| III.3.2. Essai de flexion .....   | 51 |
| III.3.3 Essai de traction par fendage .....   | 52 |
| III.3.4 Essai ultrasonique .....  | 54 |
| III.8 .1.5 Essai Sclérométriques .....  | 54 |
| III.4 Conclusion : .....  | 56 |
| Conclusions générales et perspectives.....  | 58 |

# **INTRODUCTION**

### Introduction générale

Il est largement reconnu que le béton est le matériau composite le plus utilisé après l'eau sur Terre. En moyenne, chaque personne consomme un mètre cube de béton par an, dont les principaux composants sont le gravier, le sable, le ciment et l'eau. Cependant, avec l'évolution des matériaux et les exigences des projets de construction, il devient nécessaire d'explorer de nouvelles alternatives.

La production de béton à grande échelle requiert une quantité importante de sables alluvionnaires naturels, qui ne sont pas disponibles en quantité suffisante pour répondre à la demande croissante de construction.

Les chercheurs ont remarqué que remplacer une partie du sable par du sable provenant de la concassage des roches calcaires abondamment présentes à la surface de la terre améliore les performances du béton tout en contribuant à la protection de l'environnement.

Suite à des recherches antérieures qui ont permis de déterminer que le rapport de remplacement optimal de ce sable par du sable alluvionnaire naturel pour la construction est de 50 %.[27]

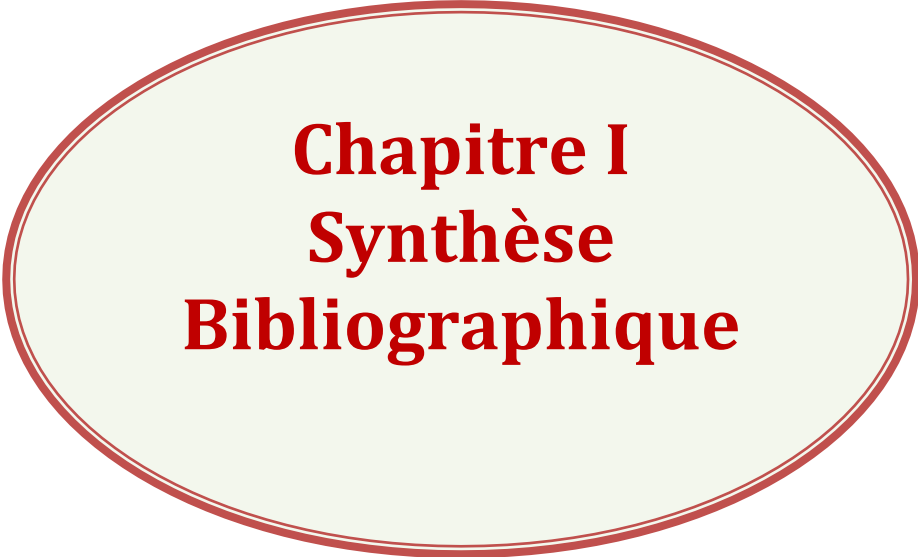
Dans cette étude, notre objectif principal est d'analyser l'impact de la variation du pourcentage de fines extraites de ce type de mélange (sable Alluvion-calcaire) en utilisant un super plastifiant sur les propriétés du béton, à la fois à l'état frais et durci. Ainsi, le titre de cette recherche est " Valorisation des matériaux locaux : Effet des fines sur les mélanges des sables alluvionnaire -calcaire sur le comportement physico-mécaniques du béton (région de Ghardaïa) ".

Afin d'atteindre ces objectifs, ce travail est divisé en trois chapitres, comme suit :

- Introduction générale : consiste en la définition du sujet, un plan de travail et des objectifs visés.
- Synthèse bibliographique : le premier chapitre, nous présentons une revue des études existantes sur le béton, ses composants essentiels, les méthodes de formulation et les différents tests réalisés.
- Étude expérimentale : Le Deuxième chapitre se concentre sur les essais effectués sur les matériaux utilisés dans ce travail, ainsi que sur la formulation du béton selon la méthode

Dreux-Gorisse.

- Analyse et discussion des résultats : Le troisième chapitre est consisté à analyser et discuter les résultats issus des expériences menées, ainsi qu'à l'observation du béton de référence.
- Il s'achève par une conclusion générale synthétisant les apports de ce travail et esquissant les pistes d'amélioration.



**Chapitre I**  
**Synthèse**  
**Bibliographique**



### I.1.Introduction :

Le béton constitue le matériau de construction le plus utilisé au monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et, notamment dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

Dans ce chapitre nous avons fait une recherche bibliographique sur chaque composant du Béton, ces caractéristiques, les types et propriétés physiques et mécaniques.

### I.2.Définition :

Les bétons ordinaires sont un mélange de quatre éléments principaux. Le ciment qui sert de liant hydraulique, de l'eau, de sables et granulats. Les granulats sont classés en fonction de leurs tailles, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [1]

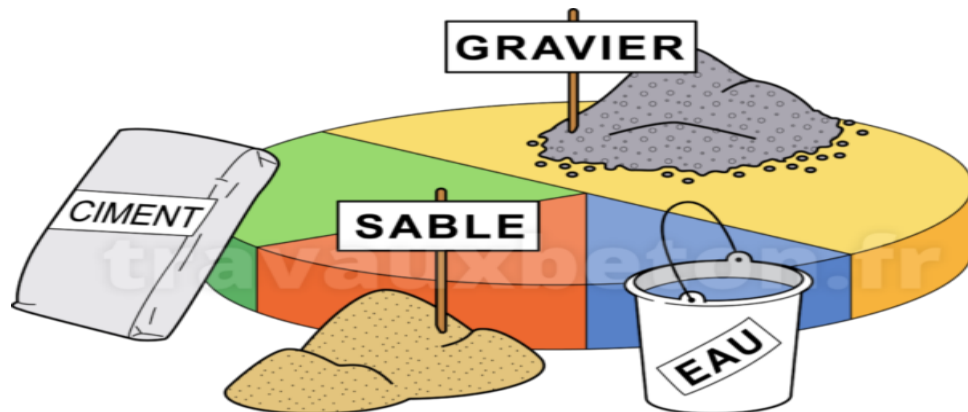


Figure I.1: composants de béton [1]

Un béton hydraulique est constitué [2] :

- D'une pâte (ciment + eau)
- D'un mélange granulaire.
- De produits additionnels (adjuvants, additions minérales).
- On désigne habituellement sous le nom :
- De matrice ou de mortier : le mélange (liant + sable + eau)
- De squelette solide ou de squelette granulaire : mélange de granulats.

### I.3.Classification des bétons :

Le béton peut généralement être classé en quatre catégories en fonction de sa masse volumique [3] :

- Béton très lourd :  $> 2500 \text{ kg/m}^3$  ;
- Béton lourd (béton courant) :  $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$  ;

- Béton léger : 500 - 1800 kg/m<sup>3</sup> ;
- Béton très léger : < 500 kg/m<sup>3</sup>.

**I.4. Les différents types du béton :**

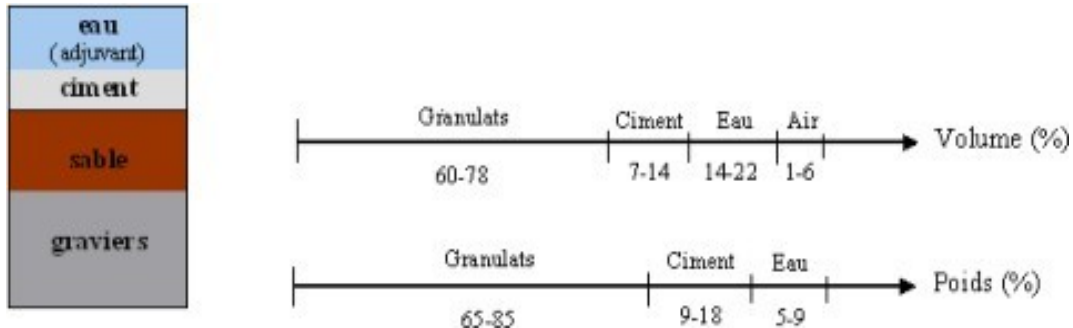
La famille des bétons est en constante évolution grâce aux avancées technologiques. Ce matériau peut être modifié en termes de composition, de dosage et de constituants pour répondre aux besoins spécifiques en termes de performances. Ainsi, en respectant les normes de sécurité et en s'adaptant aux préférences des utilisateurs, le béton, sous ses diverses formes, est en mesure de répondre à toutes nos exigences. [4]

**Tableau I.1: Tableau des différents types de béton [4]**

| Types de béton                        | Caractéristiques  | Exemples de dosages pour 1m <sup>3</sup> de béton   | Applications  |
|---------------------------------------|---|---|---|
| <b>Le béton léger</b>                 | Composé de granulats de faible densité, utilisation éventuelle d'adjuvants entraîneurs d'air.   | Ciment : 400 kg ; Billes PSE : 350 L ; Sable : 950 kg ; Eau : 170 L ; Adjuvant : 1 à 4%                       | Hourdis, cloisons, réhabilitation de bâtiment anciens, remplissages |
| <b>Le béton lourd</b>                 | Composé de granulats de densité élevée (plomb, magnétite, hématite)   | Ciment : 250 kg ; Hématite 0/1 mm : 1000 kg ; Hématite 0/5 mm : 900 kg ; Hématite 8/25 mm: 1700 kg; Eau: 120L | Protection contre les radiations, réalisation de contrepoids        |
| <b>Le béton auto-plaçant</b>          | Ajout d'adjuvants tels que des super plastifiants et des agents de viscosité dans la composition. Béton très fluide se mettant en place sans avoir recours à un système de vibration.                         | Ciment : 350 kg ; Sable : 800 kg ; Gravillons : 900 kg ; Fines 200 kg ; Eau : 180 L                           | Radier, fondations, sols industriels                                |
| <b>Le béton fibré</b>                 | Ajout de fibres de nature, dimension et forme différentes. Réparties de manière homogène dans le mélange, ces fibres améliorent certaines caractéristiques du béton (résistance à la traction, tenue au feu). | /   | Dalles, sols industriels, poutres, tuyaux                           |
| <b>Les bétons décoratifs</b>          | Leur composition évolue en fonction des aractéristiques recherchées.  | Béton lavé : Ciment : 300 kg ; Granulat : 800 kg ; Sable semi-fin : 400 L ; Eau : 160 L                       | Murs, terrasses, dalles, allée, trottoirs                           |
| <b>Les bétons hautes performances</b> | Bétons aux résistances accrues, très peu poreux. Plus durables.   | Dépend du BHP   | Ponts, centrales nucléaires, ouvrages de grande ampleur             |

### I.5 Les constituants du béton :

Le béton est une combinaison de divers éléments, tels que le ciment, l'eau, le sable, le gravier et généralement des adjuvants, qui se mélangent pour former une substance homogène.. [1]



**Figure I.2: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton Ordinaire [1]**

Les composants et les proportions approximatives des composants d'un béton ordinaire.[5]

Les principaux constituants sont:

#### I.5.1 Le ciment:

Le ciment est une poudre minérale très fine qui, lorsqu'elle est mélangée avec de l'eau, forme une pâte qui sèche et durcit avec le temps. Cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même lorsqu'elle est immergée dans l'eau.

##### I.5.1.1. Les classifications de ciments :

Le ciment peut être classé comme suit:

##### **Selon sa composition :**

Il existe cinq grandes familles de ciments, comportant au total vingt-sept variantes principales (voir la norme EN-197-1-2000), pour plus de détails :

- Ciment Portland (noté CEM I).
- Ciment Portland composé (noté CEM II).
- Ciments de hauts fourneaux (noté CEM III).
- Ciments Pouzzolaniques (noté CEM IV).
- Ciments au laitier et aux cendres ou ciment composé (noté CEM V).

##### **Selon ses résistances à la compression :**

La norme NF EN 197-1 catégorise les ciments courants en six classes de résistance, en fonction de leur résistance à la compression (résistance normale) évaluée conformément à la norme EN 196-1, après une durée de 28 jours.

Tableau I.2: Classification des ciments en fonction de leur résistance normale [6]

| Classe de résistance | Résistance à la compression [N/mm <sup>2</sup> ] |         |                                |        |
|----------------------|--|---------|--------------------------------|--------|
|                      | Au jeune âge                                     |         | Résistance courante à 28 jours |        |
|                      | 2 jours  | 7 jours | Min                            | Max    |
| 32.5 N               | -  | ≥ 16,0  | ≥ 32,5                         | ≤ 52,5 |
| 32.5 R               | ≥ 10   | -       | ≥ 32,5                         | ≤ 52,5 |
| 42.5 N               | ≥ 10   | -       | ≥ 42,5                         | ≤ 62,5 |
| 42.5 R               | ≥ 20   | -       | ≥ 42,5                         | ≤ 62,5 |
| 52.5 N               | ≥ 20   | -       | ≥ 52,5                         | -      |
| 52.5 R               | ≥ 30   | -       | ≥ 52,5                         | -      |

**Selon le type d'environnement:**

Certains types de ciments possèdent des propriétés additionnelles qui leur permettent de s'adapter à des environnements particuliers.

**I.5.1.2 Les Constituants des ciments:****➤ Le clinker:**

Le clinker est un matériau qui est obtenu à partir de la cuisson, à 1450 °C, d'un mélange composé d'environ 80 % de calcaire (qui apporte le calcium) et de 20 % de matériaux aluminosilicates (notamment les argiles qui apportent le silicium, l'aluminium et le fer).

Tous les ciments ont pour constituant de base le clinker qui assure la fonction liante grâce à laquelle on passe d'un état initial de fluide modulable à un état final de solide mécaniquement résistant ; « la norme **NF P 18-301** » spécifie que le clinker doit être constitué d'au moins deux Tiers en masse de silicates de calcium.

Le clinker est accompagné de sulfate de calcium (le gypse) nécessaire pour régulariser la prise (le ciment reste coupable pendant une période suffisamment longue afin de permettre sa mise en place). [7]

Le clinker se présente sous la forme de petit module composé essentiellement de quatre phases cristallines Indiqué dans le tableau ci-dessous :

Tableau I.3: composition minéralogique de clinker [8]

| Constituants                   | Composition et abréviation  | Appellation abrégée | Taux (%) |
|--------------------------------|---|---------------------|----------|
| Silicate tricalcique           | 3CaO. SiO <sub>2</sub>  | C3S                 | 60-70    |
| Silicate bi calcique           | 2CaO. SiO <sub>2</sub>  | C2S                 | 10-20    |
| Aluminate tricalcique          | 3CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                | C3A                 | 0-14     |
| Alumino-ferrite tétra calcique | 4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | C4AF                | 7-14     |

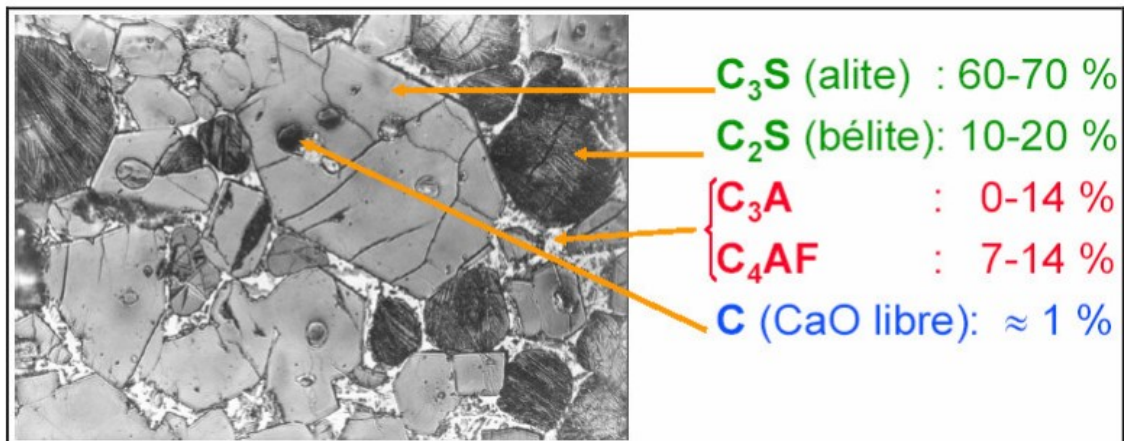


Figure I.3: les minéraux principaux du clinker [8]

Afin de modifier les propriétés des ciments, on incorpore au clinker des constituants auxiliaires qui présentent des caractéristiques chimiques ou physiques spécifiques, à savoir :

- Les Calcaires.
- Le Laitier granulé de haut fourneau.
- Les Cendres volantes (V ou W).
- Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois Pouzzolaniques
- Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques
- Les Fumées de silice.
- Les Schistes calcinés.
- La Pouzzolane.
- Les Fillers

### I.5.2 Le granulat :

Les granulats comprennent tous les grains inertes (tels que le sable, les graviers et les

cailloux), qui peuvent être d'origine naturelle ou artificielle. [NF P 15-010].

La plupart des granulats utilisés pour le béton proviennent de roches naturelles en raison de leur faible coût volumique, de leur meilleure stabilité et durabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau. Les caractéristiques des granulats tels que leur forme, leur texture de surface et leur concentration ont une influence considérable sur le comportement du béton à l'état frais et durci. [1]

### **I.5.2.1 Classification des granulats selon la provenance :**

#### **I.5.2.1.1 Granulats naturels : [3]**

Les granulats les plus couramment utilisés pour le béton sont d'origine naturelle et proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les graines et les porphyres.

#### **A) Granulats roulés :**

Les granulats sont formés par la désagrégation des roches par l'eau ou le gel, créant des dépôts sédimentaires de grains de différentes tailles et natures minéralogiques. La nature des granulats peut être classée en trois catégories de granulats roulés dans la nature.

- Les granulats de rivière (d'oued).
- Les granulats de dunes.
- Les granulats de mer

#### **B) Granulats concassés (de carrières) :**

Les granulats sont produits en concassant des roches dures telles que le granit, le porphyre et le basalte, ce qui leur donne un aspect anguleux avec des arêtes.

#### **C) Granulats artificiels :**

Certains granulats sont issus de la transformation thermique de roches, comme le laitier issu des hauts fourneaux, ou encore de la démolition d'ouvrages.

#### **D) Granulats Recyclé :**

Les granulats recyclés sont obtenus en traitant des matériaux inorganiques déjà utilisés dans la construction, tels que des bétons provenant de la démolition de bâtiments ou de structures de chaussées.

### **I.5.2.2 Classification des granulats selon la grosseur :**

Les granulats ont des dimensions qui peuvent varier de quelques dixièmes de millimètres à

plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540 établit les principales classifications granulométriques des granulats.

- Sable avec  $1\text{mm} < D \leq 6,3\text{mm}$ .
- Gravillon avec  $d \geq 1\text{ mm}$  et  $D \leq 125\text{ mm}$ .
- Gravier avec  $D > 6,3\text{ mm}$ . [2].

### **I.5.2.3 Origine minéralogique :**

Les granulats naturels les plus couramment utilisés dans le béton proviennent de différentes sources, notamment des roches sédimentaires riches en silice ou en calcaire, des roches métamorphiques telles que les quartzites, ainsi que des roches volcaniques comme les basaltes, les granites et les porphyres.

Ils sont classés en deux catégories, indépendamment de leur composition minéralogique : [9]

#### **A) Les granulats de roches meubles:**

Les granulats utilisés dans la fabrication du béton ont une forme arrondie qui résulte de l'érosion et sont lavés pour éliminer les particules argileuses qui pourraient affaiblir le béton. Ils sont ensuite triés en différentes classes de dimension. Bien que les roches utilisées pour les granulats varient selon la région, les plus courantes sont les roches siliceuses, calcaires ou Alluvion-calcaires. Ils sont généralement extraits à proximité des cours d'eau, dans les nappes phréatiques ou au-dessus de celles-ci, ou encore sur des fonds marins peu profonds, et l'extraction peut se faire soit à sec, soit dans l'eau.

#### **B) Les granulats de roches massives:**

Les granulats concassés ont une forme angulaire et sont obtenus par abattage et concassage. Avant d'être utilisés, ils doivent subir une phase de pré-criblage pour éliminer les impuretés. Différentes phases de concassage permettent d'obtenir des granulats de différentes classes. Les caractéristiques des granulats dépendent de nombreux paramètres tels que l'origine de la roche, la régularité du banc et le degré de concassage. [10]

### **I.5.2.4 Caractéristiques des granulats :**

#### **I.5.2.4.1 Caractéristiques géométriques : [11]**

##### **1) Désignation des granulats :**

Les granulats sont couramment identifiés en fonction de leur plus petite et de leur plus

grande dimension, ce qui donne lieu aux termes "granulats d/D".

d: dimension minimale des grains ; D: dimension maximale des grains.

## 2) Analyse granulométrique d'un granulat (P 18-560):

La méthode de classification des grains d'un granulat implique d'utiliser une série de tamis pour les trier en différentes catégories en fonction de leur taille. Ensuite, on évalue les pourcentages pondéraux de chaque catégorie présente dans le granulat. Le choix des tamis dépend des dimensions du granulat à analyser.

- Série principale européenne (NFEN 933-1): 0.063-0.125 -0.25-0.5 -1-2-4-8 16-31.5.
- Série française principale (P 18-560):0.08-0.16 -0.315-0.63-1.25 -2-5-10-20...

La méthode d'analyse granulométrique des granulats implique l'utilisation d'une série de tamis de mailles croissantes, allant du plus petit en haut au plus grand en bas. L'échantillon de granulats est placé dans le tamis supérieur et une vibration est appliquée à la série de tamis pour trier les grains par taille. Chaque tamis retient une partie de l'échantillon appelée "refus partiel", tandis que le "refus cumulé" correspond à la somme de tous les refus partiels situés au-dessus du tamis considéré. Pour exprimer le pourcentage du refus cumulé d'un tamis par rapport au poids total de l'échantillon, on divise le refus cumulé par le poids initial de l'échantillon.

Le complément du refus cumulé à 100% correspond à la passation du tamis considéré.

$$\% \text{Refus} = (\text{Poids refus cumulé} \div \text{Poids échantillon}) \times 100$$

$$\% \text{Tamisât} = \%100 - \% \text{Refus}$$

La courbe granulométrique représente graphiquement la proportion de matière passant à travers chaque tamis en fonction de la taille de la maille du tamis, exprimée en pourcentage. Pour tenir compte de la grande variabilité des dimensions des grains dans le granulat, l'échelle de la taille de maille des tamis est représentée sur un axe logarithmique. Cela permet d'obtenir une courbe plus précise et de mieux visualiser la répartition des tailles de grains dans le granulat..

Ainsi la courbe granulométrique est :  $\% \text{Tamisât} = f [\log(d)]$ , avec d : dimension de la maille du tamis.

## 3) Courbe granulométrie :

Cet outil est essentiel pour sélectionner la composition optimale d'un béton performant ayant les caractéristiques mentionnées précédemment.



#### 4) Forme des granulats et l'état de surface :

La forme d'un granulat est déterminée par trois dimensions principales :

- La longueur (L) : la plus grande dimension entre deux plans parallèles tangents.
- L'épaisseur (E) : la plus petite dimension entre deux plans parallèles tangents.
- La grosseur (G) : la dimension de la maille carrée min à travers laquelle l'élément peut passer.

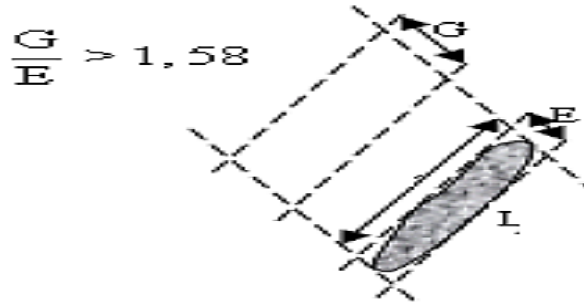


Figure I.4 : La forme d'un granulat

#### 5) Coefficient d'Aplatissement A (NFP-18561 septembre 1990) :

Le coefficient A d'un ensemble de granulats représente la proportion en poids des éléments qui satisfont à la condition suivante :  $G/E > 1,58$ .

Dans des conditions similaires où  $L \leq G \leq E$ , il est également possible de déterminer :

- l'indice d'aplatissement:  $\alpha = E/G$
- l'indice d'allongement:  $\beta = G/L$

#### I.5.2.4.2 Caractéristiques physiques

##### 1) La Masse volumique apparente (NFP18-554) :

La masse volumique apparente est définie comme la masse du granulat occupant une unité de volume, y compris tous les vides. Elle est calculée en effectuant le rapport entre la masse et le volume. [13 ]

##### 2) La masse volumique absolue (NF-EN 12620) :

L'essai de masse volumique absolue a pour objectif de déterminer la masse par unité de volume d'un matériau granulaire, sans prendre en compte les vides présents dans ou entre les grains. Cette information est utile pour connaître la masse d'une fraction granulaire lors de la conception d'un béton, par exemple.[14 ]

### 3) Teneur en eau (NF P18-555): [13]

La teneur en eau d'un granulat est le rapport du poids d'eau contenu au poids des grains composant le granulat.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

E: poids d'eau dans le matériau.

P<sub>s</sub> : poids de matériau sec. P<sub>h</sub>: poids matériau humide.

Si W est exprimé en % :

$$W\% = 100 \times \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

#### I.5.2.4.3 Caractéristiques mécaniques : [ 11 ]

➤ : Essai los Angeles (Résistance au choc) (NF EN 1097-2) :

**Principe de l'essai :** L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulet normalisés dans la machine Los Angeles suivant la norme **NF EN 1097-2**.

**But de l'essai :** L'essai Los Angeles a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats



**Photo I.1: Essai Los Angeles**

#### I.5.3 Le sable :

Le sable sont des Grains de dimensions allant de 0 à D où  $1 < D \leq 6,3$  mm, d'après la norme **P18-598**, de granularité définies principalement par les paramètres suivants [15] 17:

- Teneur en fines (passant à 0,08mm  $\leq$  12%)
- Module de finesse (Mf = 1,8 à 3,2)

- Bonne continuité de la courbe granulométrique est nécessaire pour la maniabilité du béton suivant la norme **P18-541**.

Les sables peuvent être classés, selon leurs provenances comme suit [16] :

**-Sable de rivière (Sables alluvionnaires)**: il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.

**-Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.

**-Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

**-Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.

**-Sable de dune** : les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

### 1.5.3.1 Propreté de sable :

L'objectif de cet essai est de mesurer le degré de propreté des sables utilisés dans la composition des bétons. L'essai consiste à éliminer les particules fines présentes dans le sable et une procédure normalisée est mise en place pour déterminer le coefficient d'équivalent de sable, qui permet de quantifier le niveau de propreté du matériau.

#### ➤ Essai d'équivalent des sable (NFP18-598) :

Pour les sables, cet essai implique de placer un poids spécifique de sable dans une solution flocculante. Après agitation, le mélange est laissé à décantation pendant 20 minutes. Ensuite, la hauteur du sédiment H1 et la hauteur du sédiment + flocculant H2 sont mesurées dans une éprouvette normalisée. Le résultat obtenu est : [17]

$$ESv \% = \frac{h1}{h2} \times 100$$

$$ES \% = \frac{h1}{h'2} \times 100$$

ES: équivalent de sable mesuré au piston

ESv : équivalent de sable mesuré visuellement ; h1 : hauteur du sable propre seulement

h1: hauteur du sable propre seulement au piston; h'2: hauteur du sable propre et élément fins.

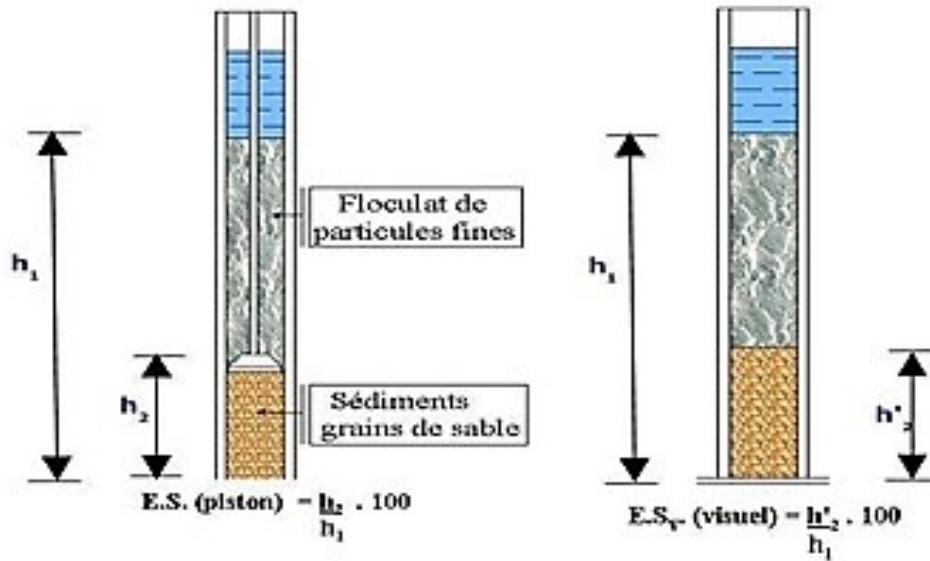


Figure I.5: Principe de l'essai d'équivalente de sable [17]

Tableau I.4: valeurs préconisées pour l'équivalent des sables par DREUX [17]

|               |               |  |
|---------------|---------------|--|
| ESv < 65      | Esp < 60      | Sable argileuse ; à rejeter pour des bétons de qualité   |
| 65 < ESv < 75 | 60 < Esp < 70 | Sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante                               |
| 75 < ESv < 85 | 70 < Esp < 80 | Sable propre à faible pourcentage de fines argileuse ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité |
| ASv > 85      | Esp > 80      | Sable très propre : risque d'un défaut de plasticité du béton  |

**I.5.3.2 Module de finesse (NF P 18 304) :**

Le module de finesse (**Mf**) d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série sauf le tamis (0.08) Il est donné par la relation suivante :

$$Mf = \frac{\sum Ri}{100}$$

Avec **Ri** :refus cumulés en (%).

- B= trop fin Module finesse 1,80 à 2,20 (augmentation de dosage en eau alors la mise en œuvre facile mais la résistance du béton chute).
- A= préférentiel Module finesse 2,20 à 2,80(La mise en œuvre facile et la résistance élevée).
- C = trop grossier Module finesse 2,80 à 3,20 (manque ouvrabilité donc la mise en œuvre est difficile, une bonne résistance mécanique et risque de ségrégation limitent). [18]

#### I.5.4 L'eau de gâchage : [19]

Selon la norme NF EN 1008, l'eau de gâchage utilisée dans la fabrication du béton remplit deux fonctions principales : elle confère au béton sa maniabilité à l'état frais, c'est-à-dire ses propriétés rhéologiques, et elle assure l'hydratation des grains de ciment pour permettre la prise et le durcissement.

Différentes catégories d'eau peuvent convenir à la préparation du béton :

- Les eaux potables sont évidemment appropriées pour cet usage.
- Il est possible d'utiliser les eaux de recyclage issues du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs, à condition de vérifier leur compatibilité en cas de changement de ciment ou d'adjuvant dans un mélange spécifique. Si ces eaux contiennent des éléments fins provenant des matériaux utilisés dans la fabrication du béton, tels que le ciment ou les fines du sable, elles peuvent être réutilisées après avoir été traitées dans des bassins de décantation.
- Les eaux de pluie, les eaux de ruissellement et les eaux pompées conviennent également, tant qu'elles respectent les prescriptions de la norme. Cependant,

Il faut éviter d'utiliser certaines catégories d'eau, notamment :

- Les eaux usées.
- Les eaux vannées ou contenant des détergents.
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques.

Avant d'utiliser ces différentes eaux, il est impératif de les soumettre à des analyses afin de vérifier leur innocuité pour la préparation du béton.

#### I.6. Rôle des différents éléments constituant le béton : [20]

- ❖ **Ciment:** C'est l'élément qui va réagir chimiquement avec l'eau, acquérir de la résistance et assurer la cohésion de tous les constituants
- ❖ **L'eau :** permet la réaction d'hydratation du ciment et rend le mélange de béton malléable.
- ❖ **Les granulats:**
  - **Les gravies :** Les granulats dans le béton vont former une structure plus ou moins ordonnée, ce qui confère au béton sa résistance. Le ciment hydraté est responsable de la liaison entre les granulats, les maintenant ensemble dans la structure du béton.
  - **Le sable:** Il permet de combler les vides qui se trouvent entre les gros granulats
- ❖ **Les plastifiants:** Ils améliorent la maniabilité du béton, c'est-à-dire la facilité avec laquelle le béton peut être travaillé.

### I.7. Formulations du béton :

La composition du béton implique la recherche du dosage adéquat de ses différentes composantes (ciment, granulat, eau) afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées de résistance et de consistance.

Pour y parvenir, il y a quatre grandes étapes à suivre :

- Détermination de la taille maximale des granulats, recherche de granulométrie optimale, dosage de l'eau et l'air pour obtenir le résultat voulu et dosage optimal des fines (fractionnées en ciment et en additions) en fonction des critères de résistance et de durabilité.

Il existe ainsi plusieurs méthodes pour composer le béton, à savoir les méthodes de DREUX GORISSE , de BOLOMY, de FAURY, de JOISELE et de VALETTE.

#### I.7.1. Méthode de Dreux-Gorisse : [21]

Dans notre étude, nous avons employé une méthode de fabrication largement répandue et couramment utilisée. Il est important de souligner que cette méthode a pour objectif principal de fournir rapidement et de manière simplifiée une formule de composition approximativement adaptée au béton étudié (précontraint). Cependant, il convient de noter que seuls quelques essais et la réalisation d'éprouvettes permettront d'ajuster de manière optimale la composition finale en fonction des qualités recherchées et des matériaux réellement utilisés.

##### 1. Résistance souhaitée :

En règle générale, on vise une résistance moyenne à la compression  $f_{c28}$  à 28 jours, en tenant compte des dispersions et de l'écart quadratique.

##### 2. Résistance visée :

Par mesure de précaution, la résistance ciblée est majorée de 15% par rapport à la valeur souhaitée, ce qui fixe la résistance ciblée comme suit :

$$\sigma'_{28j} = \sigma_{28j} + 0.15 \sigma_{28j} , \text{ Soit } \sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j}$$

##### 3. Dosage en ciment et en eau $f_{c'} = G \cdot f_{CE} (C/E - 0.5)$

✓ avec :  $f_{c'}$  =  $\sigma'_{28j}$  résistance visée à 28 jours

✓  $f_{CE}$  : classe vraie de ciment en MPa.

✓  $G$  : coefficient granulaire. (voir Annexe)

✓ C : dosage en ciment (Kg /m<sup>3</sup> de béton).

✓ E : dosage en eau (Kg d'eau/m<sup>3</sup> de béton ou litre d'eau/m<sup>3</sup> de béton).

4. En se basant sur le rapport C/E, le volume d'eau est calculé de la façon suivante :

$$E = \text{le rapport } (C/E) \times \text{dosage de ciment.} \dots\dots\dots (1)$$

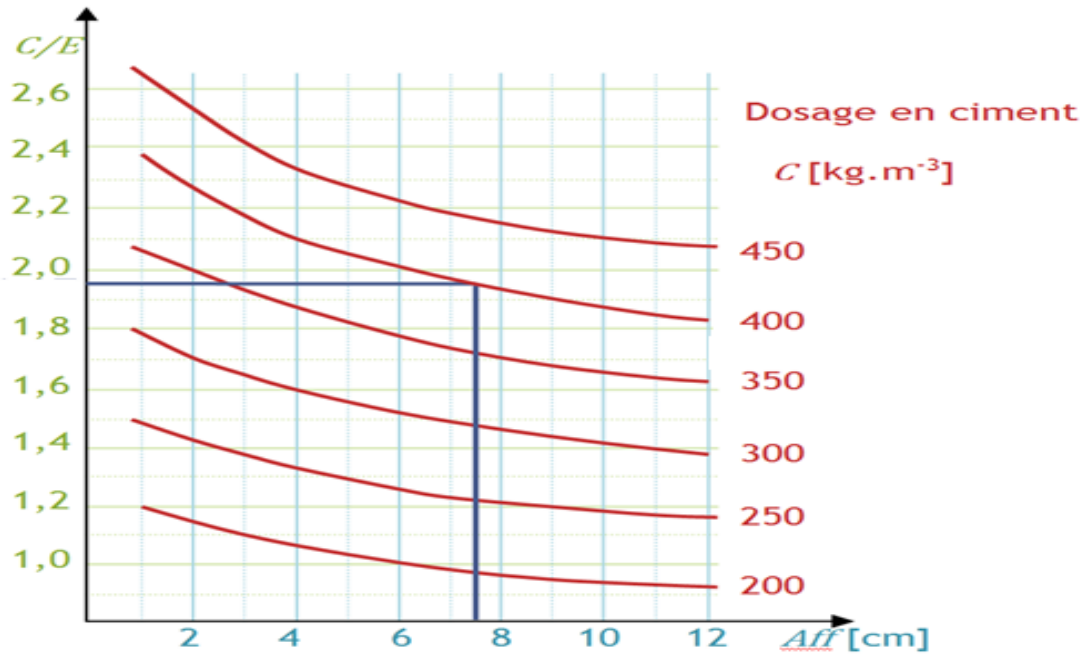


Figure I.6: Estimation approximative de la quantité de ciment en fonction du rapport C/E et du niveau d'ouvrabilité souhaité [21]

5. Le Traçage de la courbe granulatoire de référence AOB :

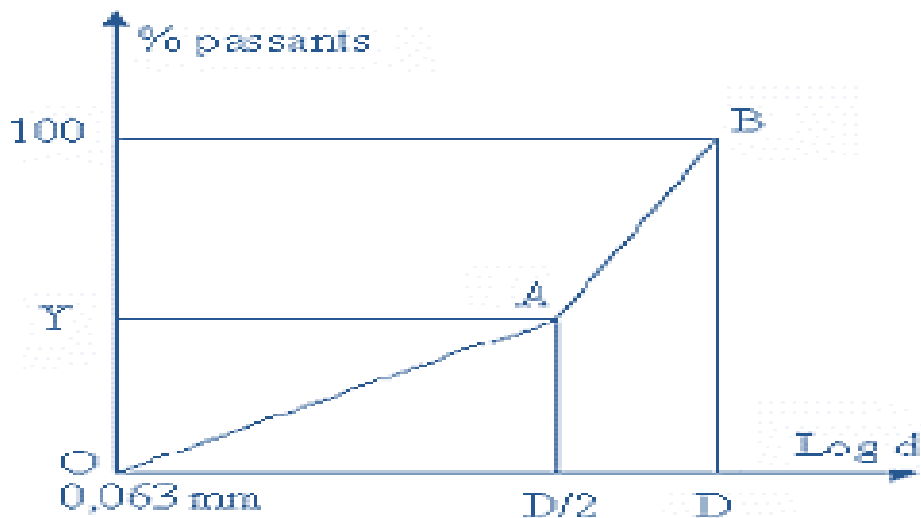


Figure I.7: Le graphique de référence optimal selon la méthode Dreux Gorisse [21]

A l'aide de graphique d'analyse granulométrique conforme à la norme AFNOR (montrant le pourcentage de matériau retenu en fonction de la taille du tamis), nous représentons une composition granulaire de référence OAB ayant les propriétés suivantes :

- le point O est repéré par ses coordonnées: [0.01; 0]
- le point B est repéré par ses coordonnées: [D; 100], (D: le diamètre du plus gros granulats). Le point de brisure A aux coordonnées [D/2; Y], suivantes:
  - en abscisse :
  - si  $D \leq 20$  mm, le point de brisure a pour abscisse:  $A = D/2$
  - en ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$
- D : diamètre du plus gros granulats
- K : Le facteur correctif est influencé par plusieurs éléments, dont le dosage en ciment, l'efficacité du serrage, la forme des granulats ainsi que le module de finesse du sable. (Voir annexe)
- $K_s$  : c'est un correcteur qui tiendra compte de la finesse de sable =  $6 \times M_f - 15$  (  $M_f$  : module de finesse )
- $K_p$  : c'est un correcteur qui tiendra compte en cas le béton sera pompé.

#### 6. La ligne de partage:

La courbe de partage relie le point où l'ordonnée représente 95% de la taille du plus petit granulats à celui où elle représente 5% de la taille du plus gros granulats.

L'intersection de cette courbe avec la courbe théorique du mélange optimal indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et de gravier.

Les proportions sont lues à partir du pourcentage de tamisât correspondant à cette intersection, où le pourcentage représente la proportion de sable et le complément représente la proportion de gravier.

-Une fois la courbe tracée, les pourcentages des granulats (sable et gravier) peuvent être déterminés.

#### 7. Détermination de la composition en volume absolu :

Le dosage en béton est déterminé pour obtenir un mètre cube de béton en place cela signifie que le volume de matière vaut  $1 \text{ m}^3$  :  $V_{\text{abs}} = V_s + V_g + V_c = 1 \text{ m}^3$



- ❖  $V_{abs}$  : la masse absolue de ciment  $\text{kg/m}^3$
- ❖  $V_g, V_s$  et  $V_c$  : le volume de gravier, sable et ciment en ordre pour  $1 \text{ m}^3$  du béton.
- ❖  $V_c = C / V_{abs}$  soit,  $C$  : dosage en ciment ( $\text{kg/m}^3$ )

### 8. Volume absolu de granulats :

- ❖ De la relation de  $V = (V_c + V_g + V_s)$  on en déduit  $V_g$  et  $V_s$
- ❖ en remplaçant le volume de granulats  $V_s + V_g$  par la valeur  $V_G$ , alors  $V = (V_c + V_G)$
- ❖  $V = 1000 \times \gamma$  (en litre)
- ❖  $V_{gt} = (1000 \times \gamma) - V_c$ .
- ❖  $V_{gt}$  : volume absolu des granulats en litre ( $V_{gt} = V_g + V_s$ )
- ❖  $\gamma$ : Coefficient de compacité
- ❖ Volume de sable = Le pourcentage  $\times V$

### 9. Calcul de la composition en poids sec en Kg :

- ❖ Le dosage choisi pour la masse de ciment.
- ❖ La quantité d'eau :  $E$  par la formule (1)
- ❖ Masse de sable  $S = V_s \times M_v \text{ abs}$
- ❖ Masse de gravier  $G_{3/8} = V_G \times M_v \text{ abs}$  .  $G_{8/15} = V_G \times M_v \text{ abs}$

En conclusion, on détermine les quantités de sable, de gravier, d'eau et le dosage de ciment requis pour  $1 \text{ m}^3$  de béton.

## I.8. Les essais sur les bétons :

### I.8.1 Essais réalisés pour le béton à l'état frais :

#### I.8.1.1. Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams (EN 12350-2, 1999) : [22]

Cet essai est effectué conformément à la norme EN 12350-2 et vise à déterminer l'affaissement d'un cône de béton sous son propre poids.

Le béton est versé dans un moule en trois couches de hauteur égale, en utilisant une tige de piquage actionnée 25 fois par couche pour le mettre en place. Après avoir nivelé la surface du béton en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur du moule, le démoulage est effectué en soulevant délicatement le moule.

Le béton, qui n'est plus retenu, s'affaisse plus ou moins en fonction de sa consistance. La mesure doit être effectuée au point le plus élevé du béton dans la minute qui suit le démoulage, comme illustré dans la figure II-8.

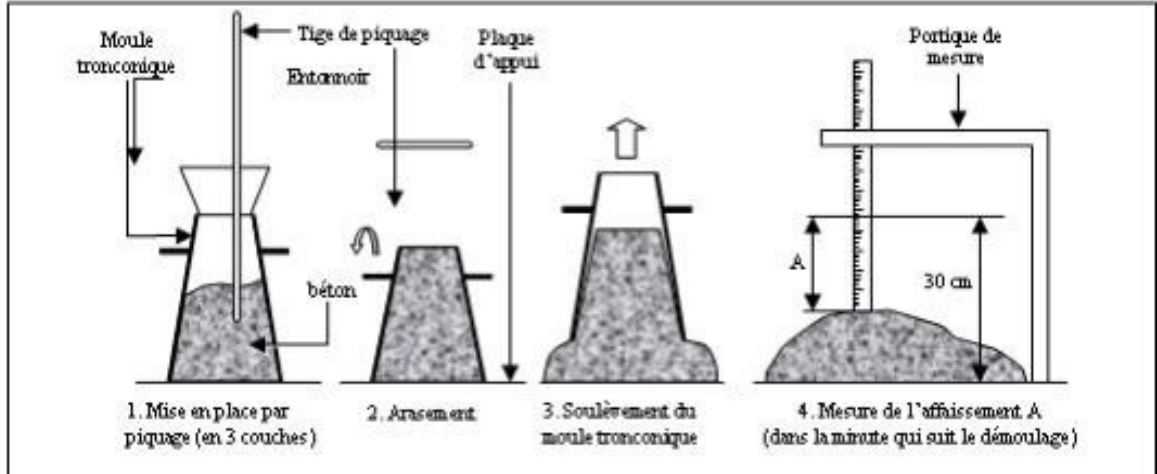


Figure I.8 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams [22]

Tableau I.5: La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton

| classe | Affaissement (cm) | aspect         |
|--------|-------------------|----------------|
| S1     | 1 à 4             | ferme          |
| S2     | 5 à 9             | plastique      |
| S3     | 10 à 15           | Très plastique |
| S4     | 16 à 21           | fluide         |
| S5     | ≥ 22              | Très fluide    |

### I.8.1.2. Essai de la masse volumique (EN 12350-6, 1999) :

Selon les exigences de la norme EN12350-6 le béton frais est compacté à l'aide d'une barre dans un conteneur rigide et étanche de volume connu de 5 litres et de masse connue.

Le mélange est réparti en deux couches et doit subir au moins 25 coups par couche, conformément aux exigences. Après le compactage de chaque couche, les parois du conteneur sont tapotées intelligemment avec un maillet pour éliminer les poches d'air piégé. Cette action est répétée jusqu'à ce que les grosses bulles d'air ne soient plus visibles à la surface et que les dépressions laissées par la tige ou la barre de compactage soient éliminées.

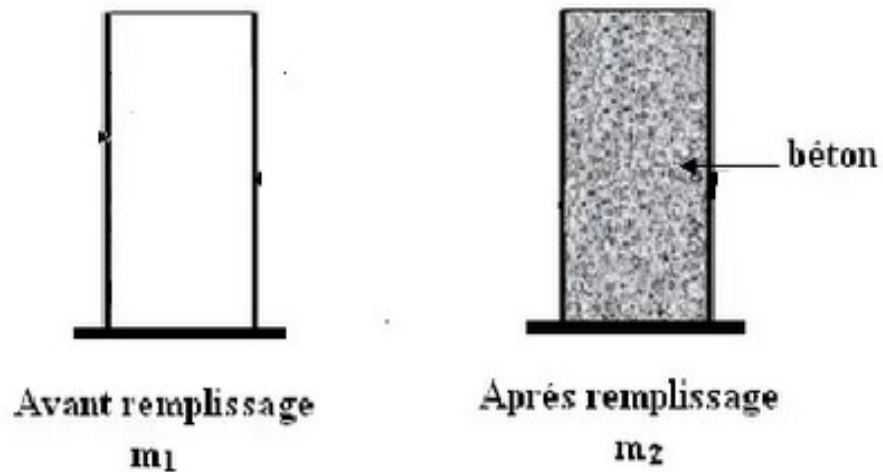


Figure I-9: Mesure de la masse volumique du béton

## I.8.2 Essais réalisés pour le béton à l'état durci :

### I.8.2.1. Résistance à la compression (EN 12390-3) :[23]

L'essai de est le volume du conteneur en mètres cubes compression uniaxiale est réalisé conformément à la norme EN 12390-3 "Essai pour béton durci - Résistance à la compression des éprouvettes". Les extrémités des éprouvettes sont rectifiées par surfacage avec une rectifieuse. L'éprouvette est placée et centrée sur une presse hydraulique de 2000 kN, puis soumise à un taux de chargement de 0,6 kN.s<sup>-1</sup> jusqu'à la rupture. La résistance en compression est calculée comme indiqué dans la formule fournie :

F : la charge maximale en N,

a : dimension de la section (a =100 mm).

Rc : résistance a la compression.

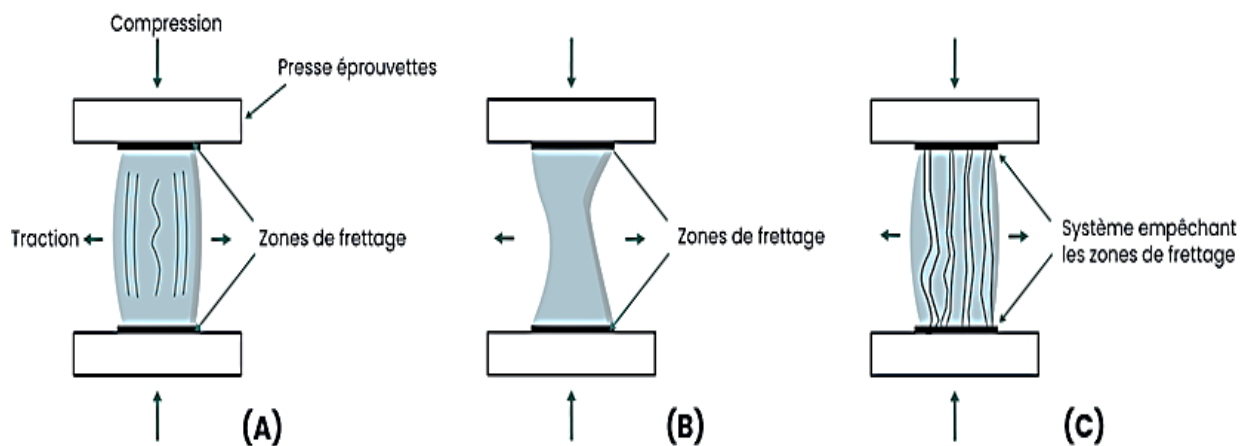


Figure I.10 : Représentation schématique pour l'essai de Résistance à la compression

### I.8.2.2. L'essai de résistance à la traction par fendage (NF P 18-408 ): [24]

En général, l'essai de fendage sur une éprouvette cylindrique est réalisé conformément à la norme NF P 18-408. Lors de cet essai, une force de compression est appliquée à l'éprouvette, ce qui entraîne l'apparition de contraintes de traction dans le plan défini par deux génératrices opposées. La rupture de l'éprouvette, qui est causée par ces contraintes de traction, se produit dans ce plan spécifique (comme illustré dans la figure). En utilisant des calculs appropriés, il est possible de déterminer la valeur de la contrainte de traction qui a provoqué cette rupture.

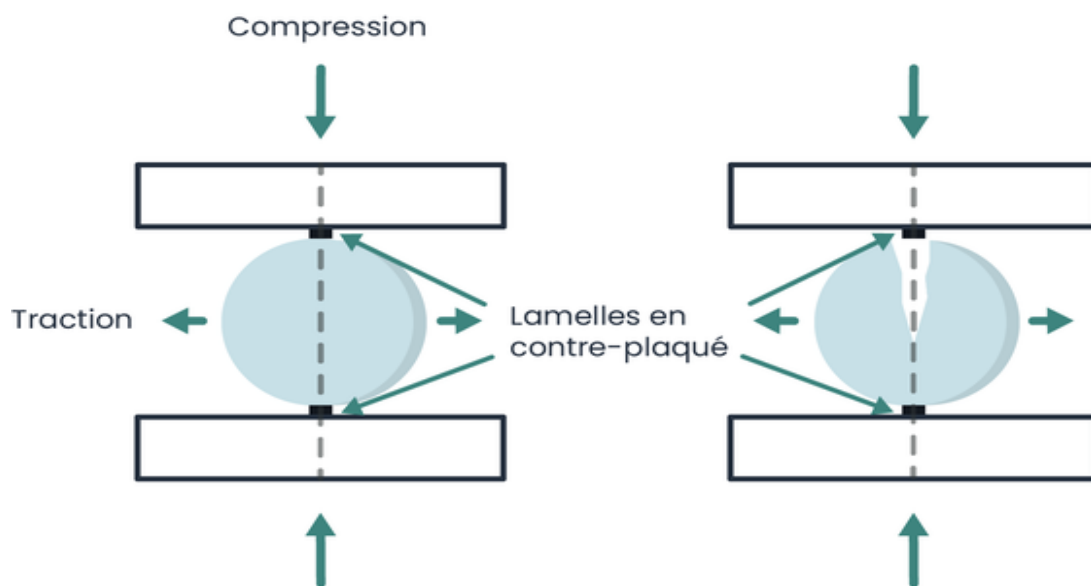


Figure I.11 Représentation schématique pour l'essai de Rtf

### I.8.2.3. Résistance à la flexion (NF EN 12390-5): [25]

La résistance à la flexion a été effectuée sur des éprouvettes prismatiques du béton 14\*14\*56cm conformément à la norme (NF EN 12390-5). Cet essai est réalisé avec une presse CBR universelle de capacité 50 kN et de vitesse 1.27mm/min, livré avec anneau dynamométrique et un comparateur et un support conçu spécialement pour la flexion ( flexion trois points ).

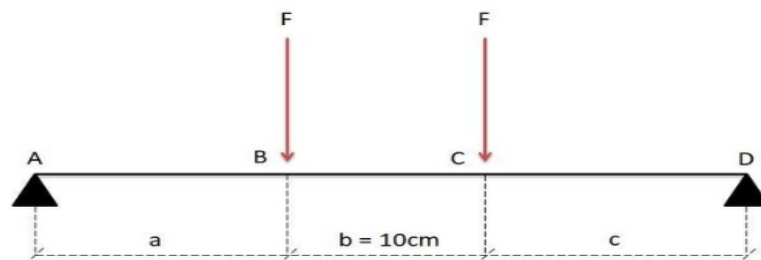


Figure I.14 : La structure globale d'essai de Résistance à la flexion

L'essai est de roulé comme suit:

- Placer l'éprouvette 14\*14\*56cm entre les appuis du support de flexion. La face latérale de L'éprouvette doit être en contact avec les appuis.
- Amener l'appui supérieur en contact avec la face supérieure de l'éprouvette après lamise en marche de la presse jusqu'à la rupture.
- Lire la valeur de la graduation correspondante à l'intensité de la charge appliquée.
- Convertir la dernière valeur en force de rupture; soit " P ".
- Refaire la même démarche pour les autres éprouvettes.
- Application de la formule ci-après pour calculer la résistance à la flexion :
- **$Rf = 3PL / 2b^3$**
- p : la charge ; L: longueur entre les appuis ; b : les dimensions (14\*14\*14 ) mm.

#### **I.8.2.4 Essai ultrasonique (EN 12504-4): [26]**

L'essai est effectué conformément à la norme (EN 12504-4, 2004). Le principe consiste à appliquer une impulsion de vibrations longitudinales à la surface du béton à l'aide d'un transducteur électroacoustique. Après avoir parcouru une certaine longueur dans le béton, l'impulsion est captée par un deuxième transducteur qui la convertit en signal électrique. Des circuits électroniques de synchronisation permettent ensuite de mesurer le temps de transit de l'impulsion, ce qui donne une indication sur la vitesse de propagation des ondes longitudinales dans le béton testé.

#### **I.8.2.5 Essai de Scléromètre (NF EN 13791) :[27]**

L'essai au scléromètre consiste de mesure de la dureté de surface d'un béton est basée sur l'étude du rebond d'une bille d'acier projetée sur sa surface à l'aide d'un ressort taré. La hauteur du rebond qui augmente avec la dureté de surface du béton sollicité, est caractérisée par un indice sclérométrique.

Une valeur peut aussi être obtenue en fonction de la différence d'énergie ou de vitesse avant et après l'impact de la masse, avec les nouveaux matériels.

Il est possible de réaliser une cartographie des pièces auscultées afin de déterminer l'homogénéité de la surface.

La norme NF EN 13791/CN permet d'évaluer des résistances en compression à partir de mesures d'indices sclérométriques à condition de procéder à un étalonnage sur des éprouvettes

prélevées dans la structure et soumises à des essais de compression à rupture, selon des règles précises.

### **I.9.conclusion :**

Au cours de ce chapitre, nous avons défini le béton et présenté ses différents composants, types et domaines d'application. Nous avons également décrit les essais les plus importants réalisés sur les composants et le béton, que ce soit à l'état frais ou à l'état durci, en précisant les différentes étapes et les normes associées.

En outre, nous avons étudié les principales méthodes utilisées pour calculer les proportions et les composants de la composition du béton, en nous focalisant particulièrement sur la méthode de Dreux-Gorisse et ses étapes clés, que nous avons détaillées.



**Chapitre I  
Matériels  
Et Méthodes  
Expérimentales**

## II.1. Introduction :

Dans ce chapitre, on présente en détail tous les essais qui ont été réalisés au cours de la recherche, les matériaux qui ont été utilisés et les résultats de leur caractérisation, en les comparant aux normes applicables.

Dans le cadre de notre étude sur les bétons ordinaires à base de substitution de 50 % de sable alluvionnaire par du sable issu du concassage du calcaire (appelé sable alluvion-calcaire), nous avons utilisé un programme expérimental spécifique.

Nous avons d'abord séparé les fines de mélange, puis nous les avons ajoutées aux proportions suivantes : 6 %, 9 %, 12 % et 15 % et 18 % pour produire respectivement les bétons B6, B9, B12, B15, B18 et BT. Le dosage en ciment et en super plastifiant a été fixé à 350 Kg/m<sup>3</sup> et 3 % respectivement, tandis que le béton témoin (BT) était à base de sable alluvionnaire.

Nous avons étudié le comportement de ces bétons à l'état frais et durci, en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse pour déterminer la composition des différents mélanges. Nous présentons finalement les quantités de chaque composant pour tous les mélanges réalisés dans cette étude.

Pour fabriquer le béton, nous avons utilisé les matériaux locaux suivants, qui sont couramment utilisés dans la région :

- Ciment : Le ciment portland composé (CEM II/B 42.5N ) LAFARGE
- Granulats : Deux fractions de gravier (3/8 et 8/15) extrait de carrière Roubat Aissaoui (Ghardaia)
- Les sables : sable d'oued naturel roulé et le sable extrait de carrière Ben Brahim (ZELFANA)
- Eau potable : le réseau AEP de la ville de Ghardaïa
- Adjuvant : Un retardateur de prise et fluidifiant a été utilisé.



## II.2 Le Ciment:

Le ciment utilisé dans cette étude est de type CEM II/B 42.5N, produit par la cimenterie de LAFARGE et classé selon une résistance de 42.5 MPa. Ses propriétés physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques sont présentées à la **fiche technique à l'annexe N°1**.



Figure II.1: Sac de ciment.

## II.3 Eau de gâchage:

L'eau est ajoutée au mélange de liant et de granulats pour initier la prise et donner au béton sa plasticité, ce qui facilite sa mise en œuvre. La qualité de l'eau de gâchage doit être conforme à la norme **NF EN 1008**.

L'eau utilisée pour la formulation du béton est l'eau du réseau d'alimentation en eau potable AEP de la ville de Ghardaïa (**Eau du robinet**).

## II.4 Les granulats :

### II.4.1 Echantillonnage :

Il est essentiel que l'échantillon utilisé en laboratoire soit représentatif de l'ensemble. Le processus de réduction de l'échantillon total prélevé sur le tas à l'échantillon réduit nécessaire pour les essais peut être réalisé par quartage ou en utilisant un échantillonneur.

Ensuite, il est divisé en quatre parties égales, dont seule la moitié est conservée en regroupant deux quarts opposés. Cette sélection est ensuite homogénéisée, et une nouvelle opération de quartage est réalisée .

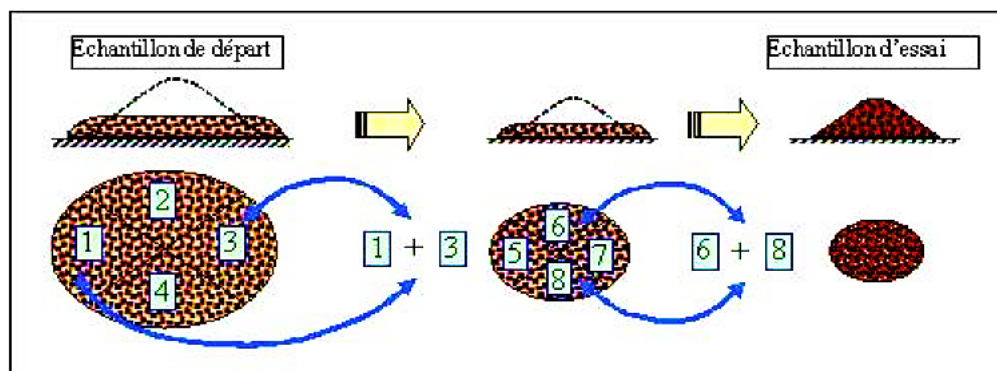


Figure II.2 Quartage et sélection d'échantillon

### II.4.2 Les Graviers :

Le gravier utilisé, des classes 3/8 et 8/15 , a été extrait de la station de concassage ROBAT Aissaoui située dans la Zone Bouhraoua à Ghardaia. Il se présente sous forme de calcaire grisâtre, et une observation visuelle révèle que les grains sont poreux.



Photo II-1 Échantillons des graviers utilisés 3/8 et 8/15

#### II.4.2.1 Analyse granulométrie par tamisage (A.G.T) :

La granularimétrie d'un matériau se détermine à l'aide d'une série de tamis et cribles normalisés selon la norme NF EN 933-1. Les tamis sont empilés par ordre croissant de maille et un récipient hermétique est placé au bas de la pile. Les masses de matériau retenues par chaque tamis et passant à travers le tamis fin sont mesurées. Le graphique granulométrique illustre la distribution des grains du matériau analysé en indiquant la proportion de grains de chaque dimension.

##### II.4.2.1.1 A.G.T des Graviers 3/8 :

| Graviers 3/8             |               |                | la masse :1000 gr     |                         |
|--------------------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Ouverture des tamis (mm) | Refus partiel | Retenu cumulés | Pourcentage refus (%) | Pourcentage Passant (%) |
| 10                       | 0             | 0              | 0                     | 100                     |
| 8                        | 7.6           | 7.6            | 0.25                  | 99.74                   |
| 6.3                      | 651.8         | 659.40         | 21.98                 | 78.02                   |
| 5                        | 947.5         | 1606.90        | 53.56                 | 46.43                   |
| 2.5                      | 1250.66       | 2857.56        | 95.25                 | 4.74                    |
| 1.25                     | 98.76         | 2956.32        | 98.54                 | 1.45                    |

Tableau II-1 A.G.T des graviers 3/8

## II.4.2.1.2 A.G.T des Graviers 8/15 :

| Graviers 8/15            |               |                | La masse : 4000 gr    |                         |
|--------------------------|---------------|----------------|-----------------------|-------------------------|
| Ouverture des tamis (mm) | Refus partiel | Retenu cumulés | Pourcentage refus (%) | Pourcentage Passant (%) |
| 20                       | 0             | 0              | 0                     | 100                     |
| 16                       | 50.17         | 50.17          | 1.00                  | 98.99                   |
| 12.5                     | 1733.29       | 1783.46        | 44.58                 | 55.41                   |
| 10                       | 1356.8        | 3140.26        | 78.50                 | 21.49                   |
| 8                        | 615.53        | 3755.79        | 93.89                 | 6.10                    |
| 6.3                      | 197.24        | 3953.03        | 98.82                 | 1.17                    |
| 5                        | 15.13         | 3968.46        | 99.21                 | 0.78                    |

Tableau II-2 A.G.T de graviers 8/15

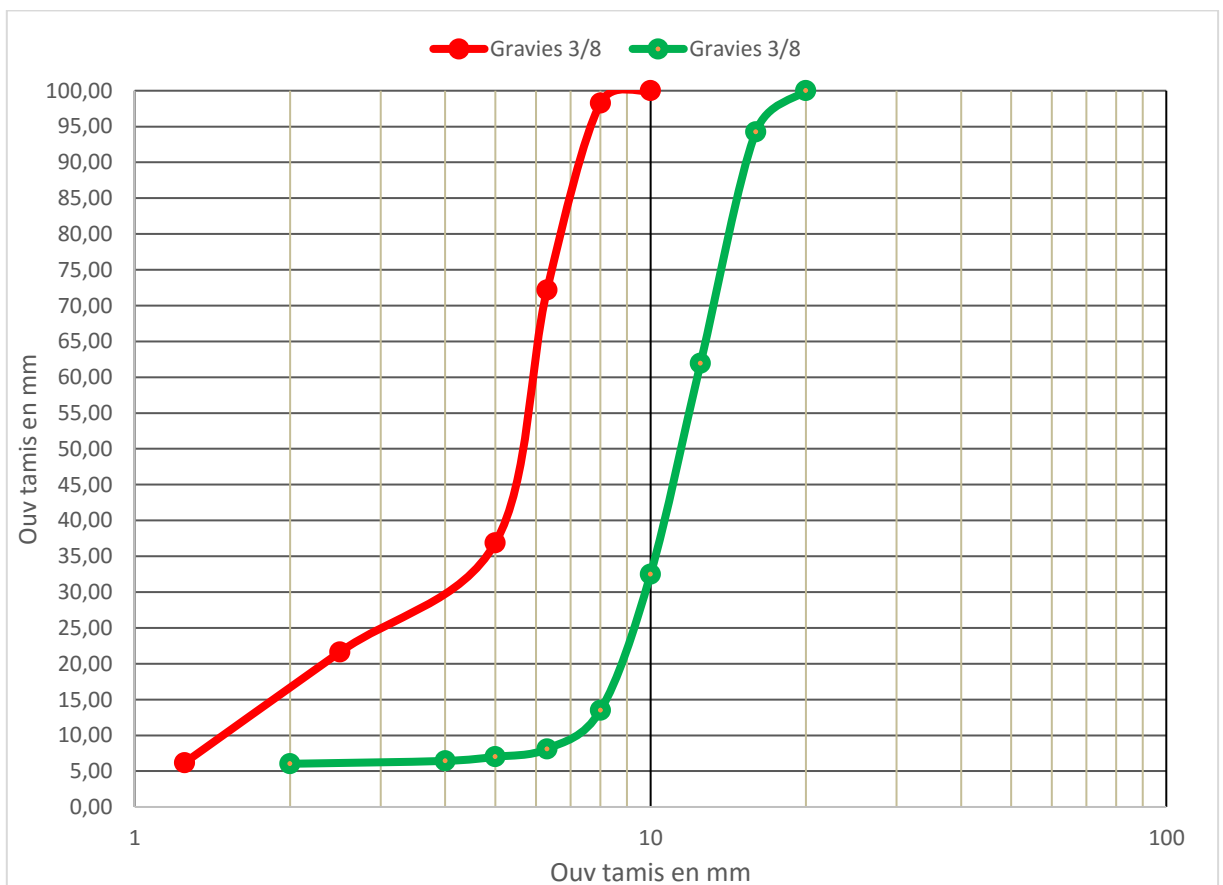


Figure II-3 Les courbes granulométrique de graviers 3/8 et 8/15

Les courbes granulométriques indiquent que les graviers 3/8 et 8/15 ont une distribution granulaire continue et uniforme, étant situés à l'intérieur de leur plage de référence pour garantir une bonne répartition des granulats.

#### II.4.2.2 Caractéristiques physiques des graviers :

Afin de déterminer les propriétés physiques des graviers, nous avons utilisé des essais avec les normes suivantes :

- La Masse volumique apparente « NFP18-554 »
- La masse volumique absolue « NFEN12620 »
- Propreté superficielle « NF P 18-591 »
- Coefficient d'absorption « NF EN 1097-6 »
- Coefficient d'Aplatissement A « NFP-18561 »
- Essai los Angeles « NF EN 1097-2 »

| Caractéristiques            | Résultats              |                        |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
|                             | Graviers 3/8           | Graviers 8/15          |
| Masse volumique apparent    | 1.29 g/cm <sup>3</sup> | 1.23 g/cm <sup>3</sup> |
| Masse volumique absolue     | 2.58 g/cm <sup>3</sup> | 2.62 g/cm <sup>3</sup> |
| Propreté superficielle      | 1.02 %                 | 0.87 %                 |
| Los Angeles                 | 30.12 %                | 28.40 %                |
| Coefficient d'absorption    | 3.23 %                 | 2.02 %                 |
| Coefficient d'Aplatissement | 33.97 %                | 19.64 %                |

Tableau II-3 : Caractéristiques physiques des graviers 3/8 et 8/15

#### II.4.3 Les Sables :

Les sables employés dans la confection de nos bétons sont issus d'un mélange à 50% de sable alluvionnaire « SA » naturel roulé avec une granulométrie de 0/4 mm, provenant de la zone de Zelfana (Ghardaia) et à 50% de sable calcaire concassé « SC » avec une granulométrie de 0/3mm, provenant de la carrière Ben Brahim située dans la zone Zelfana, Après avoir mélangé les deux types de sable, à savoir le sable alluvionnaire et le sable calcaire, nous avons obtenu un mélange de sable alluvion-calcaire (SAC). Nous avons ensuite varié les taux de fines de ce mélange pour obtenir les proportions suivantes : 6%, 9%, 12%, 15% et 18%.

Nous avons ensuite effectué des essais physiques et des analyses granulométriques pour chaque proportion afin d'obtenir les résultats correspondants.



Photo II-3 sable concassé 0/3



Photo II -4: sable roulé 0/4

#### II.4.3.1 A.G.T des sables «SC», «SA» et « SAC » :

| Sable alluvionnaire «SA »<br>Sable calcaire concassé «SC»<br>Sable alluvion-calcaire « SAC » |             | La masse : 1000 gr |                      |  |
|--|-------------|--------------------|----------------------|--|
| Ouverture des tamis (mm)   | Passant (%) |                    |                      |  |
|  | Sable « SA» | Sable « SC»        | Sable « SAC» naturel |  |
| 5  | 100         | 100                | 100                  |  |
| 2.5  | 94,87       | 91,79              | 90,781               |  |
| 1.25   | 82,78       | 77,69              | 75,927               |  |
| 0.63   | 60,79       | 64,37              | 58,826               |  |
| 0.315  | 22,34       | 51,59              | 39,512               |  |
| 0.16   | 10,77       | 37,66              | 28,042               |  |
| 0.08   | 5,63        | 19,68              | 16,58                |  |
| Module de finesse $M_f$  | 2,28        | 1,77               | 2,07                 |  |

TableauII-4 : les résultats A.G.T des sables «SC», «SA» et « SAC»  
(Voir le détail à l'annexe N °2)

- **Sable « SA »** : D'après l'analyse des refus en pourcentage et du module de finesse  $Mf=2,28$ , on peut conclure que le sable examiné appartient au groupe A (préférentiellement MF entre 2,20 et 2,80) conformément à la norme **NFP18304**. Cette classification indique une facilité de mise en œuvre et une résistance élevée.
- **Sable « SC »** : En se basant sur le pourcentage de retenue et le module de finesse  $Mf=1,77$ , on peut conclure que le sable examiné est trop fin, ce qui peut causer des problèmes d'ouvrabilité et de ségrégation dans le béton. Ainsi, il est nécessaire d'apporter une correction pour améliorer ces propriétés.
- **Sable « SAC »** : D'après le % des refus et le module de finesse  $Mf = 2,07$ , on peut classer le sable analysé dans le groupe B (trop fin, module de finesse de 1,80 à 2,20) conformément à la norme **NFP18 304**. Cette classification implique une augmentation du dosage en eau pour faciliter la mise en œuvre, mais cela peut entraîner une chute de la résistance du béton.
- Ainsi, afin d'éviter ce problème, l'ajout de super plastifiants est recommandé pour améliorer la maniabilité du béton sans avoir à augmenter le dosage en eau, tout en assurant une résistance élevée.

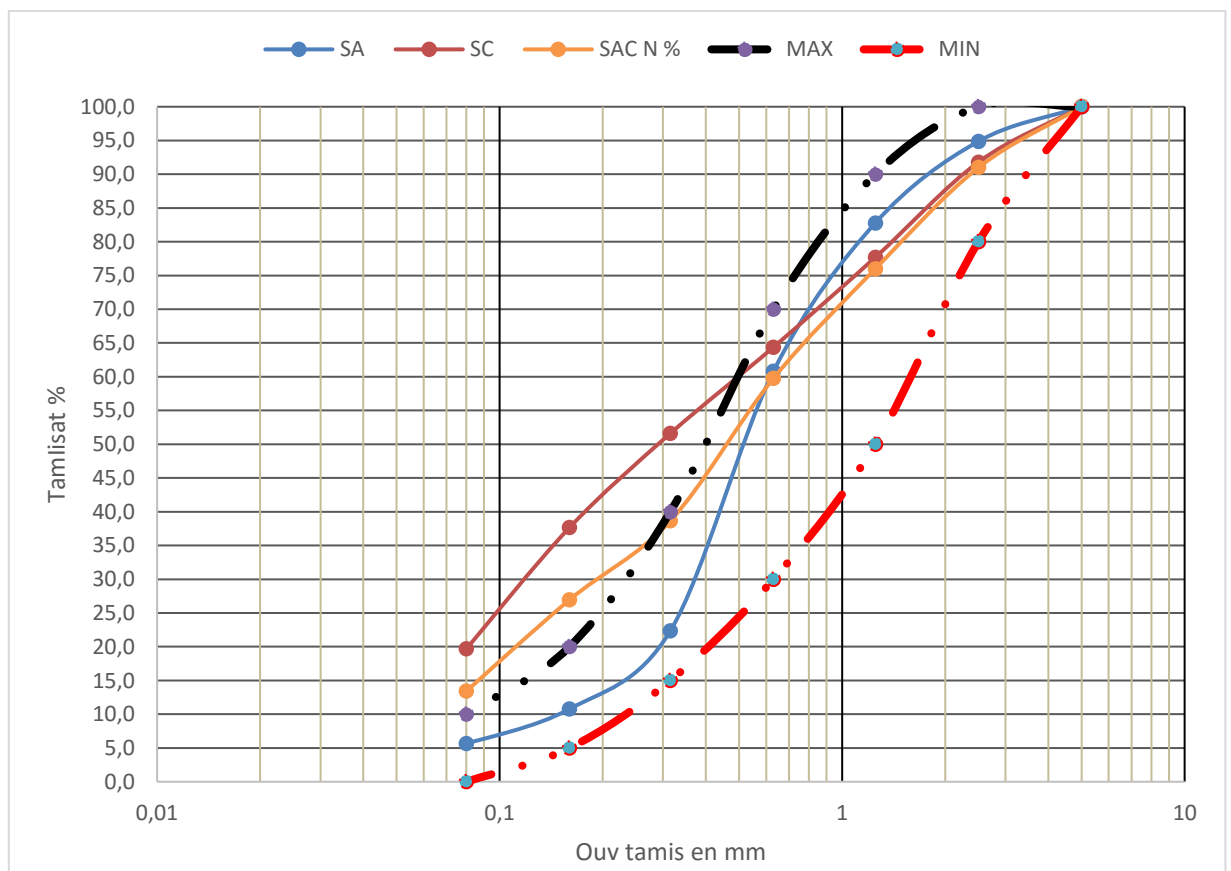


Figure II-4 Les courbes granulométriques des sables (SC, SA et SAC)



- Sable, les courbes granulométrie que le sable (SA) se situe dans la plage recommandée par la norme NFP 18-560 avec une bonne granulométrie graduée.
- Le sable concassé présente également une bonne granulométrie graduée, mais se situe en dehors de la plage recommandée depuis les tamis inférieurs à 0,63 mm. Le sable (SC) se situe en grande partie en dehors de la plage recommandée depuis les tamis inférieurs à 0,315 mm.

#### II.4.3.2 Caractéristiques physiques et chimiques des sable «SC, SA et SAC» :

##### 1) L'équivalent de Sable « ES »

| Caractéristiques           | Sable «SA» | Sable «SC» | Sable « SAC » |
|----------------------------|------------|------------|---------------|
| Equivalent de Sable « ES » | 79.85 %    | 48.74 %    | 70.12 %       |

Tableau II-5: E.S des sable «SC», «SA» et « SAC »

##### 2) La masse volumique apparente et absolue :

| Caractéristiques           | Sable «SA» | Sable «SC» | Sable « SAC » |
|----------------------------|------------|------------|---------------|
| Mvapp (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.64       | 1.51       | 1.59          |
| Mvabs (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.62       | 2.60       | 2.64          |

Tableau II-6: les masses volumique des sable «SC», «SA» et « SAC »

##### 3) Caractéristiques chimiques :

| L'élément chimique               | Sable «SC» | Sable «SA» | Norme      |
|----------------------------------|------------|------------|------------|
| Les Insolubles                   | 1.9 %      | 93.2 %     | NFP-15-461 |
| Les carbonates CaCO <sub>3</sub> | 88%        | 1 %        | NFP-15-461 |

Tableau II-7: caractéristiques chimique pour les deux sables « SA » et « SC »

#### II.4.3.3 Préparation des fines de sable calcaire :

Les fines de sable est obtenu en la broyant dans un moulin à boulets jusqu'à ce qu'elle soit réduite à une taille de particule appropriée et en prenant la fraction de sable passant à travers le tamis de maille de 0,063 mm .

En sécher l'échantillon de sable à au four à une température d'environ 105 °C



Photo II -5 Préparation des fines SC



Photo II -6 les fines SC

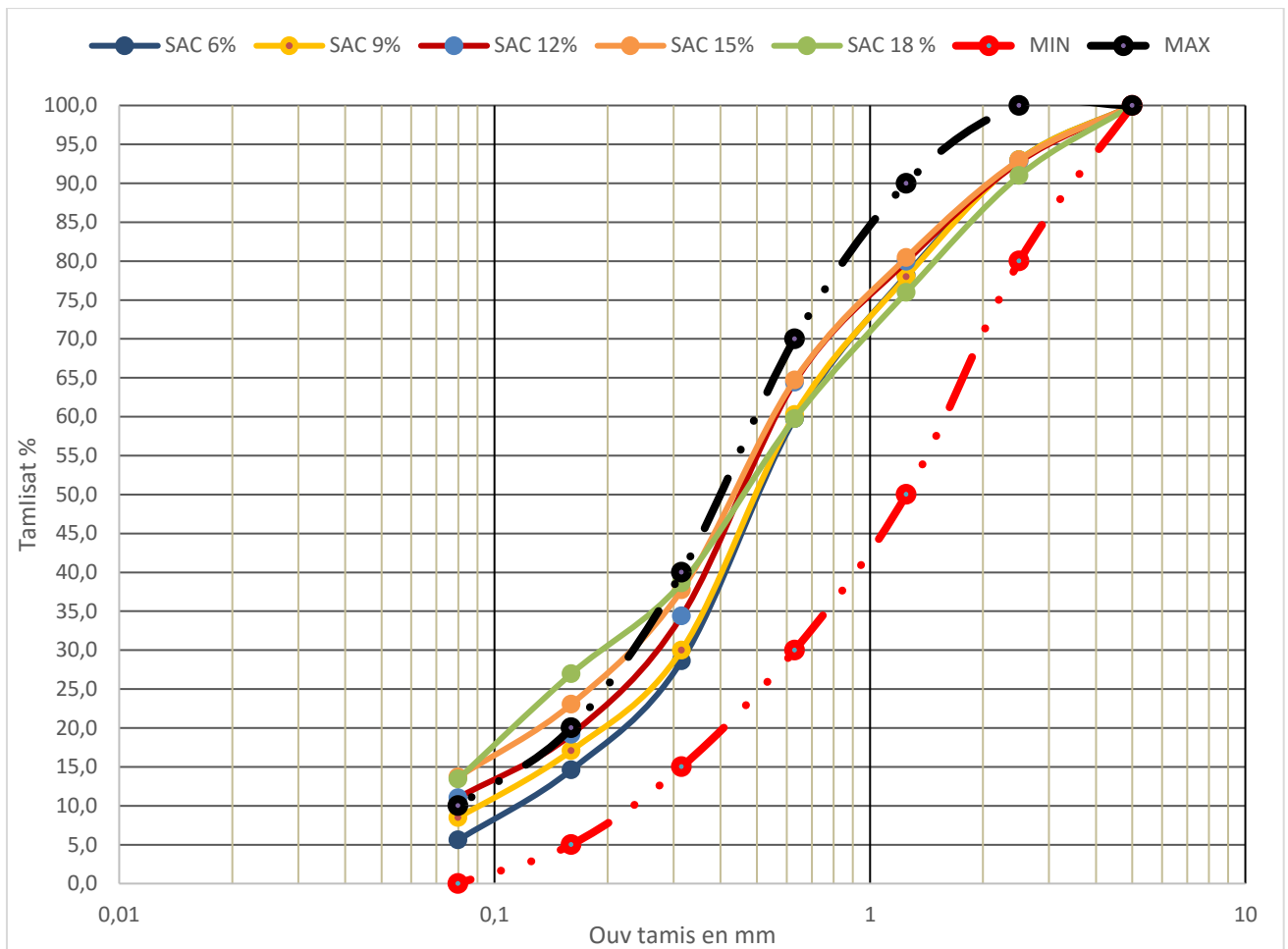
#### II.4.3.3 A.G.T des sables « SAC » « 50 %SA + 50% SC » avec variation le taux des fines (06 % , 09 %,12 %,15 %,18 % ) :

En fonction du pourcentage de refus et du module de finesse à réduire, on observe une diminution du module de finesse pour le sable (SAC) de 6 % de fines, avec une valeur de  $M_f = 2,28$ , tandis que pour le sable (SAC) de 18 % de fines, la valeur est de ( $M_f = 2,08$ ).

| Matériau : mélange sable «SAC » avec fines |                          | La masse: 1000 g         |                          |                          |                         |  |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| Ouverture des tamis (mm)                   | Passant (%)              |                          |                          |                          |                         |  |
|  | Sable « SAC » 06 % fines | Sable « SAC » 09 % fines | Sable « SAC » 12 % fines | Sable « SAC » 15 % fines | Sable « SAC » 18% fines |  |
| 5  | 100                      | 100                      | 100                      | 100                      | 100                     |  |
| 2.5  | 91,81                    | 92,88                    | 91,1                     | 90,98                    | 90,98                   |  |
| 1.25                                       | 76,98                    | 77,86                    | 78,37                    | 78,42                    | 75,97                   |  |
| 0.63                                       | 58,54                    | 60,43                    | 62,84                    | 62,71                    | 59,75                   |  |
| 0.315                                      | 29,11                    | 30,576                   | 34,38                    | 35,72                    | 38,63                   |  |
| 0.16                                       | 15,10                    | 18,15                    | 19,15                    | 21,03                    | 26,95                   |  |
| 0.08                                       | 6,09                     | 9,566                    | 11,03                    | 11,67                    | 13,42                   |  |
| module de finesse $M_f$                    | 2.28                     | 2.20                     | 2.14                     | 2.11                     | 2.08                    |  |

TableauII-8: les résultats A.G.T des sables SAC avec variation des taux des fines 6% à 18% (Voir le détail à l'annexe )





**Figure II-5 Les courbes granulométriques de mélange des sables (SAC ) (6 à 18%) des fines**

Les courbes granulométriques de la figure II-6 montrent des tracés continus, uniformes et étalée , ce qui confirme que :

- Les sables « SAC » qui contiennent de 6 à 18% de fines ont une bonne granularité bien graduée. Ils se situent dans le fuseau recommandé par la norme NFP 18-560.
- Les sables « SAC » qui contiennent des fines supérieures ou égales à 15% se situent en dehors du fuseau avant le tamis d'ouverture 0,16 mm et leur proportion de tamisât est élevée.

#### **II.4.3.4 Caractéristiques physiques et chimiques des sable « SAC» avec variation le taux des fines :**

##### **1) L'équivalent de Sable « ES» :**

Les valeurs d'ES , pour les taux de fines variant de 6 % à 18 %, diminuent de 78,51 % à 71,42 % respectivement. Par conséquent, l'ES (SAC) se situe entre 71 % et 79 %. Selon la norme NF P18-541, ces valeurs correspondent donc à des sables propres.

Tableau II-9: E.S du sable « SAC» avec différentes taux des fines

| Caractéristiques          | SAC 06 % | SAC 09 % | SAC 12 % | SAC 15 % | SAC 18 % |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Equivalent de Sable « ES» | 78.51 %  | 76.11 %  | 74.68 %  | 72.93 %  | 71.42%   |

## 2) La masse volumique apparente et absolue :

| Caractéristiques           | SAC 06 % | SAC 09 % | SAC 12 % | SAC 15 % | SAC 18 % |
|----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Mvapp (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.59     | 1.61     | 1.64     | 1.72     | 1.73     |
| Mvabs (g/cm <sup>3</sup> ) | 2.63     | 2.63     | 2.64     | 2.65     | 2.65     |

Tableau II-10: les masses volumique du sable « SAC» avec différentes taux des fines

- on constate une augmentation des masses volumiques apparente et absolue, passant de  $M_{vabs} = 2,63 \text{ g/cm}^3$  et  $M_{vapp} = 1,59 \text{ g/cm}^3$  pour le sable (SAC) de 6 % de fines à  $M_{vabs} = 2,65 \text{ g/cm}^3$  et  $M_{vapp} = 1,73 \text{ g/cm}^3$  pour le sable (SAC) de 18 % de fines , Ainsi l'augmentation de le pourcentage fines de 6 % à 18 % a un impact sur la réduction du module  $M_f$  et sur l'augmentation des  $M_{vabs}$  et  $M_{vapp}$ .

## II.5 Les Adjuvants :

Les adjuvants, incorporés aux bétons à des doses inférieures ou égales à 2 % du poids du ciment, sont des produits hydrosolubles qui permettent d'améliorer certaines de leurs propriétés.

Dans ce contexte, l'adjuvant (MEDAFLOW 145) utilisé est un superplastifiant haut réducteur d'eau, sous forme liquide, de couleur brai clair. Fourni par l'entreprise GRANITEX, il permet d'obtenir des bétons et des mortiers d'une qualité très élevée.

Le MEDAFLOW 145 est satisfait aux exigences de la norme NF EN 934-2 et NA 774, Le fabricant autorise un pourcentage compris entre 0,3 % et 2,0 % du poids de ciment pour l'utilisation de cet adjuvant, correspondant à une quantité de 0,33 à 1,8 litre pour chaque 100 kg de ciment. [Voir ANNEXE ]

L'ajout de cet adjuvant au béton frais permet d'obtenir un rapport E/C très faible, un béton plastique et fluide, une excellente maniabilité, une longue durée de maintien de l'ouvrabilité, ainsi qu'une facilité de mise en œuvre du béton.

## II.6 Composition du béton :

Pour formuler un mélange optimal qui offre à la fois la résistance et la maniabilité souhaitées, nous avons utilisé la méthode de DREUX-GORISSE avec les composantes suivantes :

- 350 kg/m<sup>3</sup> de ciment, avec un rapport eau/ciment de 0,5
- Deux fractions de gravier : 3/8 et 8/15
- Un mélange de sable avec un taux de fines variant de 6% à 18%
- Un superplastifiant, MEDAFLOW 145, utilisé à des dosages de 0,3 % à 2,0 %

Notre étude visée les objectifs suivantes :

- l'étude des propriétés des bétons frais.
- l'étude de la résistance à la compression.
- l'étude de résistance à la traction par fendage.
- l'étude de la résistance à la flexion .

### II.6.1 Formulation de béton B12 pour un mélange SAC à 12% des fines. .

Nous allons fournir une explication détaillée du mélange B12 contenant 12% des fines avec la méthode de Dreux-Gorisse.

**Tableau II-11: les données initiales pour la formulation de béton B12**

|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| <b>L'affaissement</b>   | <b>9 cm</b>                          |
| <b>Le béton</b>   | <b>vibration normale</b>             |
| <b>Le type de ciment</b>  | <b>CEM II B 42.5.</b>                |
| <b>Les graviers concassés</b>   | <b>3/8 ; 8/15 .</b>                  |
| <b>Sable</b>  | <b>SAC (50% + 50 %) + 12 % fines</b> |
| <b>La résistance désirée <math>F_{c28} = \sigma_{28j} = 28 \text{ Mpa}</math> .</b> |                                      |
| <b><math>\sigma_c</math> (la résistance maximal de ciment ) = 42.5 Mpa</b>          |                                      |
| <b>module de finesse <math>M_f</math> SAC 12 %</b>                                  | <b>2.14</b>                          |

| Désignation  | Le calcul  | Valeur  | Remarque   |
|--|--|---|--|
| <b>G (coefficient granulaire)</b>                      | Dimension $D \leq 16\text{mm}$<br>Qualité des granulats courante   | $G = 0.45$  | Voir tableau <b>coefficient granulaire</b> ( annexe)                         |
| <b>Résistance visée «<math>\sigma' 28j</math>»</b>     | $\sigma' 28j = 1.15 \sigma 28j$<br>$1.15 \times 25 = 28.75 \text{ MPa}$                                      | $\sigma' 28j = 28.75 \text{ MPa}$                         | « $\sigma' 28j$ » est majorée de 15%   |
| <b>Dosage en ciment et en eau C/E</b>                  | $C/E = (\sigma' 28j + 0.5 * G * \sigma_c) / G * \sigma_c = (28.75 + 0.5 * 0.45 * 425) / 0.45 * 425 = 2.0032$ | $C/E = 2$   | /  |
| <b>Le dosage en ciment</b>                             | $C/E = 2$<br>L'affaissement = 9cm  | $C = 350 \text{ kg/m}^3$                                  | D'après La l'abaque relatif l'affaissement a dosage du ciment (annexe)       |
| <b>Quantité d'eau</b>                                  | $E = \frac{C}{E/C} = \frac{350}{2}$  | $E = 175 \text{ litres}$                                  | /  |
| <b>terme correcteur K</b>                              | $K = (-2-4) / 2 = -6 / 2 = -3$   |   | D'après Tableau donnant les valeurs du terme correcteur K [Dreux Festa1998]] |
| <b>Traçage la courbe granulaire de référence (OAB)</b> | $XA = D/2 = 16/2$<br>$YA = 50 - k + k_s + k_p$<br>( $k_p = 0$ )  | $XA = 8 \text{ mm}$<br>$YA = 40.54$                       | Voir la courbe de Mélange (annexe)   |
| <b>Les pourcentages des granulats</b>                  | D'après la courbe de formulation   | Sables = 27 %<br>Gravies 3/8 = 16 %<br>Gravies 8/15 = 57% | Voir la courbe de Mélange (annexe)   |
| <b>coefficient de compacité <math>\gamma</math></b>    | $D_{max}$ entre 12.5 et 20mm<br>$\gamma = (0.815 + 0.825) / 2 = 0.820 - 0.02$                                | $\gamma = 0.800$  | D'après le tableau les valeur de coefficient de compacité $\gamma$           |
| <b>la volume absolu de matériaux secs</b>              | $V = 1000 \gamma = 0.800 \times 1000$  | $V = 800 \text{ litres}$                                  | /  |
| <b>Volume absolu du ciment "Vc"</b>                    | $V_c = C/3.1 = 350/3.1$  | $V_c = 112.90 \text{ L/m}^3$                              | /  |
| <b>Volume absolu des granulats "Vgt"</b>               | $V_{gt} = V - V_c = 800 - 112.90$  | $V_{gt} = 687.09 \text{ L/m}^3$                           | /  |
| <b>volume absolu du sable "Vs"</b>                     | $V_s = V_{gt} \times \frac{27}{100}$<br>$V_s = 687.09 \times 27 / 100$                                       | $V_s = 185.51 \text{ L/m}^3$                              | /  |
| <b>volume absolu du gravier 3/8 "Vg"</b>               | $V_g = V_{gt} \times \frac{16}{100}$<br>$V_g = 687.09 \times 16 / 100$                                       | $V_g = 109.93 \text{ L/m}^3$                              | /  |
| <b>volume absolu du gravier 8/15 "VG"</b>              | $V_G = V_{gt} \times \frac{57}{100}$<br>$V_G = 687.09 \times 57 / 100$                                       | $V_G = 391.64 \text{ L/m}^3$                              | /  |
| <b>Dosage en sable</b>                                 | $S = V_s \cdot \gamma_s$ ( en kg).<br>$S = 185.51 * 2.62$  | $S = 484.18 \text{ kg/m}^3$                               | /  |
| <b>Dosage en gravier 3/8</b>                           | $g = V_g \cdot \gamma_g$<br>$g = 109.93 * 2.62 =$  | $g = 283.61 \text{ kg/m}^3$                               | /  |
| <b>Dosage en Gravier 8/15</b>                          | $G = V_G \cdot \gamma_G$<br>$G = 391.64 * 2.62$  | $G = 1025.26 \text{ kg/m}^3$                              | /  |

Tableau II-12: Formulation de béton B12 détaillée avec la méthode de Dreux-Gorisse .

**Remarque :**

- Si le pourcentage de fines dans le mélange est augmenté, cela entraînera une augmentation de la surface spécifique de l'agrégat. Pour éviter cela, il est recommandé d'ajouter un superplastifiant au mélange plutôt que d'augmenter la quantité d'eau.
- Dans notre étude, nous avons ajusté le pourcentage de fines dans le mélange SAC sur cette échelle. Nous avons ajouté un superplastifiant au mélange pour améliorer la maniabilité du béton frais.

**II.6.2 Récapitulatif des dosages Formulation de béton B12:**

| les composants  | Dosages en kg/m <sup>3</sup> |
|---|------------------------------|
| Sable   | 484.18                       |
| :   |                              |
| Gravier3/8  | 283.61                       |
| :   |                              |
| Gravier8/15:  | 1025.96                      |
| Ciment  | 350                          |
| :   |                              |
| Eau   | 175                          |
| Total ( $\Delta$ )  | 2335.780                     |
| $\gamma_b = \Delta / 1000 = 2335.780 / 1000 = 2.336 \text{ g/cm}$ |                              |

( $\Delta$ :densité théorique du béton frais mise en œuvre).

**Tableau II-13: Récapitulatif des dosages Formulation de béton B12**

Le tableau à l'annexe° N 5 résume les quantités de matériaux nécessaires pour la fabrication de chaque combinaison des bétons, déterminées par la méthode de formulation Dreux-Gorisse.

**II.6.3 Procédure de gâchage :**

La préparation des coulis a été effectuée en utilisant un malaxeur dont la capacité maximale est de 50 litres. La procédure de préparation de l'échantillon implique les étapes suivantes :

1. Les granulats, qui sont utilisés à l'état sec, sont introduits dans le malaxeur avec du sable et des gravillons, puis malaxés pendant une minute.

2. Ensuite, on ajoute les fines et on continue de malaxer.
3. Le ciment est ensuite introduit et le malaxage se poursuit.
4. Trente secondes après l'ajout du ciment, de l'eau de gâchage est ajoutée.
5. On ajoute l'adjuvant au mélange.
6. Le malaxage se poursuit pendant 2 minutes.
7. L'ouvrabilité du béton frais est mesurée immédiatement après la fin du malaxage.

#### II.6.4 Confection et cure des éprouvettes :

Des moules cylindres (15x30) cm<sup>2</sup> ont été réalisés pour les essais de compression, de l'absorption d'eau par immersion, le ramollissement et la durabilité.

Des cylindres de dimensions (15 x 32) cm<sup>2</sup> ont été utilisés pour l'essai de traction par fendage tandis que des prismes de dimensions (14 x 14 x 56) cm<sup>3</sup> ont servi pour l'essai de flexion .

Les éprouvettes ont été préparées en suivant les normes NF P18-404 .Elles ont été laissées à l'air libre pendant 24 heures, puis démoulées et conservées dans de l'eau à une température de 20°C.



Photo II.7. Ajout des fines de SC dans le malaxeur.



Photo II.8 Confection des éprouvettes



## II.7 Programme des essais :

### II.7.1 Propriétés physiques :

#### II.7.1.1 L'essai d'affaissement au cône d'Abrams (ouvrabilité):

Selon la norme NA5102, nous avons mesuré la consistance de chaque type de béton frais en déterminant son affaissement à l'aide du cône d'Abrams.



Photo. II.9 . Mesure de l'affaissement à l'aide du cône d'Abrams.

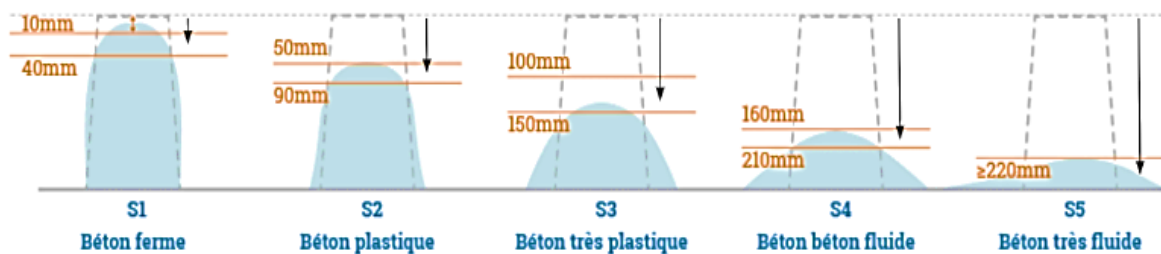


Figure II-6 les classe d'affaissement des bétons .

En fonction des essais d'affaissement des bétons frais les résultats seront classés selon la norme NF EN 206 (voir tableau des classes l'affaissement du béton) .

#### II.7.1.2 Essai de la masse volumique :

La densité est calculée à partir de la formule indiquée :

- $\rho$  : la masse volumique
- $m_1$  : la masse du récipient,, en Kg ;
- $m_2$  : la masse du récipient contenant plus la masse de l'échantillon de béton à l'intérieur,
- $V$  : le volume du récipient, en  $M^3$ .

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

## II .8 Propriétés mécaniques :

### II .8. 1 Essai de la résistance à la compression :

L'essai a été mené sur une presse correspondant aux exigences de la norme NF P 18-406 en termes de force et de dimensions pour l'éprouvette.

Des moules cylindriques de (15x30) cm<sup>2</sup> ont été utilisés, deux moules par échéance (7 , 28 jours), pour les différents mélanges de béton testés.



Photo II.9 l'éprouvette (15x30) cm<sup>2</sup>



Photo II.10 . La machine de compression

### II .8. 1 . 2 Essai de traction par flexion :

L'essai a suivi la norme NF P 18-407 et utilisé des prismes de béton de 14x14x56 cm<sup>3</sup> ayant subi une cure de 28 jours à 20±2°C dans l'eau. Trois échantillons ont été testés pour chaque type de béton et leur moyenne a été prise.

L'essai implique de casser, en utilisant une machine de flexion, une éprouvette prismatique ayant un côté (a) et une longueur (L=4a). La résistance à la traction en flexion est calculée en utilisant la relation suivante :

$$R_{tf} = 1.8 \frac{F}{a^2}$$

II.11 . Machine d'essai de flexion





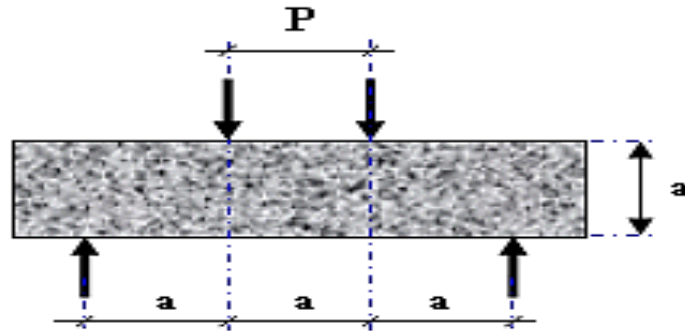


Figure II.7 Schématisation du dispositif pour l'essai de résistance à la flexion

### II.8 .1.3 L'essai de résistance à la traction par fendage (essai brésilien) :

L'essai Brésilien permet d'évaluer la résistance à la traction des échantillons de béton en les soumettant à une charge d'écrasement latéral. Cet essai a principalement été réalisé sur des bétons conventionnels.

Les cylindres sont de dimension (15x30) cm<sup>3</sup>, cet essai est régi par la norme Nf P18-408

La charge maximale ayant provoqué la rupture de l'éprouvette permet de calculer la résistance à la traction par fendage selon la formule suivante :

$$F_{ct} = \frac{2 * P}{\pi * l * D}$$

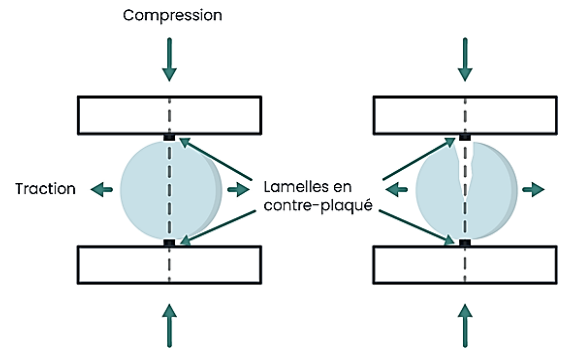


Figure II -8 Schéma essai de traction par fendage

avec :  $F_{ct}$  : la résistance à la traction par fendage en MPa,

$P$  : la charge maximale en N,

$l$  : la longueur de la ligne de contact avec l'éprouvette en mm .

$D$  : la dimension transversale nominale en mm.



Photo II.12. L'essai de Rtf



Photo II.13 Éprouvettes après écrasements

### II.8 .1.4 Essai ultrasonique :

Nous avons examiné des échantillons cylindriques de béton de dimensions 15x30 cm.

Pour chaque formulation de béton, nous avons effectué trois mesures sur des échantillons distincts aux échéances de 7 et 28 jours.

La vitesse ultrasonique a été déterminée de deux manières :

- Par lecture directe des valeurs affichées sur l'écran .
- En calculant la vitesse par l'application de la relation suivante

$$V=L/T \text{ (m/s)}$$

L : longueur de l'éprouvette

T : temps nécessaire à une impulsion ultrasonore pour se déplacer du transducteur émetteur au transducteur récepteur.

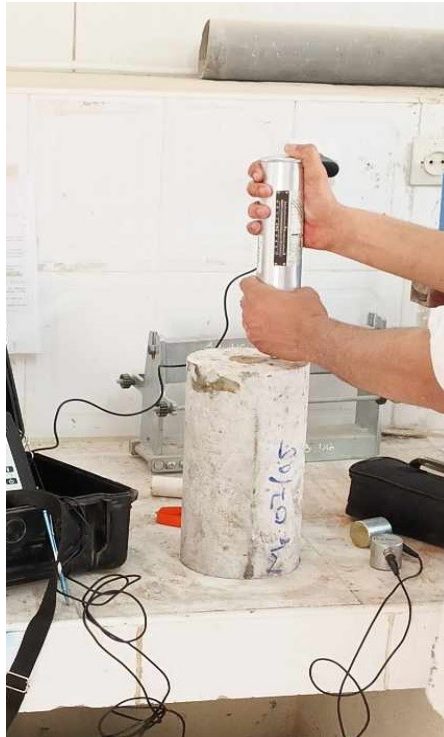


Photo II.14 Essai ultrasonique

### II.8 .1.5 Essai Sclérométriques :

Nous avons testé les mêmes échantillons qui ont été utilisés précédemment lors de l'essai ultrasonique à l'âge de 7 jours et à 28 jours.

Le matériel utilisé est l'appareil à Scléromètre, cet essai permet de tester l'homogénéité du béton et d'obtenir une estimation rapide de la résistance du béton de nos échantillons.



**Photo II.14 Essai Sclérométrique**


### **II.9 Conclusion :**

Ce chapitre présente les essais réalisés ainsi que les caractéristiques des différents matériaux utilisés dans notre travail.

Les matériaux sélectionnés pour notre étude présentent des caractéristiques acceptables qui sont favorables à notre recherche. Les sables utilisés ont des propriétés différentes, ce qui permet de comparer leur influence sur la résistance du béton.

Nous avons pris toutes les précautions nécessaires en termes de préparation et de conservation du béton, dans des conditions très favorables. De plus, l'étude théorique de formulation de béton a été réalisée en utilisant la méthode de Dreux-Gorisse

La composition des mélanges ainsi que les procédures expérimentales nous permettront d'analyser plus en détail les résultats obtenus, et de mieux comprendre l'influence des différents paramètres étudiés sur les propriétés physico-mécaniques des bétons.



**Chapitre III**  
**Analyse**  
**Et Discussions**  
**des Résultats**

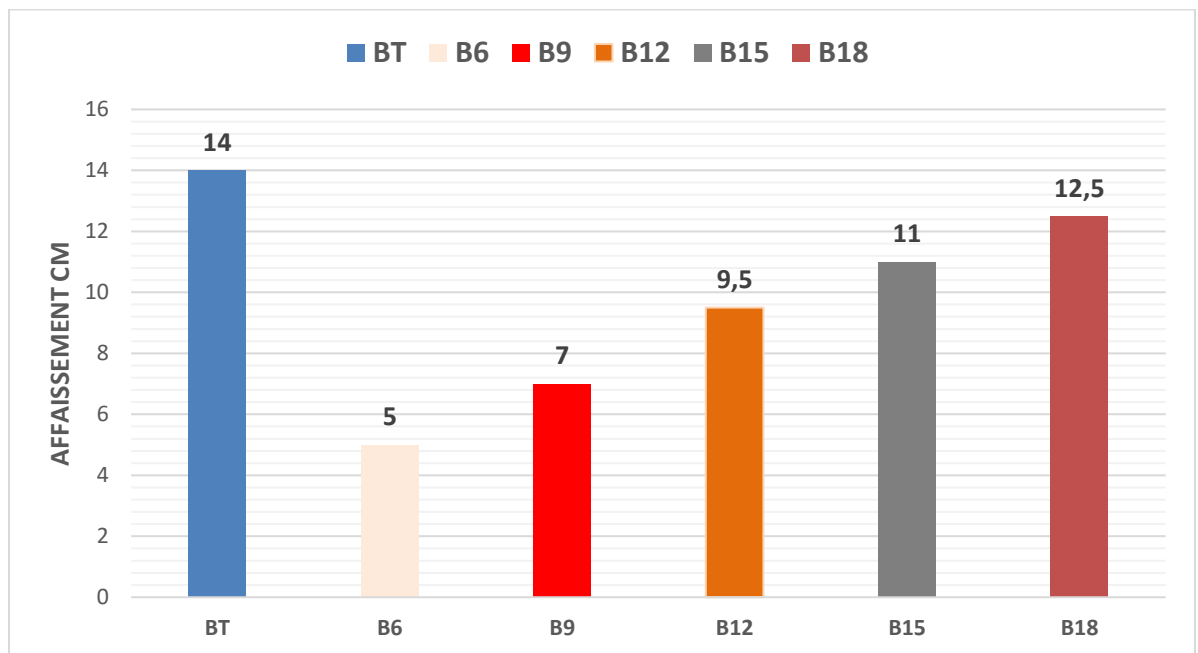
### III.1 Introduction

Ce chapitre présente l'étude du comportement d'un béton réalisé en substituant 50% du sable d'oued par 50% de sable calcaire et en faisant varier le pourcentage de fines dans le sable (SC). Les résultats concernent à la fois le béton à l'état frais et à l'état durci. L'analyse de ces résultats vise à déterminer le pourcentage optimal de fines au « SAC » et la formulation appropriée permettant de répondre aux exigences de résistance et de durabilité.

### III.2 Résultats du comportement le béton a l'état frais :

#### III.2.1 Ouvrabilité :

L'influence de la variation de la finesse du sable « SAC » sur l'ouvrabilité des bétons fabriqués avec une quantité d'eau et de superplastifiant fixe est présentée dans la figure III.1.



**Figure III.1. L'effet de la variation du pourcentage de fines sur l'ouvrabilité**

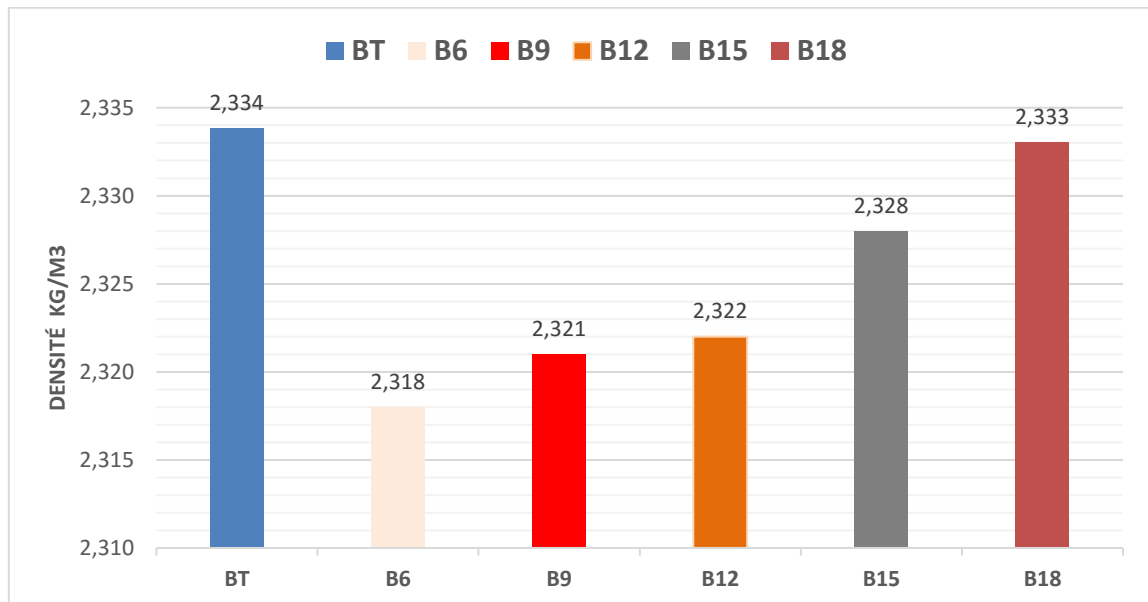
Nous avons constaté qu'une augmentation du pourcentage des fines augmente de façon proportionnelle l'affaissement, avec un rapport E/C de 0,5 et un dosage en superplastifiant de 2 % par rapport au poids du ciment.

Deux facteurs peuvent expliquer l'affaissement élevé du béton BT (béton de référence) :

- Le pourcentage de fines dans ce sable est réduit à 5 %.
- La forme arrondie des grains qui ont été roulés.

### III.2.2 Densité à l'état frais de différents bétons étudiés

La figure montre les résultats de la densité à l'état frais de différents bétons composés à partir d'un mélange à proportions égales (50% ; 50%) de sable « SAC », en faisant varier le pourcentage de fines.



**Figure III.2. Les valeurs de la densité du béton en fonction de variation le taux de fines**

- Les résultats montrent que la densité du béton augmente avec la proportion de fines dans le mélange de sable « SAC ».
- L'élargissement du gradient granulaire permet un agencement optimal des grains, réduisant ainsi les vides dans le béton.
- Le béton BT, constitué de sable d'oued, présente une densité plus forte par rapport au béton composé du mélange de sable alluvial et calcaire.

### III.3 Les résultats des propriétés physico-mécaniques du béton à l'état durci :

#### III.3.1. Essai de la compression :

- ❖ Les résistances à la compression ont été suivies sur des éprouvettes cylindriques de (15x30) cm<sup>2</sup> pour chaque échantillon de béton avec âge (7 et 28). Elles sont conservées dans une salle isotherme humide jusque-là jour d'écrasement.
- ❖ Les suivantes graphiques présentent l'effet de la variation de la teneur en fines calcaires sur les résultats de compression du béton à base de sable « SAC ».

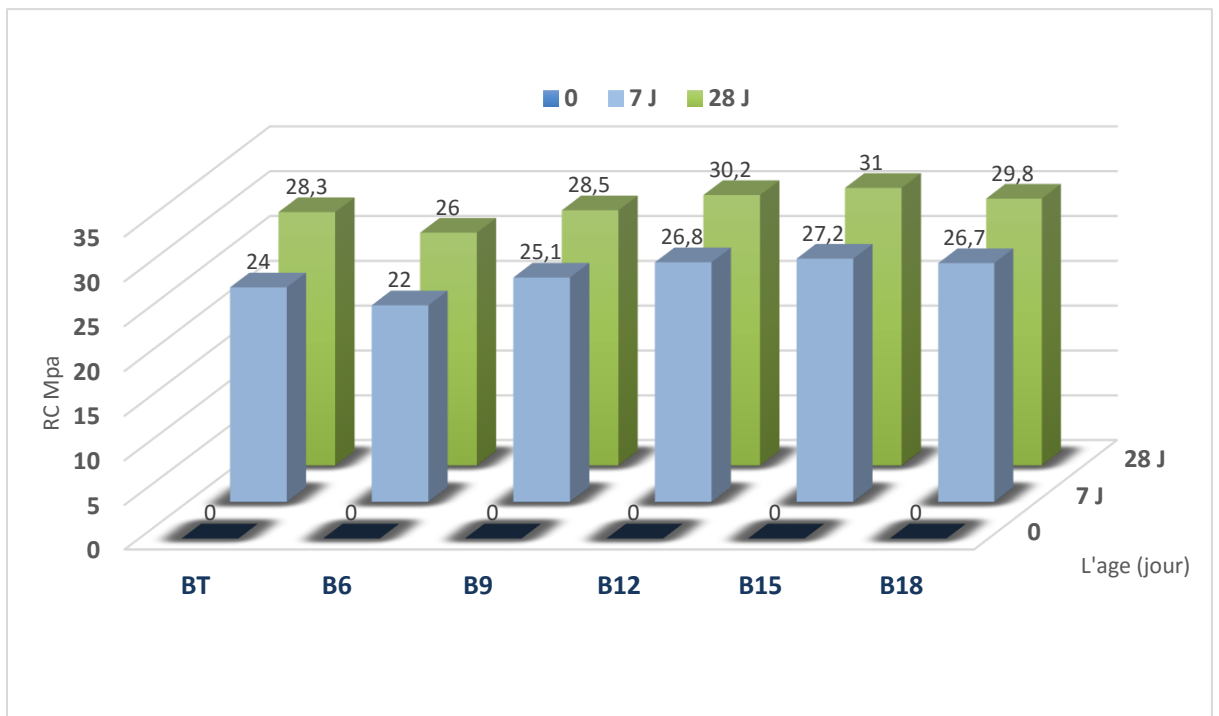
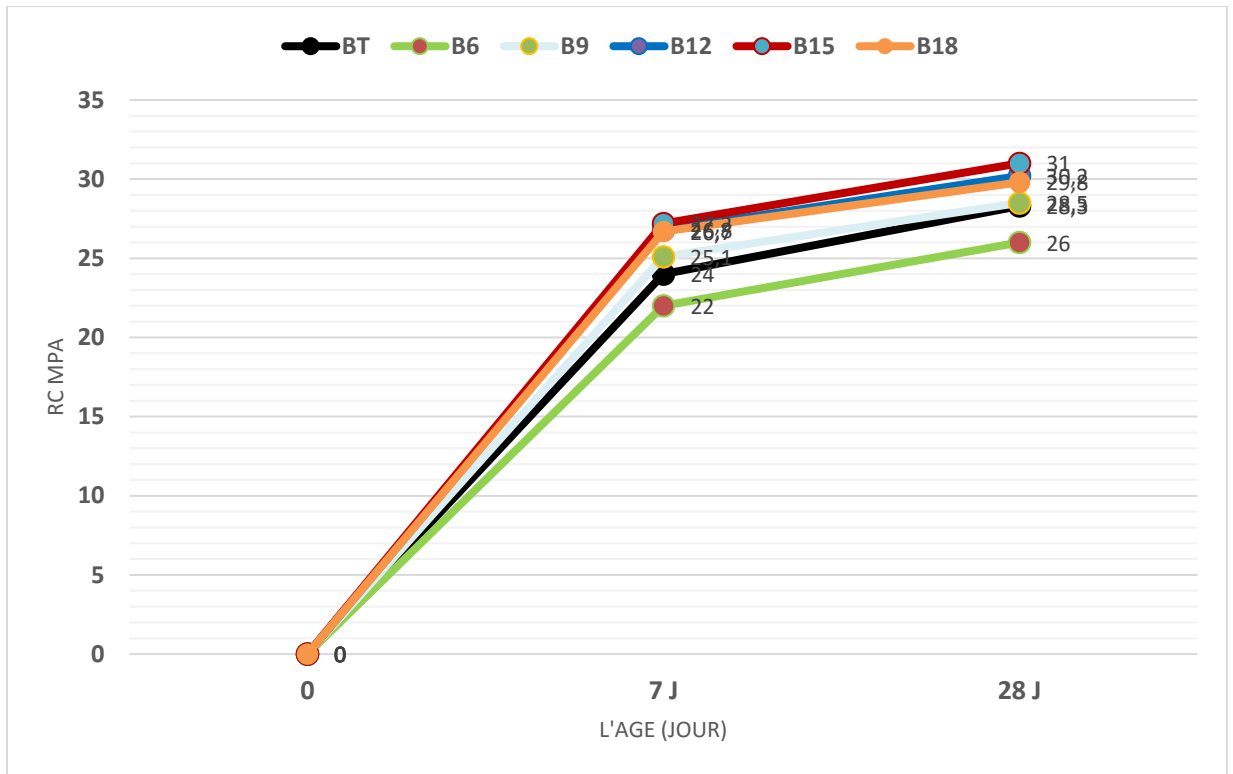


Figure III.3 l'effet de la variation du taux en fines calcaires sur les résultats de Rc du béton

- Les résultats des essais de compression montrent que :
- La résistance mécanique à la compression augmente avec le temps et atteint son maximum après 28 jours.
- Le béton à base de sable « SAC » présente de meilleures propriétés de résistance à la

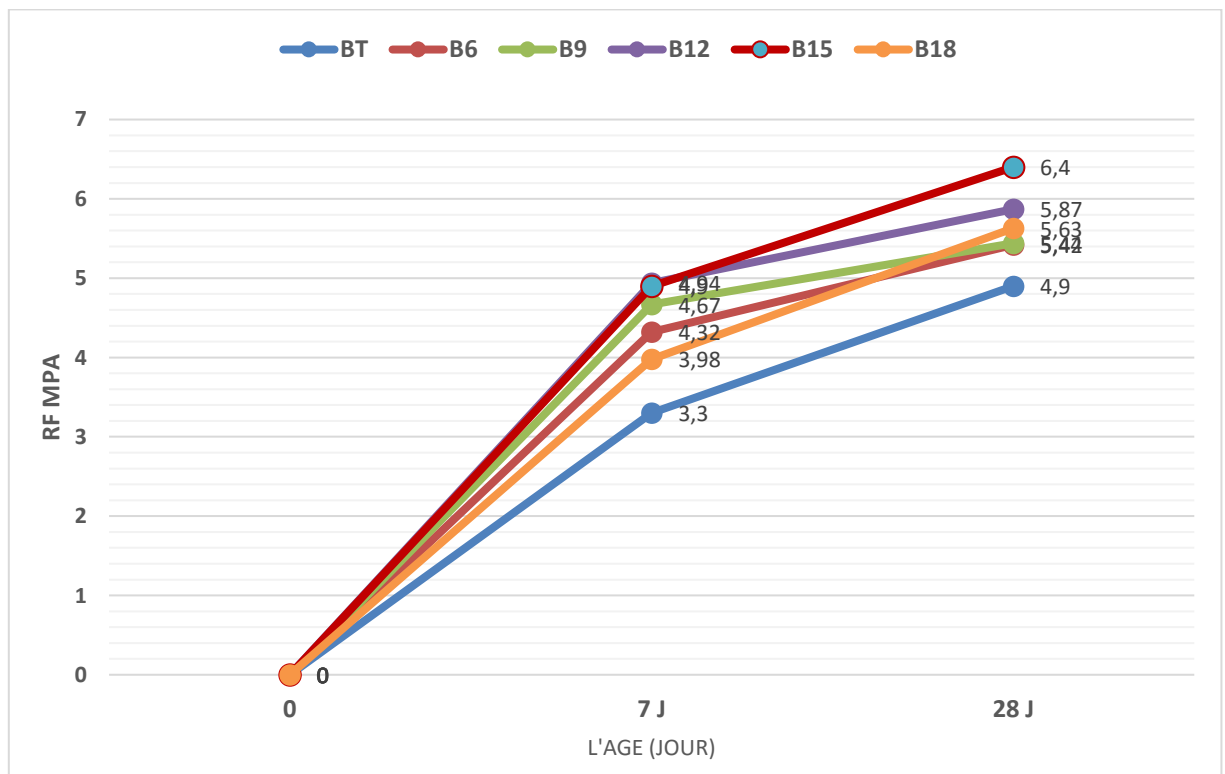
compression que le béton témoin (BT), en raison de l'adhérence entre les grains

- L'ajout de fines calcaires pour remplir les pores du béton à base de sable (SAC) a entraîné une augmentation de la résistance à la compression, passant de 26 MPa à 31 MPa.
- Ces résultats suggèrent que des pourcentages de fines différents compris entre 6 % et 18% ont un effet bénéfique sur la résistance à la compression du béton.
- Les résultats montrent que le béton avec 15% de fines de sable (SC) a la meilleure résistance à la compression de 31 MPa, soit une augmentation de 9.46 % par rapport au béton témoin BT (28,3 MPa).
- Cet écart s'explique par la réduction des vides d'air et la meilleure cohésion entre les grains, permises par l'ajout de fines calcaires. La compacité du béton s'en trouve augmentée, d'où la résistance à la compression plus élevée.

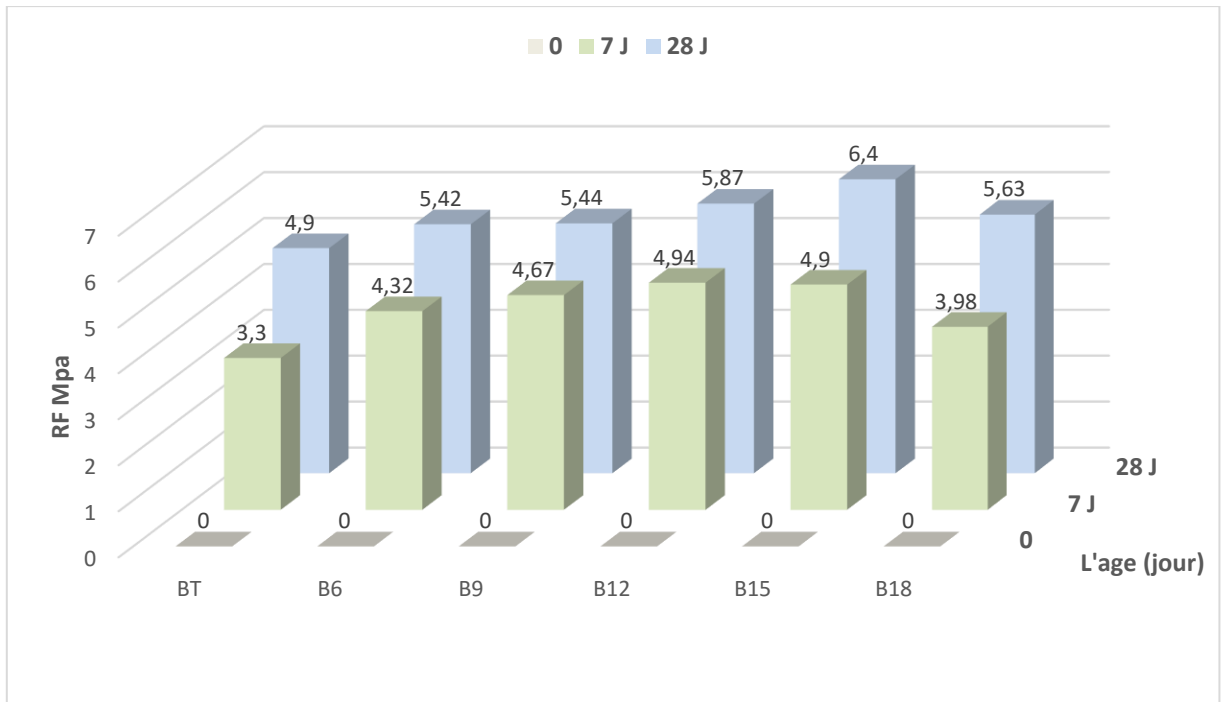
### III.3.2. Essai de flexion :

Des échantillons de béton contenant différents taux de fines calcaires (SA) ont été testés à 7 et 28 jours afin de déterminer le taux optimale des fines permettant d'améliorer la résistance à la flexion des bétons à base de sable « SAC ».

Les suivantes graphiques présentent l'effet de la variation de la taux des fines calcaires sur les résultats de Rf du béton à base de sable « SAC ».



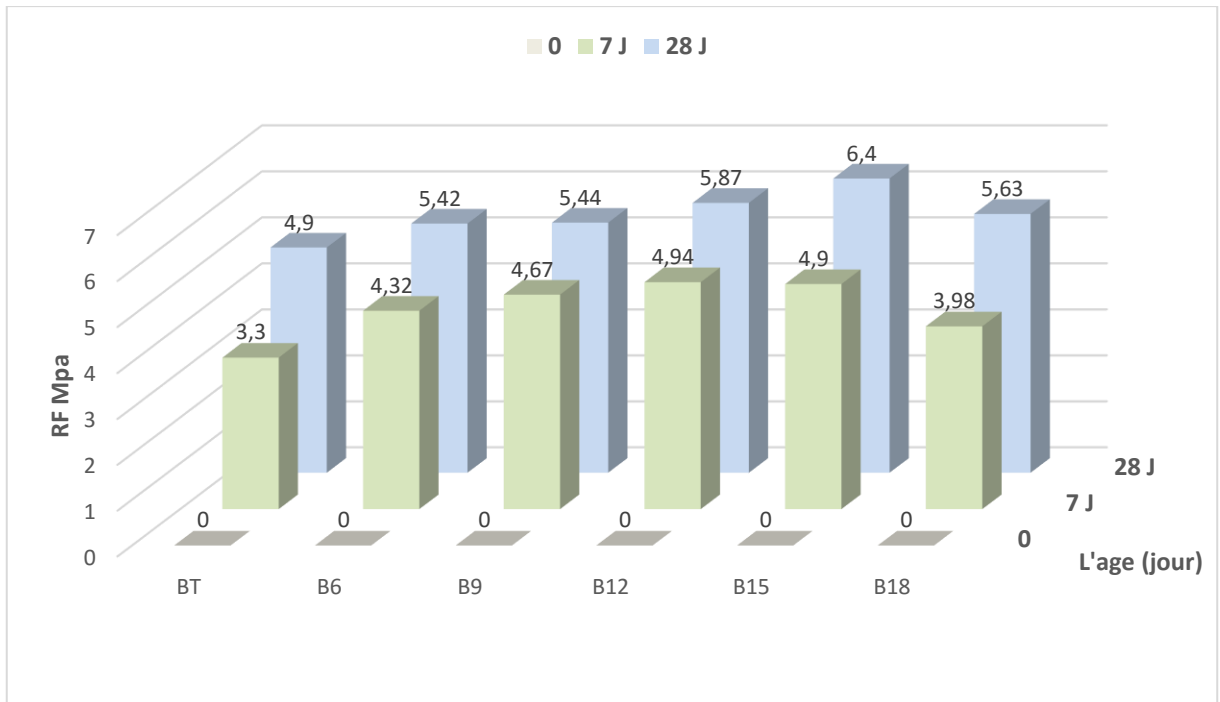




**Figure III.4 L'effet de la variation du taux des fines calcaires sur les résultats de résistance à la flexion du béton.**

Dans tous nos échantillons de béton à base de sable (SAC), nous avons observé une augmentation rapide de la résistance à la flexion lors des sept premiers jours de durcissement du béton, suivie d'un ralentissement jusqu'au 28<sup>ème</sup> jour. Cette évolution correspond aux différentes étapes de l'hydratation de la pâte de ciment.

Dans le cas du béton témoin (BT), la résistance à la flexion augmente de manière linéaire jusqu'à 28<sup>ème</sup> jour.



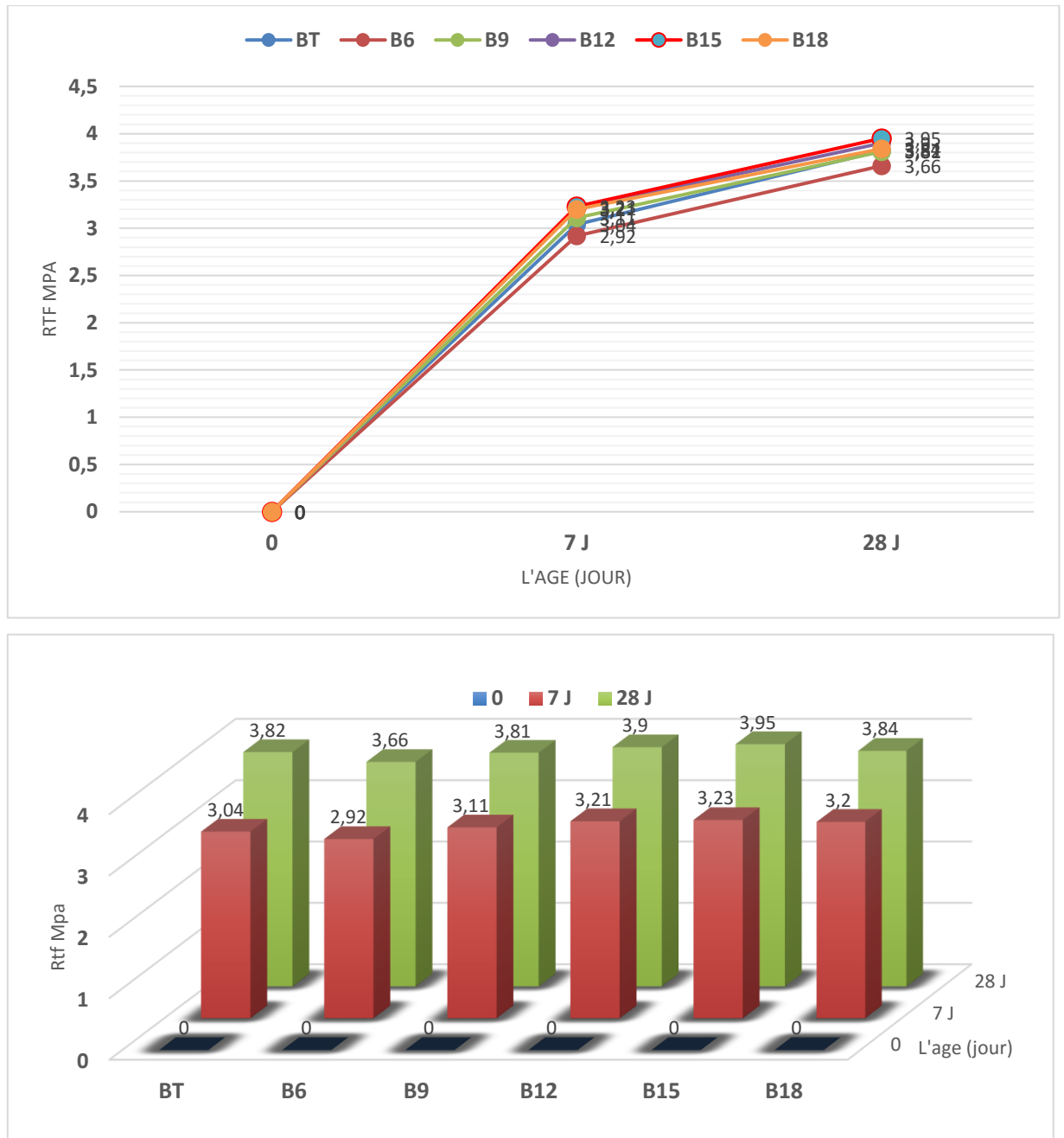
Nos résultats nous permettent de conclure que l'ajout de fines calcaires dans le béton à base de sable SAC entraîne une augmentation de la résistance à la flexion. Nous avons observé que le remplacement progressif des grains de sable par des fines calcaires, jusqu'à atteindre une proportion de 15 %, a permis d'obtenir une augmentation de la résistance à la flexion de 30.61 % par rapport à la valeur minimale de BT. Cette amélioration est due à une réduction de la porosité dans le béton.

### III.3.3 Essai de traction par fendage :

Afin de mesurer la résistance à la traction par fendage, une éprouvette cylindrique de 15 cm de diamètre et 30 cm de longueur ont été préparées dans le but d'obtenir une valeur unique.

Nous avons examiné chaque combinaison béton à des âges différents (7 et 28 jrs), afin de déterminer le pourcentage optimal de fines (SC) pour les bétons à base de sable (SAC). Ceci a été fait dans le but d'obtenir de meilleurs résultats en termes de Rtf.

Les graphiques suivants montrent les résultats et l'effet de la variation du taux des fines (SC) sur Rtf du béton de sable SAC.



**Figure III.5 Résultats de Rtf du béton en fonction de la variation des taux des fines.**

Nous avons observé une augmentation progressive de Rtf au fil du temps jusqu'à 28js.

Les résultats ont convergé pour les différentes combinaisons de bétons testés, y compris le béton témoin. Cependant, le béton contenant un pourcentage de 15% de fines (SAC) a donné de meilleurs résultats à toutes les échéances proposées, en raison de la surface spécifique entre la quantité de ciment utilisée (350 kg/m<sup>3</sup>) et les granulats qui conviennent à ce taux de fines.

Cette combinaison a permis une bonne cohésion entre les éléments constitutifs du béton, ce qui explique les résultats supérieurs obtenus.

### III.3.4 Essai ultrasonique :

L'objectif de cette analyse est de mesurer l'impulsion de vibrations longitudinales transmise à des éprouvettes cylindrique de béton de 30 cm de longueur. L'impulsion est générée par un transducteur électroacoustique en contact avec une des surfaces des éprouvettes.

Nous avons examiné chaque combinaison de béton à deux âges différents (7 et 28 jrs) afin de déterminer le pourcentage optimal de fines (SC) pour les bétons à base de (SAC). Les résultats obtenus sont présentés au **suivant** graphique.

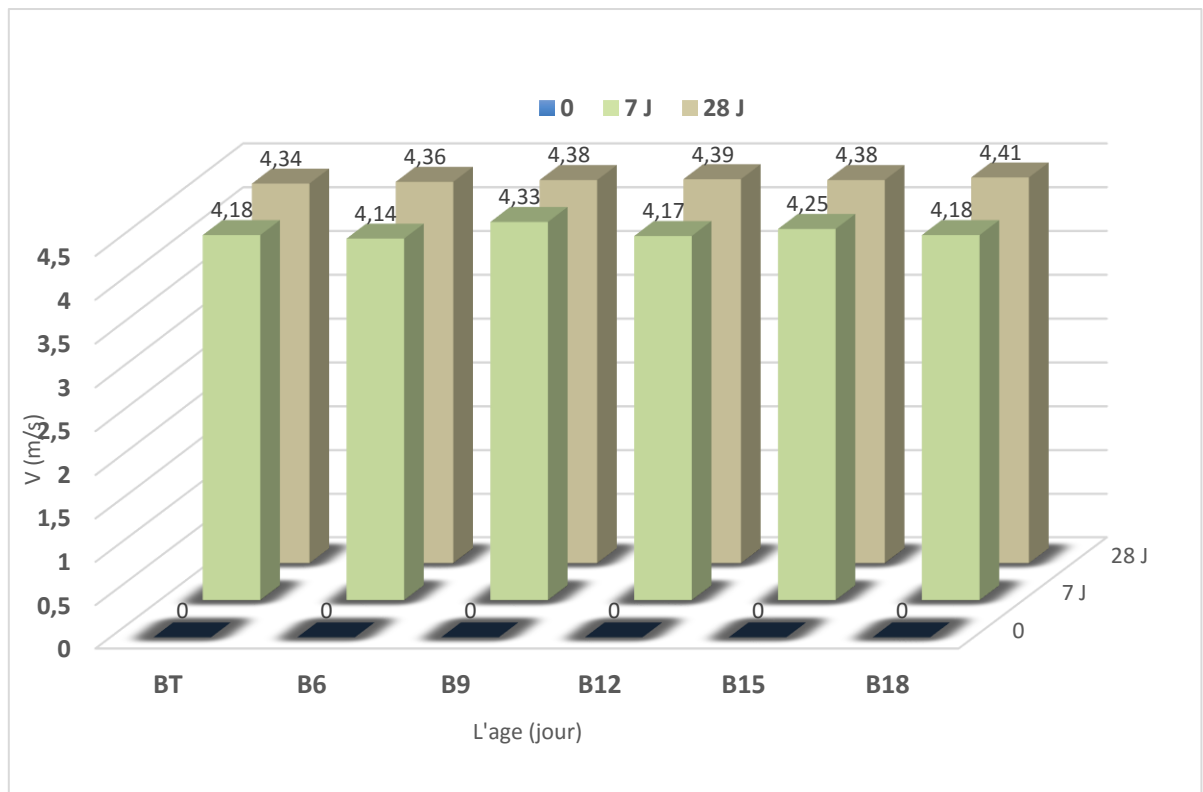


Figure III.6. La variation de la vitesse ultrasonique en fonction du taux des fines (SC)

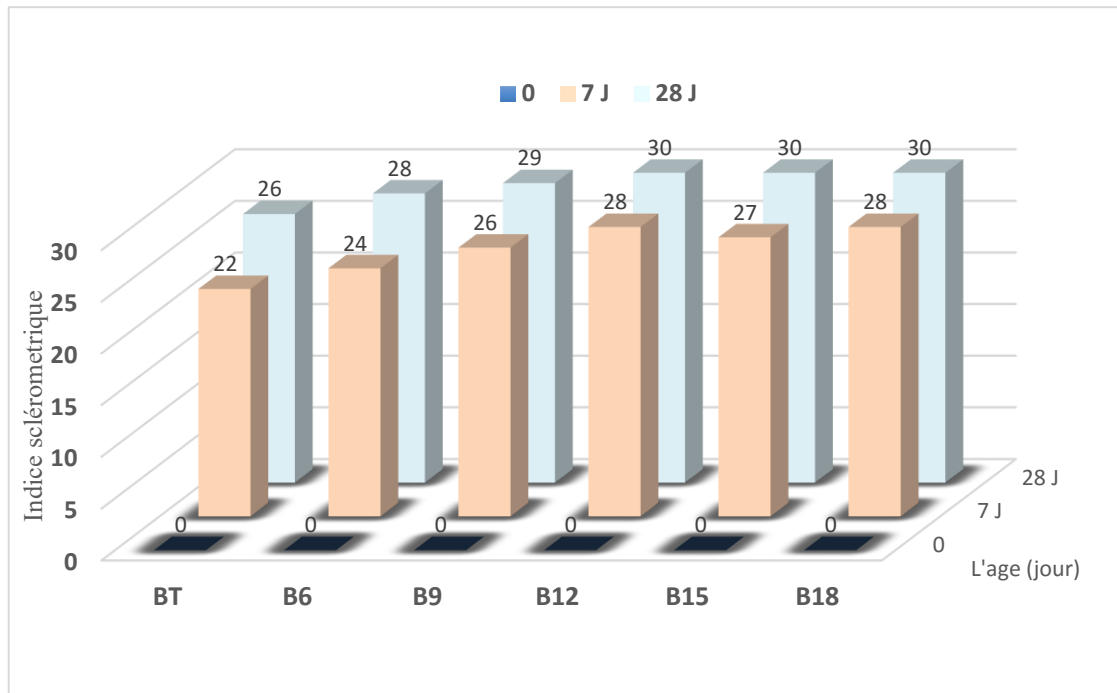
D'après les résultats, la vitesse des ultrasons. En présence de fines relativement plus grosses que le mélange de référence.

Nous avons constaté une augmentation continue de la vitesse ultrasonique à l'âges 28 jrs, avec des valeurs peu éloignées de 6 % à 18 % des fines (SC) ; cela est dû au rôle des fines dans le remplissage des vides.

### II.8 .1.5 Essai Sclérométriques :

L'objectif de cette analyse est d'évaluer des résistances en compression à partir de mesures d'indices sclérométriques sur les éprouvettes cylindrique (15\*30) cm.

Nous avons effectué le même test sur des échantillons prélevés à deux moments différents (7 et 28 jours). Les résultats obtenus sont présentés sur le graphique ci-dessous.



**Figure III.7. Les mesures d'indices sclérométriques en fonction du taux des fines (SC)**

L'indice de sclérométrie augmente avec l'augmentation de l'âge du béton, et il augmente également en tout les béton avec des fines ( SC) ajoutés de 6 % à 18 % par rapport au béton de référence.

Il est également à noter que la valeur maximale enregistrée concerne les bétons B12, B15 et B18 avec une valeur de 30.

### III.4 Conclusion :

Ce chapitre présente les résultats expérimentaux relatifs à deux compositions de béton : le béton de sable alluvionnaire BT (béton témoin) et le béton de sable alluvion-calcaire, obtenu en remplaçant 50 % du sable de rivière par du sable concassé. Les pourcentages de fines dans ce sable (SC) ont été modifiés de 6% à 18%.

Les résultats obtenus indiquent qu'il existe une distinction entre le béton BT et le béton de

sable (SAC) avec la variation des proportions de fines de sable (SC)

Les variations sont exposées de la manière suivante :

L'ajout de fines alluvion-calcaire dans le béton de sable (SAC) à des pourcentages variés (de 6% à 18%) améliore sa performance par rapport au béton témoin en raison de la colmatation des pores et de la cohésion accrue entre les grains de forme angulaire,

Après 28 jours, la résistance à la compression du béton B15 augmente de 9,54 % pour le béton B0, 31,61% pour la résistance à la flexion, 34.2 % pour la résistance à la traction par fendage,



**Conclusions  
Générales  
Et Perspectives**

## Conclusions générales et perspectives

L'objectif principal de cette étude était d'analyser l'impact de la variation des fines provenant d'un sable alluvion-calcaire sur les propriétés physico-mécaniques du béton.

Notre travail expérimental avait pour objectif de comprendre différents types de formulations, de caractériser les bétons (à l'état frais et durci) et d'étudier l'influence de la granulométrie des agrégats sur le comportement mécanique du béton ordinaire à l'état durci.

En se basant sur les résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être tirées :

- La résistance à la compression est influencée par la présence de fines (SC).
- Le béton B15 présente une bonne résistance à la compression et à la flexion par rapport aux bétons B6, B9, B12, B18 et au béton témoin.
- Le béton B18 présente une masse volumique plus élevée à l'état frais par rapport aux bétons B15, B12, B9 et B6 en raison de la présence d'une plus grande quantité de fines, favorisant un agencement optimal entre les grains.
- Les bétons étudiés montrent une évolution de la résistance mécanique à la flexion et à la compression dans les bétons de substitution de sable (B6 à B18), malgré la densité plus élevée du béton témoin BT. Cela est dû à une bonne disposition des bétons basés sur un rapport de (50% SA-50% SC) avec une précision appropriée du taux de fines.
- L'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasonores dans les bétons varie avec le temps.
- La caractérisation des bétons par ultrasons permet d'évaluer l'homogénéité de la structure interne et démontre l'effet de la distribution granulaire des agrégats sur la résistance mécanique. Une variation du taux de fines dans les différents bétons entraîne une vitesse de propagation excellente, grâce à un bon remplissage granulaire qui assure une bonne compacité et donc une meilleure résistance mécanique.

Suite à ce diagnostic, de nouvelles interrogations se posent concernant l'utilisation du sable de concassage en tant que matériau alternatif avec le sable alluvionnaire dans le béton.



Ces interrogations suscitent de nouvelles perspectives de recherche sur l'effet de ce sujet sur la résistance physique et mécanique des structures en béton armé, notamment :

- ✓ L'étude de l'influence de la nature des grains sur les propriétés du béton composé de sable alluvion-calcaire (50% ,50%).
- ✓ L'analyse de l'impact des différents taux d'incorporation des fines alluvion-calcaire sur le comportement de la maniabilité du béton innovant.



**Références  
Bibliographique**

## Références Bibliographiques

- [1] G. e. F. .. Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants., EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007..
- [2] Benkali Sarah : « caractérisation expérimentale des bétons autoplaçants obtenus par ajout des déchets de construction » Thèse de magistère université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- [3] <http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/page/view.php>
- [4] Baron.J et Sauterey.R, 1982 .Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses de l'école des ponts et chaussées, sous la direction de Jacques Baron et Raymond Sauterey
- [5] <http://www.guidebeton.com/differents-types-beton>
- [6] John Wiley and Sons, Taylor F, Thompson S, 1912. A treatise on concrete plain and reinforced, New York.
- [7] Dupain.R, Lanchon.R et Saint-Arromain.J.C, 1995.Granulats, sols, ciments et bétons, Ed Educalivre, 276p Paris.
- [8] GEORGES DREUX : «Nouveau guide du béton » Edition Eyrolles, 1981
- [9] [8] Granulats- Définitions, conformité, spécifications ,indice de classement P 18-540.
- [10] COURS DE MDC, « LES GRANULAT », Université De Sétif.
- [11] <https://www.infociments.fr/betons/caracteristiques-et-types-de-granulats>
- [12] Richard et Cheyrezy.M 1995.Les bétons de poudres réactives, Annales ITBTP. Série béton 320.
- [13] Cimbéton. (2005) Les constituants des bétons et des mortiers. Tome 1, chapitre 1. Paris. Disponible sur : <http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.pdf>
- [14] V. PHOUMMAVONG Matériaux de construction : Cours en ligne : Université Nationale du Laos : <http://www.la.refer.org/materiaux/default.html,2009>
- [15] CHAUVIN J.J. (1987), Les sables, guide pratique d'utilisation routière, I.S.T.E.D, Pari , France, KETTAB Ratiba «Contribution à la valorisation du sable de dunes », Mémoire
- [16] Baron J, Lesage R. Décembre 1976. La composition du béton hydraulique, du laboratoire au chantier, Rapport de recherche des laboratoires des Ponts et Chaussées 64.
- [17] BELHOCINE AIDA -NAGOUDI NADJAT (2014) : Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux.
- [18] Neville.A.M : propriété des bétons traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, 1998
- [19] MERIDA A. : « contribution à l'étude de la corrosion des BHP de pouzzolane en

milieu sulfaté » thèse magister de l'UTHB 2005.

[20] YAGOUBI M. S., Etude de caractérisation et corrélation aux moyens des essais non-destructifs et essais direct d'un béton à haute performance (BHP) à base de matériaux locaux, Thème de Master, Université de Mohamed Boudiaf M'sila , 2016.

[21] Neville.A.M : propriété des bétons traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, 1998

[22] STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE NORMAND F. MACLEOD et RICHARD J. « Dosage et contrôle des mélanges de béton » 7ème édition canadienne 2004.

[23] NF EN 12390-3 Février 2003. Essai pour béton durci, Partie3: Résistance à la compression des éprouvettes

[24] (Site WEB) : <https://coursgeniecivil.blogspot.com/2013/07/sclerometre.html>

[25] MAZA Nabil , REDJOUH Housseem Eddine , caractérisation d'un BAP par modélisation , mémoire master 2 , université el Bachir el Ibrahimi BBA, Année 2021.

[26] BOURENANE CHERIF Amina, Effet des granulats recyclés sur le comportement et la durabilité des Bétons autoplaçants, mémoire master 2, université el Bachir Ibrahimi BBA , Année 2020.

[27] "Optimization of partial replacement of M-sand by natural sand in high performance concrete with silica fume" by A. Arivumangai and R. Gobinath (Journal of Building Engineering, 2021).

### Liste des normes

- 1) Norme Française P18-101; NT 21.30; Granulats pour bétons /Classifications des granulats.
- 2) Norme Française P 18-541, "Granulats- Granulats pour béton hydrauliques, spécifications.
- 3) Norme Française P 18-560, EN 933-1;"Granulats - Analyse granulométrique par tamisage".
- 4) Norme Française P 18-540, "Granulats - Définitions, conformité, spécifications.
- 5) Norme Française P 18 554, "Granulats - Mesures des masses volumiques, de la porosité.
- 6) Norme Française P 18-555, "Granulats - Mesures des masses volumiques
- 7) Norme Française P 18-591, "Granulats - détermination de la propreté superficielle".
- 8) Norme Française P 18-598, "Granulats- Equivalent de sable".
- 9) Norme Française P 18-573, "Granulats - Essai Los-Angeles".
- 10) Norme Française P 15-301, " Définitions, classification et spécification des ciments".
- 11) Norme Française EN 12390-3/4; /P18-406/; résistance à la compression des éprouvettes.
- 12) Norme Française EN 12390-2; confection des éprouvettes pour essais de résistance.
- 13) Norme Française EN 1008; P 18-303; Eau de gâchage pour bétons.
- 14) Norme Française P 18-541, "Granulats- Granulats pour béton hydrauliques, spécifications



## **Les Annexes**

ANNEXE 01



**FICHE TECHNIQUE**  
Réf : DC/FT MT. v03

**Analyses et caractérisation**

**Analyses chimiques**

|  |              |
|--|--------------|
| Perte au feu (%), (NA 5042):           | 7,50 – 12,00 |
| Résidus insolubles (%), (NA 5042):     | 0,7 – 2,00   |
| Teneur en sulfates SO3 (%), (NA 5042): | 2,00 – 2,70  |
| Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):  | 1,00 – 2,20  |
| Teneur en chlorures (%), (NA 5042):    | 0,01 – 0,05  |
| Teneur équivalent en alcalis (%):      | 0,3 – 0,75   |

**Composition hypothétique du clinker (Bogue)**

|  |               |
|--|---------------|
| Silicates tricalciques C3S (%):          | 58 - 64       |
| Silicates bicalciques C2S (%):           | 12 - 18       |
| Aluminates tricalciques C3A (%):         | 8,00 – 8,00   |
| Aluminoferrites tetracalciques C4AF (%): | 10,00 – 12,00 |

**Propriétés physiques**

|  |             |
|--|-------------|
| Consistance normale de la pâte de ciment (%):  | 25 – 28,50  |
| Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231): | 4150 – 5250 |
| Retrait à 28 jours en µm/m                     | <1 000      |
| Expansion en mm                                | 0,3 – 2,5   |

**Temps de prise à 20°C (NA 230)**

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Début de prise (min) | 140 - 195 |
| Fin de prise ( min)  | 195 - 290 |

**Résistance à la compression (NA 234)**

|                |        |
|----------------|--------|
| 02 jours (MPa) | ≥ 10,0 |
| 28 jours (MPa) | ≥ 42,5 |

Algerian Cement Company (SPA)

Hammam, Delas, Meïla (AGC)  
Tel: +213 26 50 76 20  
Fax: +213 26 55 79 26

Direction générale

33, Rue des Pins, Hydra, Alger  
Tél: +213 (0) 21 48 76 65  
Fax: +213 (0) 21 48 10 71

Ciment Blanc Algérie (SPA)

Usine Oggaz (CBA)  
BP 67, 20260, Mostaganem  
Tél. / Fax: +213 (0) 40 94 06 98



## ANNEXE 02

## Analyse granulométrique par tamisage selon la norme NFP18-554

| matériau: Sable alluvionnaire «SA» |               |                | masse sèche: 1000gr |             |
|------------------------------------|---------------|----------------|---------------------|-------------|
| tamis (mm)                         | Refus partiel | Retenu cumulés | Refus (%)           | Passant (%) |
| 5                                  | 0             | 0              | 0                   | 100         |
| 2.5                                | 51,30         | 51,30          | 5,13                | 94,87       |
| 1.25                               | 120,95        | 172,25         | 17,23               | 82,78       |
| 0.63                               | 219,88        | 392,13         | 39,21               | 60,79       |
| 0.315                              | 384,50        | 776,63         | 77,66               | 22,34       |
| 0.16                               | 115,65        | 892,28         | 89,23               | 10,77       |
| 0.08                               | 51,41         | 943,69         | 94,37               | 5,63        |
| Module de finesse "Mf =2,28        |               |                |                     |             |

| Matériau : Sable calcaire «SC» |               |                | masse sèche: 1000gr |             |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------------|-------------|
| tamis (mm)                     | Refus partiel | Retenu cumulés | Refus (%)           | Passant (%) |
| 5                              | 0             | 0              | 0                   | 100         |
| 2.5                            | 82,10         | 82,10          | 8,21                | 91,79       |
| 1.25                           | 141,00        | 223,10         | 22,31               | 77,69       |
| 0.63                           | 133,18        | 356,28         | 35,628              | 64,37       |
| 0.315                          | 127,78        | 484,06         | 48,406              | 51,59       |
| 0.16                           | 139,34        | 623,40         | 62,34               | 37,66       |
| 0.08                           | 179,79        | 803,19         | 80,319              | 19,68       |
| Module de finesse "Mf =1.77    |               |                |                     |             |

| Matériau : Sable alluvion-calcaire «SAC» |               |                | Masse sèche: 1000gr |             |
|--|---------------|----------------|---------------------|-------------|
| tamis (mm)                               | Refus partiel | Retenu cumulés | Refus (%)           | Passant (%) |
| 5  | 0             | 0              | 0                   | 100         |
| 2.5                                      | 92,19         | 92,19          | 9,219               | 90,781      |
| 1.25                                     | 148,54        | 240,73         | 24,073              | 75,927      |
| 0.63                                     | 171,01        | 411,74         | 41,174              | 58,826      |
| 0.315                                    | 193,14        | 604,88         | 60,488              | 39,512      |
| 0.16                                     | 114,70        | 719,58         | 71,958              | 28,042      |
| 0.08                                     | 114,62        | 834,20         | 83,42               | 16,58       |
| Module de finesse "Mf =2.07              |               |                |                     |             |



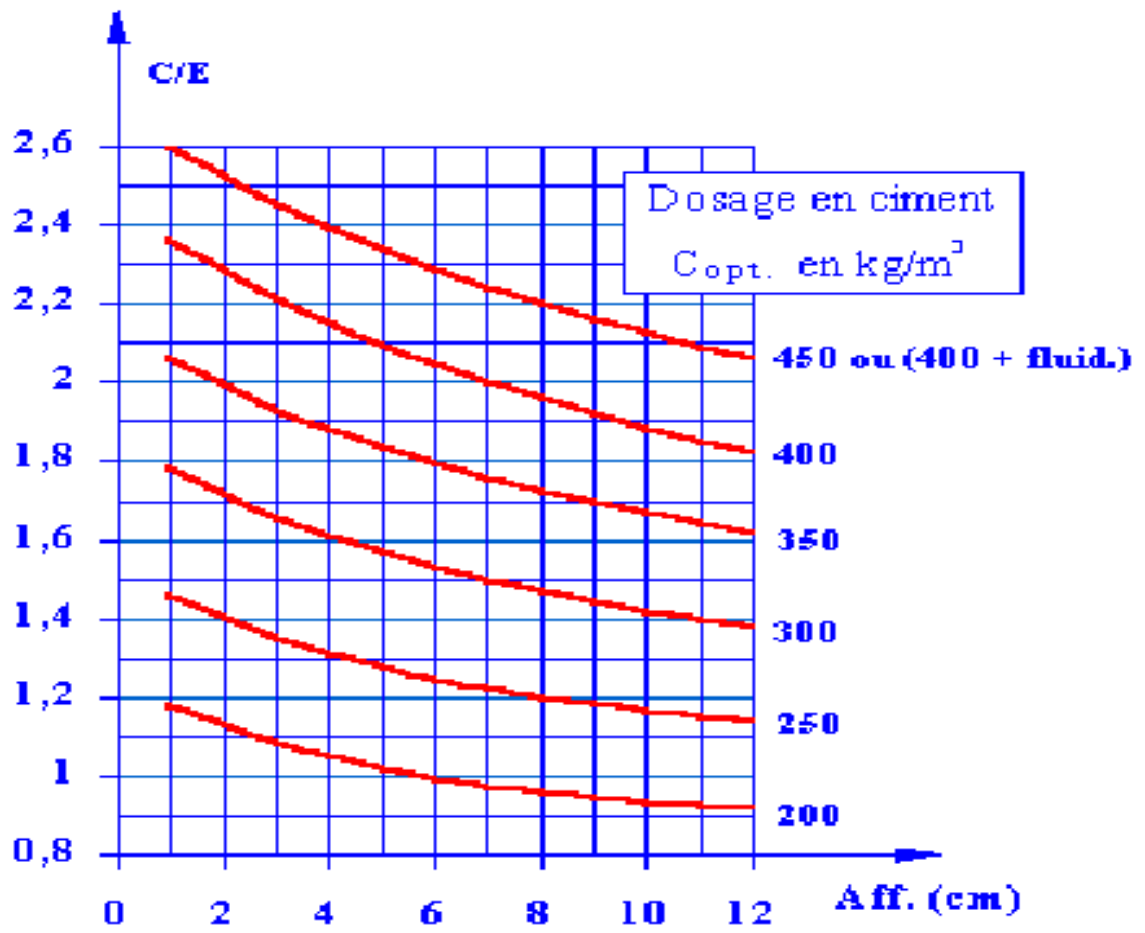
| <b>Sable alluvion-calcaire «SAC» 6 % Fines      masse sèche: 1000gr</b> |                      |                       |                  |                    |
|---|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| <b>tamis (mm)</b>   | <b>Refus partiel</b> | <b>Retenu cumulés</b> | <b>Refus (%)</b> | <b>Passant (%)</b> |
| 5   | 0                    | 0                     | 0                | 100                |
| 2.5   | 81,9                 | 81,90                 | 8,19             | 91,81              |
| 1.25  | 148,3                | 230,20                | 23,02            | 76,98              |
| 0.63  | 184,4                | 414,60                | 41,46            | 58,54              |
| 0.315   | 294,21               | 708,81                | 70,881           | 29,119             |
| 0.16  | 140,14               | 848,95                | 84,895           | 15,105             |
| 0.08  | 90,13                | 939,08                | 93,908           | 6,092              |
| Module de finesse "Mf =2,28   |                      |                       |                  |                    |

| <b>Sable alluvion-calcaire «SAC» 9 % Fines      masse sèche: 1000gr</b> |                      |                       |                  |                    |
|---|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| <b>tamis (mm)</b>   | <b>Refus partiel</b> | <b>Retenu cumulés</b> | <b>Refus (%)</b> | <b>Passant (%)</b> |
| 5   | 0,00                 | 0                     | 0                | 100                |
| 2.5   | 71,20                | 71,20                 | 7,12             | 92,88              |
| 1.25  | 150,20               | 221,40                | 22,14            | 77,86              |
| 0.63  | 174,30               | 395,70                | 39,57            | 60,43              |
| 0.315   | 298,54               | 694,24                | 69,424           | 30,576             |
| 0.16  | 124,25               | 818,49                | 81,849           | 18,151             |
| 0.08  | 85,85                | 904,34                | 90,434           | 9,566              |
| Module de finesse "Mf =2,20   |                      |                       |                  |                    |

| <b>Sable alluvion-calcaire «SAC» 12 % Fines      masse sèche: 1000gr</b> |                      |                       |                  |                    |
|--|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| <b>tamis (mm)</b>  | <b>Refus partiel</b> | <b>Retenu cumulés</b> | <b>Refus (%)</b> | <b>Passant (%)</b> |
| 5  | 0                    | 0                     | 0                | 100                |
| 2.5  | 88,5                 | 88,50                 | 8,85             | 91,15              |
| 1.25   | 127,76               | 216,26                | 21,626           | 78,374             |
| 0.63   | 155,29               | 371,55                | 37,155           | 62,845             |
| 0.315  | 284,56               | 656,11                | 65,611           | 34,389             |
| 0.16   | 152,33               | 808,44                | 80,844           | 19,156             |
| 0.08   | 81,2                 | 889,64                | 88,964           | 11,036             |
| Module de finesse "Mf =2,14  |                      |                       |                  |                    |

| <b>Sable alluvion-calcaire «SAC» 15 % Fines      masse sèche: 1000gr</b> |                      |                       |                  |                    |
|--|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| <b>tamis (mm)</b>  | <b>Refus partiel</b> | <b>Retenu cumulés</b> | <b>Refus (%)</b> | <b>Passant (%)</b> |
| 5  | 0                    | 0                     | 0                | 100                |
| 2.5  | 90,20                | 90,20                 | 9,02             | 90,98              |
| 1.25   | 125,52               | 215,72                | 21,572           | 78,428             |
| 0.63   | 157,17               | 372,89                | 37,289           | 62,711             |
| 0.315  | 269,89               | 642,78                | 64,278           | 35,722             |
| 0.16   | 146,87               | 789,65                | 78,965           | 21,035             |
| 0.08   | 93,56                | 883,21                | 88,321           | 11,679             |
| Module de finesse "Mf =2,11  |                      |                       |                  |                    |

| <b>Sable alluvion-calcaire «SAC» 18 % Fines      masse sèche: 1000gr</b> |                      |                       |                  |                    |
|--|----------------------|-----------------------|------------------|--------------------|
| <b>tamis (mm)</b>  | <b>Refus partiel</b> | <b>Retenu cumulés</b> | <b>Refus (%)</b> | <b>Passant (%)</b> |
| 5  | 0                    | 0                     | 0                | 100                |
| 2.5  | 90,14                | 90,14                 | 9,014            | 90,986             |
| 1.25   | 150,10               | 240,24                | 24,024           | 75,976             |
| 0.63   | 162,22               | 402,46                | 40,246           | 59,754             |
| 0.315  | 211,19               | 613,65                | 61,365           | 38,635             |
| 0.16   | 116,80               | 730,45                | 73,045           | 26,955             |
| 0.08   | 135,34               | 865,79                | 86,579           | 13,421             |
| Module de finesse "Mf =2,08  |                      |                       |                  |                    |



La l'abaque relatif l'affaissement a dosage du ciment

**Les valeurs du terme correcteur K [Dreux Festa1998]**

| puissante |       | Normal   |       | Faible   |       | Vibration                               |                  |
|-----------|-------|----------|-------|----------|-------|---|------------------|
| concassé  | Roulé | concassé | Roulé | concassé | Roulé | des granulats (du sable en particulier) |                  |
| -4        | -6    | -2       | -4    | 0        | -2    | 400+Fluid                               | dosage en ciment |
| -2        | -4    | 0        | -2    | 2        | 0     | 400                                     |                  |
| 0         | -2    | 2        | 0     | 4        | 2     | 350                                     |                  |
| 2         | 0     | 4        | 2     | 6        | 4     | 300                                     |                  |
| 4         | 2     | 6        | 4     | 8        | 6     | 250                                     |                  |
| 6         | 4     | 8        | 6     | 10       | 8     | 200                                     |                  |

**les valeur de coefficient de compacité  $\gamma$**

| Consistance   | Serrage             | $\gamma$ coefficient de compacité |       |        |       |        |       |       |
|---------------|---------------------|-----------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
|               |                     | D=5                               | D=8   | D=12.5 | D=20  | D=31.5 | D=50  | D=80  |
| Molle (TP-FI) | Piquage             | 0.750                             | 0.780 | 0.795  | 0.805 | 0.810  | 0.815 | 0.820 |
|               | Vibration faible    | 0.755                             | 0.785 | 0.800  | 0.810 | 0.815  | 0.820 | 0.825 |
|               | Vibration normale   | 0.760                             | 0.790 | 0.805  | 0.815 | 0.820  | 0.825 | 0.830 |
| Plastique (P) | Piquage             | 0.760                             | 0.790 | 0.805  | 0.815 | 0.820  | 0.825 | 0.830 |
|               | Vibration faible    | 0.765                             | 0.795 | 0.810  | 0.820 | 0.825  | 0.830 | 0.835 |
|               | Vibration normale   | 0.770                             | 0.800 | 0.815  | 0.825 | 0.830  | 0.835 | 0.840 |
|               | Vibration puissante | 0.775                             | 0.805 | 0.820  | 0.830 | 0.835  | 0.840 | 0.845 |
| Ferme (F)     | Vibration faible    | 0.775                             | 0.805 | 0.820  | 0.830 | 0.835  | 0.840 | 0.845 |
|               | Vibration normale   | 0.780                             | 0.810 | 0.825  | 0.835 | 0.840  | 0.845 | 0.850 |
|               | Vibration puissante | 0.785                             | 0.815 | 0.830  | 0.840 | 0.845  | 0.850 | 0.855 |

NOTICE TECHNIQUE

# MEDAFLOW 145

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

## DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité. Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

## CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....brai clair
- pH..... 5 – 6
- Densité..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec.....30±1.5%

## PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :

### Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

### Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

## DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferrailage dense

## DOSAGE

### Plage de dosage recommandée :

0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.

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

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.

Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR**.

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg

### Délai de conservation :

12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

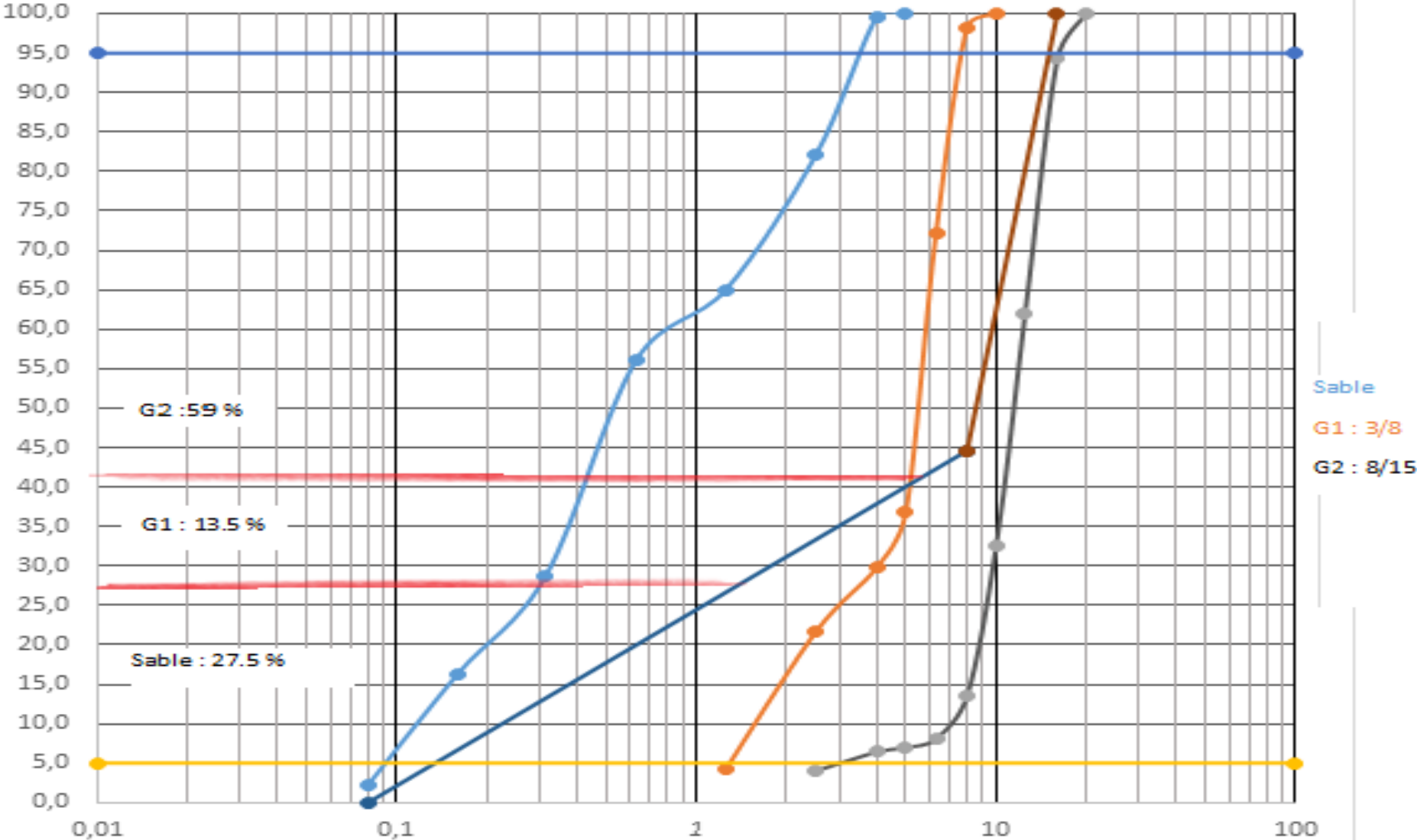




Tableau Les dosages de chaque composant dans chaque béton.

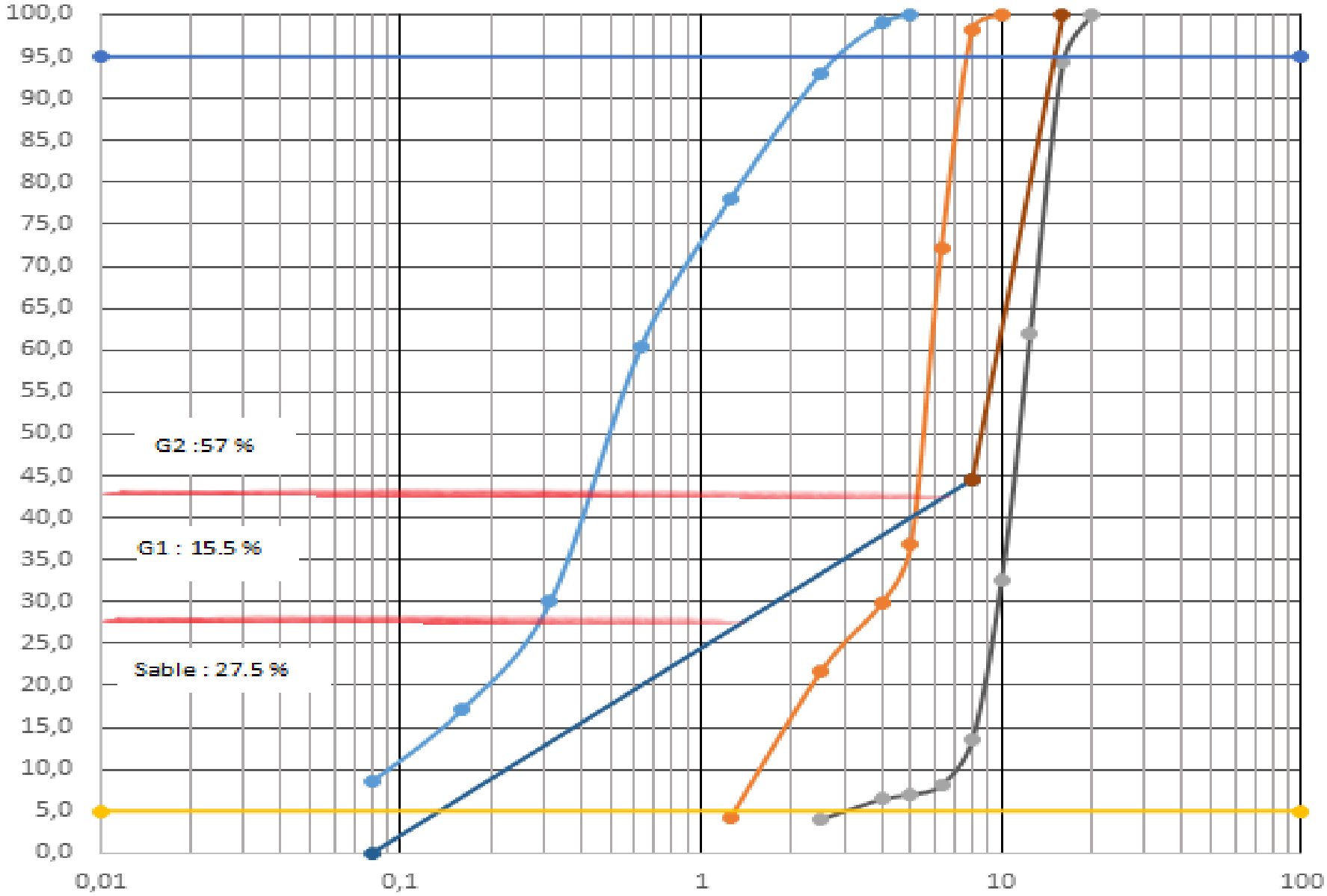
| Bétons | désignation  | Pourcentage de |      |       | dosage de chaque matériau en kg/m <sup>3</sup> |        |         |     |     | Masse V<br>g/cm <sup>3</sup> |
|--------|--------------|----------------|------|-------|--|--------|---------|-----|-----|------------------------------|
|        |              | Granulats en%  |      |       | sable  | G3/8   | G8/15   | C   | E   |                              |
|        |              | sable          | G3/8 | G8/15 |  |        |         |     |     |                              |
| BT     | témoin       | 28             | 15,5 | 56,5  | 517,16   | 270,29 | 1020,09 | 350 | 175 | 2,333                        |
| B6     | 6% de fines  | 27             | 13   | 60    | 484,2  | 230,47 | 1080,1  | 350 | 175 | 2,320                        |
| B9     | 9% de fines  | 27,5           | 15,5 | 57    | 494,07   | 274,76 | 1026,1  | 350 | 175 | 2,320                        |
| B12    | 12% de fines | 27             | 16   | 57    | 484,18   | 283,61 | 1028,96 | 350 | 175 | 2,322                        |
| B15    | 15% de fines | 27,5           | 15   | 57,5  | 495,022  | 265,98 | 1040,1  | 350 | 175 | 2,326                        |
| B18    | 18% de fines | 29             | 14   | 57    | 523,047  | 248,17 | 1041,17 | 350 | 175 | 2,337                        |

Courbe granulaire de Dreux-Gorisse SAC 0% de fines

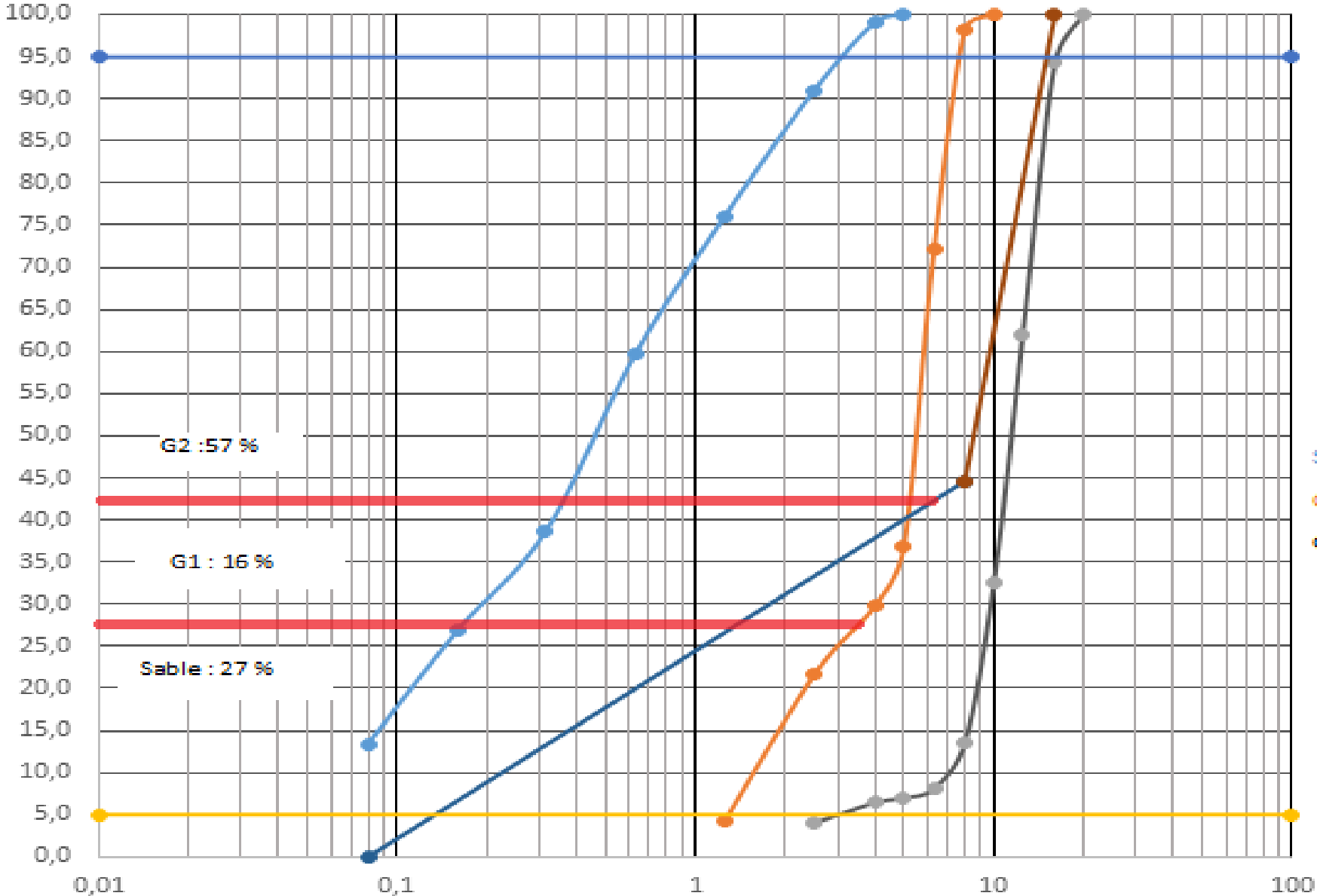




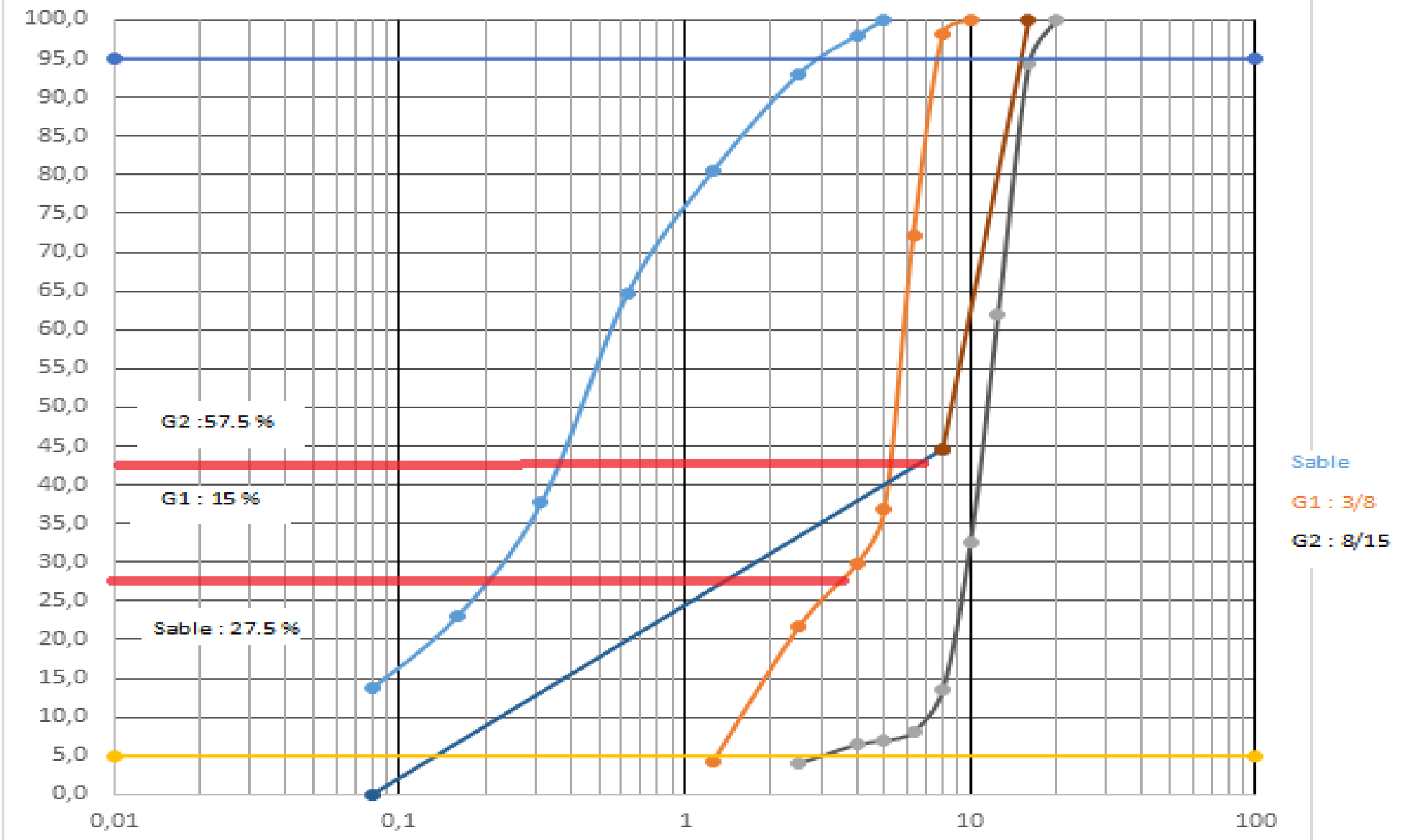
Courbe granulair de Dreux-Gorisse SAC 9% de fines



Courbe granulatoire de Dreux-Gorisse SAC 12% de fines



Courbe granulaire de Dreux-Gorisse SAC 15% de fines



Courbe granulaire de Dreux-Gorisse SAC 18% de fines

