

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued



**Faculté des sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et D'Hydraulique**

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité: Génie Civil
Option : Matériaux en genie civil

Thème

**Effet de la variation de fines issues d'un
sable silico-calcaire sur les performances
physico-mécaniques du béton**

Présentée par :

- MESBAHI AISSAM
- KHELIFI ABD EL HAMID
- ZEGHDI OTHMANE

Dirigé par :

Dr/ Tarek Djedid

Membres du Jury :

- Président: Dr Logbi Abdelaziz
- Examineur : Dr Mani Mohammed

Soutenu le : 24 Juin 2020

Promotion : Juin 2020

Remerciements

en fin de ce travail, nous remercions d'abord Dieu de nous avoir donné la volonté et la patience, qui nous a accordé le succès, pour terminer ce travail.

Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude au le Dr Tarek DJEDID que nous fournie des informations sous encadrer de notre recherches, et de m'avoir accepté, supporté et soutenu physiquement et moralement sans relâche pendant les bons et les mauvais moments pendent cette recherche .

Nous remercions également sincèrement tous les professeurs du Département de génie civil et d'hydraulique.

Nous remercions également les personnels du Laboratoire des Travaux Publics de sud de la zone d'el oued, et pour leur directeur, Mr. Mounir MEZDAOUT

Aussi, le personnel du laboratoire NEZOLAB, ainsi que l'entreprise de Fateh AMOURI des travaux publics.

Résumé

Après plusieurs essais expérimentaux, les chercheurs ont découvert que 50% des échanges de sable rivière avec du sable calcaire concassé est le rapport idéal qui donne les meilleures propriétés du béton sur le plan mécanique (compression - traction - flexion ...) et sur le coté physique, la durabilité.

L'objectif principal de cette recherche est de trouver le pourcentage idéal de fines (SSC) résultant du substitution de 50% du sable de rivière par du sable calcaire pour du béton ordinaire. Les différences dans les proportions de ces fines (SSC) qui ont été testées lors de ces travaux sont: (6%, 8%, 10%, 12% et 14%), et nous avons examiné l'effet de ces changements sur les propriétés du béton frais et durci.

Les résultats obtenus dans notre étude expérimentale, nous avons constaté que le pourcentage idéal de ce fines est 14% par rapport au reste des ratios étudiés, ce qui a amélioré les propriétés physiques et mécaniques du béton par rapport au béton témoin.

Mots clés: Granulats, sable siliceux, sable de calcaire (concassé), sable silico-calcaire, fines de sable silico-calcaire, béton, caractéristiques physico-mécaniques.

Abstract

After several experimental tests, the researchers discovered that 50% of the exchange of river sand with crushed limestone sand is the ideal ratio which gives the best properties of concrete on the mechanical level (compression - traction – bending ...) and on the physical side, durability.

The main objective of this research is to find the ideal percentage of fines (SSC) resulting from the substitution of 50% of river sand by limestone sand for ordinary concrete. The differences in the proportions of these fines (SSC) that were tested during this work are: (6%, 8%, 10%, 12% and 14%), and we examined the effect of these changes on the properties of fresh and hardened concrete.

The results obtained in our experimental study, we found that the ideal percentage of this fines is 14% compared to the rest of the ratios studied, which improved the physical and mechanical properties of concrete compared to control concrete.

Key words: Aggregates, silica sand, limestone sand (crushed), silica-limestone sand, silica-limestone sand fines, concrete, physico-mechanical characteristics.

ملخص

بعد عدة اختبارات تجريبية ، اكتشف الباحثون أن 50% من استبدال رمال النهر برمال الحجر الجيري المسحوق هي النسبة المثالية التي تعطي أفضل خواص الخرسانة على الجانب الميكانيكي (الضغط - الشد - الانحناء ...) وعلى الجانب الفيزيائي، الديمومة.

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو إيجاد النسبة المثالية للعناصر الدقيقة الناتجة من استبدال 50 % رمال النهر برمال الحجر الجيري للخرسانة العادية. الاختلافات في نسب هذه العناصر الدقيقة (SSC) التي تم اختبارها خلال هذا العمل هي: (6% ، 8% ، 10% ، 12% و 14%) ، وقمنا بفحص تأثير هذه التغيرات على خصائص الخرسانة الطازجة و المتصلبة.

النتائج التي تم الحصول عليها في دراستنا التجريبية ، وجدنا أن النسبة المثالية في العناصر الدقيقة هي 14% مقارنة ببقية النسب المدروسة، التي أدت إلى تحسين خواص الخرسانة الفيزيائية والميكانيكية مقارنة مع خرسانة الشاهد .

الكلمات المفتاحية : الحصى والرمل السيليسي والرمل الجيري المكسر، رمل المزيج سيليكات

الكالسيوم، الدقائق الناعمة لسيليكات الكالسيوم، الخرسانة، الخصائص الفيزيائية والميكانيكية .

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
Abstract	ii
ملخص	Iv
Table des matières	v
Liste des tableaux	x
Liste des figures	xii
Liste des abréviation	xv
Introduction	1
Chapitre I : Synthèse Bibliographique	
I.1. Introduction	3
I.2. Définition de béton	3
I.3. Classification des bétons	4
I.4. Les différents types du béton	4
I.5 Les constituants du béton	5
I.5.1. Le ciment	5
I.5.1.1. Les classifications de ciments	5
I.5.1.2. Les Constituants des ciments	6
I.5.2. Le granulats	8
I.5.2.1. Classification des granulats selon la provenance	8

Table des matières

I.5.2.1.1. Granulats naturels	8
I.5.2.1.2. Granulats artificiels	9
I.5.2.1.3. Granulats Recyclé	9
I.5.2.2. Classification des granulats selon la grosseur	9
I.5.2.3. Origine minéralogique	9
I.5.2.4. Caractéristiques des granulats	10
I.5.2.4.1. Caractéristiques géométriques	10
I.5.2.4.2. Caractéristiques physiques	12
I.5.2.4.3. Caractéristiques mécaniques	13
I.5.3. le sable	13
I.5.3.1 le propreté de sable	14
I.5.3.2 module de finesse	15
I.5.4. L'eau de gâchage	16
I.5.5. Les adjuvants	16
I.5.5.1. Définition	16
I.5.5.2. Classification des adjuvants :	17
I.6. Rôle des différents éléments constituant le béton	17
I.7. Formulations du béton	18
I.7.1. Méthode de Dreux-Gorisse	18

I.8.conclusion	22
Chapitre II : Matériels et méthodes expérimentales	
II.1 Introduction	23
II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés :	23
II.2.1. Ciment	23
II.2.2. Eau de gâchage	25
II.2.3. Sable	25
II.2.3.1. Sable alluvionnaire (sable de Rivière) «SR »	25
II.2.3.2. Sable calcaire concassé «SC »	26
II.2.3.3. Sable Sillico-calcaire «SSC » Naturellement	27
II.2.3.4. Sable «SSC » avec de variation le taux des fines	29
II.2.4. Les Graviers	34
II.2.5. Les Adjuvants	37
II.3. la Formulation des bétons	38
II.3.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse	38
II.4. Essais réalisés pour le béton à l'état frais	45
II.4.1 Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams	45
II.4.2 Essai de la masse volumique	45
II.5. Essais réalisés pour le béton à l'état durci	46
II.5.1 Essais mécaniques	46

Table des matières

II.5.1.1 Résistance à la compression et à la traction	46
II.5.1.2 Résistance à la flexion	47
II.5.1.3 Essai ultrasonique	48
II.5.1.4. Essais de mesure de la Porosité et Absorption d'eau	49
II.5.1.4.1. la Porosité : ASTM - C642	49
II.5.1.5. Absorption capillaire	50
II.6. conclusion	51
Chapitre III : Analyse et discussions des résultats	
III. 1 Introduction	52
III.2 Résultats du comportement le béton a l'état frais	52
III.2.1 Ouvrabilité	52
III.2.2 Densité à l'état frais de différents bétons étudiés	53
III.3 Résultats du comportement physico-mécanique du béton a l'état durci	54
III.3.1. Essai de la compression	54
III.3.2. Essai de flexion	56
III.3.3. Essai de traction par fendage	58
III.3.4. Absorption capillaire	60
III.3.5. la porosité	62
III.3.6. Essai ultrasonique	63
III.3.7. Analyse Statistique	64

Table des matières

III.3.7.1. corrélation entre la résistance mécanique à la compression et la Porosité dans un béton a base d'un sable silico-calcaire	64
III.3.7.2. la corrélation entre la résistance à la compression, à la flexion et l'affaissement	65
III.3.7.3. la corrélation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression	66
III.3.7.4. la Corrélation entre la densité à l'état frais et la densité théorique	67
III.3.7.5. la Corrélation entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage	68
III.4. Conclusion	69
CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS	70
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	72
Annexes	74

Liste des Tableaux

Chapitre I		
Tableau I.1	classification des ciments en fonction de leur résistance normale	6
Tableau I.2	composition minéralogique de clinker	07
Tableau I.3	valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX	15
Chapitre II		
Tableau II.1	Caractéristiques physiques du ciment utilisé	24
Tableau II.2	Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment « 40×40×160 » mm :	24
Tableau II.3	Composition chimique du ciment utilisé.	24
Tableau II.4	Composition minéralogique du ciment utilisé.	24
Tableau II.5	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	25
Tableau II.6	caractéristiques physiques	26
Tableau II.7	caractéristiques chimique	26
Tableau II.8	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	26
Tableau II.9	caractéristiques physiques	27
Tableau II.10	caractéristiques chimique	27
Tableau II.11	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	27
Tableau II.12	caractéristiques physiques	28
Tableau II.13	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	29
Tableau II.14	caractéristiques physiques	30
Tableau II.15	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	30
Tableau II.16	caractéristiques physiques	30

Liste des Tableaux

Tableau II.17	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	31
Tableau II.18	caractéristiques physiques	31
Tableau II.19	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	32
Tableau II.20	caractéristiques physiques	32
Tableau II.21	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	33
Tableau II.22	caractéristiques physiques	34
Tableau II.23	caractéristiques physiques	35
Tableau II.24	analyse granulométrie de graviers 3/8	35
Tableau II.25	: caractéristiques physiques	35
Tableau II.26	analyse granulométrie de graviers 8/15	36
Tableau II.27	détermination de G (coefficient granulaire)	39
Tableau II.28	donnant les valeurs du terme correcteur K [Dreux Festa1998]	41
Tableau II.29	La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton en cinq groupes :	42
Tableau II.30	les valeur de coefficient de compacité γ	42
Tableau II.31	les résultats du dosage au matériaux pour chaque béton	44

Liste des Figures

Chapitre I		
Figure I.1	les constituants de béton	3
Figure I.2	Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton Ordinaire	5
Figure I.3	les minéraux principaux du clinker	7
Figure I.4	forme d'un granulat	12
Figure I.5	Essais Los Angeles	13
Figure I.6	Principe de l'essai d'équivalente de sable.	15
Figure I.7	Pate de non adjuvante : Flocculation de grains	17
Figure I.8	Pate de ciment additionnée d'un super-plastifiant : dispersion des grains	17
Figure I.9	dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée	19
Figure I.10	La courbe optimale type selon la méthode Dreux Gorisse	20
Chapitre II		
Figure II.1	sace du ciment	23
Figure II.2	La courbe granulométrique de mélange de trois types de sable (SR et SC et mélange de sable SSC «50 % SR + 50% SC »)	28
Figure II.3	sable roulé 0/5	29
Figure II.4	sable concassé 0/3	29
Figure II.5	les fines de mélange ssc	29
Figure II.6	La courbe granulométrique de mélange sable (SC) « 6 à 14 % de fines »	34
Figure II.7	Enchantions graviers utilisé 3/8 et 8/15	36
Figure II.8	La courbe granulométrique de graviers 3/8 et 8/15	37
Figure II.9	La l'abaque relatif l'affaissement a dosage du ciment	40

Figure II.10	Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.	45
Figure II.11	essai de traction par fendage	47
Figure II.12	essai de flexion	47
Figure II.13	Essai ultrasonique	48
Figure II.14	séchage des éprouvettes dans le fours	50
Photo II.15	L'essai d'absorption par capillarité	51
Photo II.16	Principe de l'essai d'absorption par capillaire	51
Chapitre III		
Figure III.1	L'effet de la variation du pourcentage de fines silico-calcaire sur l'ouvrabilité	52
Figure III.2	Variation de la densité du béton en fonction de variation le taux de fines (silico – calcaire)	53
Figure III.3	essai de compression	54
Figure III.4	Variation de la résistance à la compression du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire)	55
Figure III.5	essai de flexion	56
Figure III.6	Variation de la résistance à la flexion du béton en fonction de variation le taux de fines (silico – calcaire)	57
Figure III.7	essai de traction par fendage	58
Figure III.8	Variation de la résistance à la traction par fendage du béton en fonction de variation le taux de fines (silico – calcaire)	59
Figure III.9	Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire) a âge de 28 jours	60
Figure III.10	Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire) a âge de 60 jours.	61
Figure III.11	Variation de porosité du béton en fonction de taux de fines (silico-calcaire)	62
Figure III.12	L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines de silico calcaire pour les différents types de béton à 7, 28 et 60 jours.	63
Figure III.13	Corrélation entre la résistance à la compression et la porosité	64

Liste des Figures

Figure III.14	Corrélation entre l'affaissement et la résistance à la flexion et l'affaissement et la résistance à la compression	65
Figure III.15	Corrélation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression	66
Figure III.16	Corrélation entre la densité à l'état frais et la densité théorique	67
Figure III.17	Corrélation entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage	68

Liste des abréviations

- Mf : module de finesse de sable
- Mvabs : La Masse volumique absolue
- Mvapp : La masse volumique apparente
- SC : silico-calcaire
- SSC : sable silico calcaire
- Rc : la résistance à la compression du béton
- B0 : Béton témoin
- B6 : Béton de 6% fines (SSC)
- B8 : Béton de 8% fines (SSC)
- B10 : Béton de 10% fines (SSC)
- B12 : Béton de 12% fines (SSC)
- B14 : Béton de 14% fines (SSC)

INTRODUCTION

INTRODUCTION GENERALE

Il est connu que le béton est le matériau composite le plus utilisé après l'eau sur la planète, Avec une consommation annuelle d'un mètre cube par chaque personne, Il est composé essentiellement de sable , de gravier , de ciment et de l'eau. Avec l'apparition des nouveaux matériaux et l'exigence des chantiers.

À cette échelle, la production de béton nécessite de consommation d'une grande quantité des sables alluvionnaires naturels, ce qui ne sont pas suffisants pour couvrir tous les besoins de construction.

Les chercheurs ont constaté qu'en substitution d'une partie de ce sable par sable issue des concasseurs les roches de calcaire qui sont présents sur un grande quantité à la surface de la terre, il améliore les performances du béton et également la protection de l'environnement.

De plus, des recherches et des études ont permis de trouver le rapport compensé optimal pour ce sable à 50%, ce qui est juste avec le sable alluvionnaire naturel pour la construction.

En complément des résultats des recherches et études précédentes, nous sommes intéressés à la recherche pour trouver le pourcentage optimal de fines de ce mélange (50 % sable alluvionnaire naturel avec 50 % sable de calcaire) pour obtenir les meilleures performances du béton.

Notre contribution vise principalement l'influence de variation les taux des fines extraites de ce type de sable avec un super plastifiant sur les propriétés : du béton frais, et durci. De ce fait, la présente thème a pour titre : Effet de la variation de fines issues d'un sable silico-calcaire sur les performances physico-mécaniques du béton conservé dans l'eau.

Pour viser ces objectifs on divise ce travail à trois chapitres, qui sont comme suit :

- ✓ En 1^{er} lieu une introduction générale qui fait définir le sujet ainsi que les objectifs visés et un plan de travail.
- ✓ Dans le premier chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique sur le béton et ses composants essentiels, leur méthodes de formulation et ainsi que les

différentes essais.

- ✓ Nous avons élaborés dans le deuxième chapitre les essais faites sur les matériaux utilisés dans ce travail, et la formulation du béton par le méthode Dreux-Gorisse.
- ✓ Le dernier chapitre est consacré à l'analyse et à la discussion des résultats obtenus de l'étude expérimentale, et faisant des observations sur le béton témoin .

Enfin, nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I

Chapitre I : Généralité sur le béton

I.1. Introduction

Le béton est composé d'un mélange de deux constituants essentiels : les granulats et la pâte. Les granulats se composent de sable et de gravier ou de pierres concassées. La pâte se compose de liants (ciment portland avec ou sans ajouts cimentaires), d'eau et d'air.

La pâte, agissant comme une colle, durcit et forme une masse qui, du fait de la réaction chimique du ciment avec l'eau (hydratation), prend la consistance d'une roche, pour former ce qu'on appelle le béton.

Les granulats sont généralement divisés en deux catégories : les fines et les grosses.

Les granulats fins sont des sables naturels ou manufacturés dont la taille peut atteindre 5mm. Les gros granulats sont constitués de particules retenues sur le tamis de 5 mm et pouvant aller jusqu'à 150 mm. La taille maximum du gros granulat la plus couramment utilisée est de 25mm.

La pâte se compose habituellement de liants, d'eau et d'air emprisonné ou entraîné intentionnellement. Elle constitue environ 25 % à 40 % du volume total du béton.

Comme les granulats représentent à peu près 60 % à 75 % du volume total, leur sélection joue un rôle important. Composés de particules suffisamment fortes et résistantes vis à vis des conditions auxquelles elles seront exposées, elles ne doivent pas contenir de matières susceptibles de causer la détérioration du béton. Une granulométrie continue est souhaitable pour l'utilisation efficace de la pâte.

I.2. Définition de béton

Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants. [1]

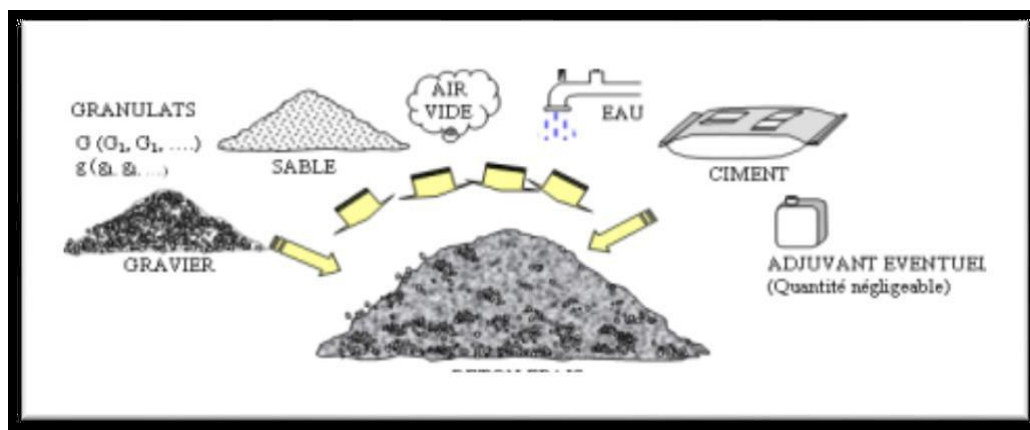


Figure I.1 : les constituants de béton.

Un béton hydraulique est constitué :

- 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. [2]

I.3. Classification des bétons

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général, le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique [3] :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$;
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

I.4. Les différents types du béton

Le matériau béton, est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, poudres raisons économiques et techniques, il existe plusieurs types notamment sont :

- **Béton auto-plaçant (BAP)Développé** [4;5].
- **Béton de hautes performances (BHP)** [6].
- **Béton de fibres** [7].
- **Béton compacte au rouleau (BCR)**[8].
- **Béton préfabriqué** [9].
- **Béton à durcissement rapide** [10].

- **Béton de terre**[11].
- **Béton réfractaire**[12,13].
- **Béton de poudre réactive (BPR)** [12].
- **Béton ordinaire** [13].

I.5 Les constituants du béton :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, sable, gravier et, le plus souvent, adjuvants (figure I.2) qui constituent un ensemble homogène. [14]

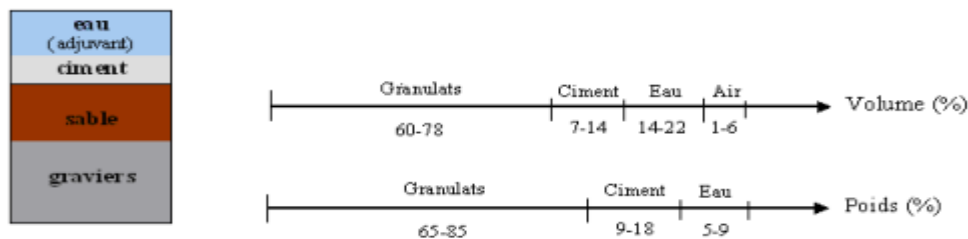


Figure I.2: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton Ordinaire [14]

Les principaux constituants sont :

I.5.1. Le ciment :

Le ciment est une poudre minérale finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte faisant prise, qui durcit progressivement et qui conserve, après durcissement, sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.

I.5.1.1. Les classifications de ciments :

Le ciment peut être classé comme suit:

Selon sa composition :

Les ciments peuvent être classés en cinq grandes familles et 27 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, classes les ciments courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale) déterminée conformément à la norme EN 196-1, mesurée à 28 jours en six classes de résistance.

Tableau I.1 : classification des ciments en fonction de leur résistance normale [13]

Classe de résistance	Résistance à la compression [N/mm ²]			
	Au jeune âge		Résistance courante à 28 jours	
	2 jours	7 jours	Mini	Maxi
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 ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux. [15]

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). [16]

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

Tableau I.2 : composition minéralogique de clinker

Constituants	Composition et abréviation	Taux (%)	Appellation abrégée
Silicate tricalcique	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	45-65	C3S
Silicate bi calcique	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	15-25	C2S
Aluminate tricalcique	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	0-15	C3A
Alumino-ferrite tétra calcique	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	0-10	C4AF

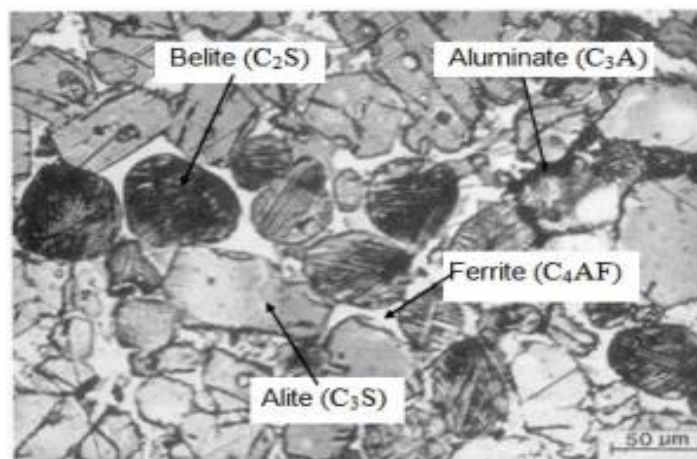


Figure I.3 : les minéraux principaux du clinker

Pour modifier les propriétés des ciments, on ajoute les autres constituants associés au clinker grâce à leurs caractéristiques chimiques ou physiques qui sont :

- Les Calcaires.
- Le Laitier granulé de haut fourneau.
- Les Cendres volantes (V ou W).

- Les cendres volantes siliceuses (V) qui ont des propriétés pouzzolaniques.
 - Les cendres volantes calciques (W) qui ont des propriétés hydrauliques et parfois pouzzolaniques.
-
- Les Schistes calcinés.
 - Les Fumées de silice.
 - La Pouzzolane.
 - Les Fillers

I.5.2. Le granulats

Les granulats sont définis comme l'ensemble des grains inertes (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturel ou artificiel [NF P 15-010].

Ils proviennent dans la plupart des cas des roches naturelles. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau. La forme, la texture de la surface et la concentration Ils proviennent dans la plupart des cas des roches naturelles. Leur utilisation pour la confection d'un béton est motivée par le faible coût volumique, par une meilleure durabilité et stabilité volumétrique par rapport au mélange ciment-eau. La forme, la texture de la surface et la concentration en granulats influent d'une manière considérable sur le comportement du béton à l'état frais et à l'état durci.

I.5.2.1. Classification des granulats selon la provenance

I.5.2.1.1. Granulats naturels

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton. Ils proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les graines, les porphyres.

a) Granulats roulés

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau ou le gel. Ainsi, ils se sont forment des dépôts sédimentaires de grains de grosseur allant du sable fin aux gros blocs, de natures minéralogiques différentes. Trois catégories de granulats roulés existent dans la nature.

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

Les granulats roulés se caractérisent par leur aspect de grains arrondis et polis.

b) Granulats concassés (de carrières) :

Ils proviennent du concassage de roches dures (granits, porphyres, basaltes...etc.). Ils sont caractérisés par un aspect anguleux avec arrêtes.

I.5.2.1.2. Granulats artificiels

Ils proviennent de la transformation thermique des roches (exemple : laitier du haut Fourneau) ou de démolition d'ouvrages.

I.5.2.1.3. Granulats Recyclé

Il obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments ou des structures de chaussé.

I.5.2.2. Classification des granulats selon la grosseur

Les dimensions de ces granulats varient d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française **XP P 18-540** donne une définition des principales divisions 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 $D > 6,3 \text{ mm}$.

I.5.2.3. Origine minéralogique

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres.

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories :

a) Les granulats de roches meubles :

Ils sont roulés, et ont une forme acquise par l'érosion, ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses. Nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires. Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe ou au-dessus de la nappe ou sur des fonds marins peu profonds. L'extraction est donc réalisée en fonction du gisement à sec ou dans l'eau.

b) Les granulats de roches massives :

Sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres: origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage.

I.5.2.4. Caractéristiques des granulats

I.5.2.4.1. Caractéristiques géométriques

1) Désignation des granulats

Les granulats sont souvent désignés en fonction de leur plus petite et de leur plus grande dimension comme suit : Granulats d/D d'où : sable ou gravier.

d: dimension minimale des grains

D: dimension maximale des grains

2) Analyse granulométrique d'un granulat

Elle consiste à séparer les grains composant un granulat en classes selon leurs dimensions à l'aide d'une série de tamis, puis déterminer les pourcentages en poids des différentes Classes dans le granulat. Le choix des tamis à utiliser dépend des dimensions du granulat.

- Série principale européenne (NF EN 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...

On considère un échantillon de Poids P d'un granulat. L'échantillon est mis dans le tamis supérieur d'une série de tamis classés par ordre décroissant selon la dimension des mailles (du plus grand en haut au plus petit en bas). Après vibration de la série de tamis, les grains de l'échantillon se trouvent séparés selon leurs dimensions et chaque tamis retient une

Partie dite Refus partiel du tamis. Le refus cumulé (total) d'un tamis est la somme de tous les refus partiels des tamis qui se trouvent au dessus. La proportion (en %) du refus cumulé d'un tamis rapportée au poids total s'exprime :

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

Le complément à 100% du refus cumulé est le Tamisât du tamis en considération.

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

La courbe granulométrique est la représentation graphique du % Tamisât en fonction de la dimension de la maille du tamis. Afin de prendre en compte la grande variation des dimensions des grains dans granulat, la dimension de la maille du tamis est représentée sur une échelle logarithmique. Ainsi la courbe granulométrique est : % Tamisât = f [log(d)], avec d : dimension de la maille du tamis.

3) Courbe granulométrie

C'est l'outil de base qui permet le choix de la composition d'un béton performant ayant les caractéristiques citées en haut.

4) Forme des granulats et l'état de surface

La forme d'un granulat est définie par 3 dimensions principales :

- Longueur (L) : le plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles,
- Epaisseur (E) : le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles,
- Grosseur (G) : dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.

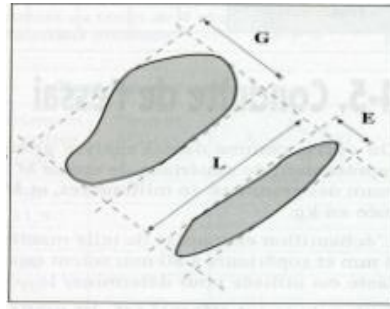


Figure I.4 : forme d'un granulat

5) Coefficient d'Aplatissement A [NFP-18 561 septembre 1990]

A d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation: $G/E > 1.58$

Dans les mêmes conditions $L \leq G \leq E$, on peut déterminer aussi:

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

I.5.2.4.2. Caractéristiques physiques

1) La Masse volumique apparente NF P 18-554 NF P 18-554

La masse volumique apparente est la masse du granulat occupant l'unité de volume, tous vides inclus. On la détermine en calculant le quotient.

2) La masse volumique absolue NF EN 12620

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons.

3) Teneur en eau NF P 18-555 [Normes AFNOR].

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.

Ps : poids de matériau sec.

Ph : poids matériau humide.

Si W est exprimé en % :

$$W \% = 100 \times \frac{Ph - Ps}{Ps}$$

I.5.2.4.3. Caractéristiques mécaniques

➤ Résistance au choc : essai los Angeles NA 5130/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.

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



Appareil los Angeles

matière avant l'essai

matière après l'essai

Figure I.5 : Essais 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 [17] :

-Teneur en fines (passant à $0,08\text{mm} \leq 12\%$)

-Module de finesse ($M_f = 1,8$ 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 [18] :

-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.

I.5.3.1. Propreté de sable

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifier la propreté de celui-ci

➤ Essai d'équivalent de sable:(**NF P 18-598**)

Dans le cas des sables cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une solution flocculant. Après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes. Ensuite, on mesure la hauteur, dans l'éprouvette normalisée, du sédiment H1, et du sédiment + flocculat H2. Le résultat:

$$ES_v \% = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \quad , \quad ES \% = \frac{h_1}{h'_2} \times 100$$

ES: équivalent de sable mesuré au piston

ES_v : 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

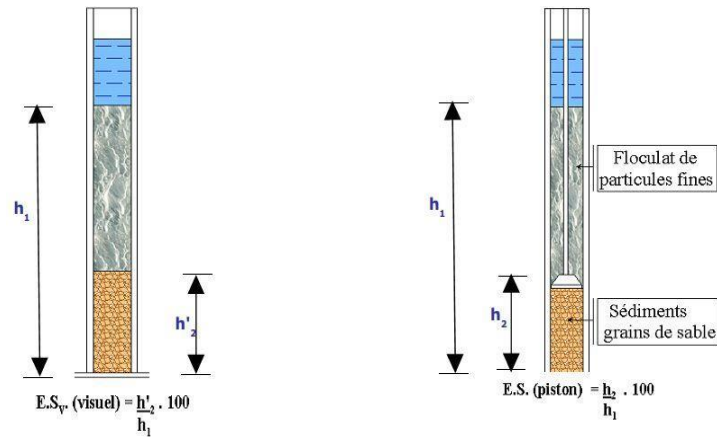


Figure I.6: Principe de l'essai d'équivalente de sable.

Tableau I.2: valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX

$ES_v < 65$	$ES_p < 60$	Sable argileuse ; à rejeter pour des bétons de qualité
$65 \leq ES_v < 75$	$60 \leq ES_p < 70$	Sable légèrement argileux ; admissible pour des bétons de qualité courante
$75 \leq ES_v < 85$	$70 \leq ES_p < 80$	Sable propre à faible pourcentage de fines argileuse ; convenant parfaitement pour des bétons de qualité
$AS_v \geq 85$	$ES_p \geq 80$	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) [19]

I.5.4. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage : d'après **la norme NF EN 1008**, il joue deux fonctions principales: Confère au béton sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent) ;
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs à condition de vérifier aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâche à l'Aure, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation ;
- Les eaux de pluie et ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également. A côté, les catégories d'eaux .

devant pas être utilisées comprennent :

- Les eaux usées ; les eaux vannent ou contenant des détergents ;
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques ;

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur nocivité avant l'emploi.

I.5.5. Les adjuvants

I.5.5.1. Définition

Il y a déjà longtemps on a remarquées et étudiées l'action sur les bétons de ciment de certains produits employés en faibles quantités. Cependant, ce n'est que depuis une trentaine d'années que sont apparus, de plus en plus nombreux sur le marché, des produits d'addition couramment désignés maintenant sous le nom. « D'adjuvants ». On peut admettre qu'en France la proportion de béton « adjuvantes » dépasse 10 %. [16]

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange.

I.5.5.2. Classification des adjuvants :

On peut classer les adjuvants selon leur fonction, dans les catégories suivantes :

- ❖ les super plastifiants
- ❖ les retardateurs
- ❖ les accélérateurs
- ❖ les agents de mouture
- ❖ les hydrofuges

Les domaines d'application sont les suivants :

- Béton prêt à l'emploi BPE
- Bétons pompés
- Bétons pour ouvrages de masse
- Coulage du béton en continu
- Coulage de béton par temps chauds
- Transports sur longues distances

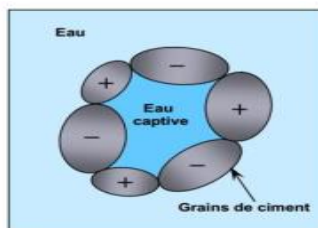


Figure I.7 Pate de non adjuvante :
Floculation de grains

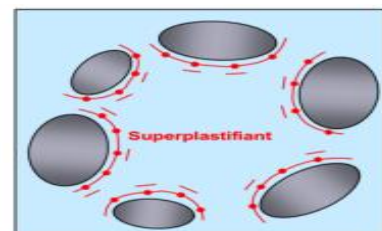


Figure I.8 Pate de ciment additionnée
d'un super-plastifiant : dispersion des

1.6. Rôle des différents éléments constituant le béton

• **Ciment:** c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.

• **L'eau:** c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.

• **Les granulats:**

- **Les gravies :** ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydraté qui va "coller" les granulats.
- **Le sable:** il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.

• **Les plastifiants:** ils augmentent l'« ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton).

I.7. Formulations du béton

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance).

La formulation d'un béton se résume alors en quatre étapes majeures :

- Détermination de la dimension maximale des granulats ;
- Détermination de la courbe granulométrique optimale des granulats ;
- Détermination du dosage en eau et air, en fonction de l'objectif d'ouvrabilité ;
- Détermination du dosage optimaux en fines, qui sera en fractionner en ciment et addition, en fonction des objectifs de résistances, et en respectant les prescriptions relatives à la durabilité.

➤ **Les différentes méthodes de composition des bétons :**

- Méthodes de BOLOMY
- Méthodes de FAURY
- Méthodes de VALETTE
- Méthodes de JOISELE
- Méthodes de DREUX GORISSE

I.7.1. Méthode de Dreux-Gorisse

C'est la méthode de fabrication qu'on a utilisée dans notre étude, Cette méthode est la plus utilisée actuellement. Nous rappelons que cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié (précontraint), mais que seules quelques gâchis d'essai et la confection d'éprouvettes permettront

d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés.

➤ **Résistance souhaitée**

En général, on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique, il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours.

➤ **Résistance visée**

Par sécurité, la résistance visée, représente une majoration de 15% de la résistance désirée. Ainsi, la résistance visée.

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

➤ **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. (Annexe 2)

C : dosage en ciment (Kg /m³ de béton).

E : dosage en eau (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

- par la suite d'après le rapport C/E on détermine le volume d'eau comme suit :

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

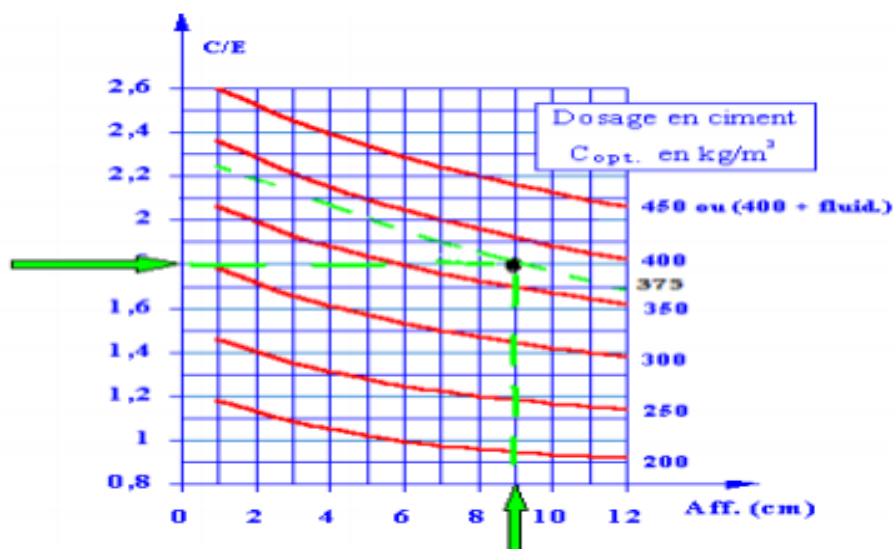


Figure I.9: dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

➤ **Le Traçage de la courbe granulaire de référence AOB :**

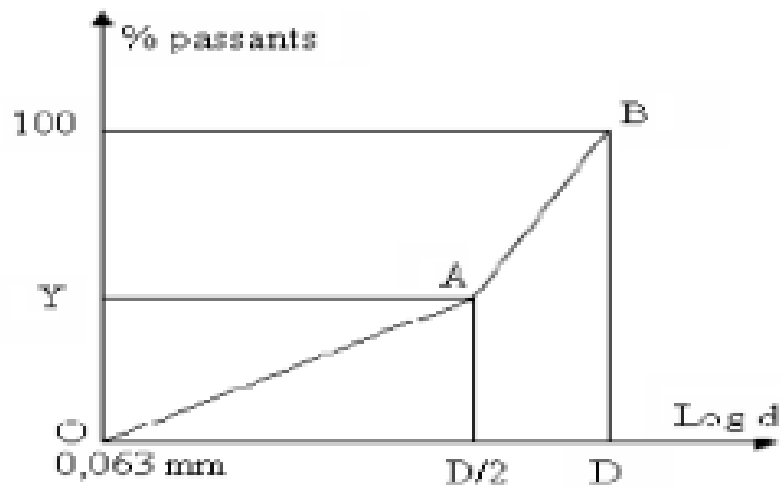


Figure I.10: La courbe optimale type selon la méthode Dreux Gorisse

- Sur le graphe d'analyse granulométrique, type AFNOR (pourcentage de tamisât en fonction du module ou diamètre de tamis) nous traçons une composition granulaire de référence OAB avec:

- 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 granulat).

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 granulat

K : un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. Voir Tableau II-28 chapitre II

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

➤ **La ligne de partage :**

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit

granulat au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulat.

Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

- Après le traçage de la courbe on obtient les pourcentages des granulats (sable et gravier).

➤ **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 1m^3 :

$$V_{\text{abs}} = V_s + V_g + V_c = 1\text{m}^3$$

V_{abs} : la masse absolue de ciment kg/m^3

V_s , V_g et V_c : le volume de sable, gravier et ciment respectivement d'un mètre cube du béton.

$V_c = C / V_{\text{abs}}$ soit, C : dosage en ciment (kg/m^3)

▪ 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 $V = (V_c + V_G)$

$$V = 1000 \times \gamma \quad (\text{en litre})$$

$$V_G = (1000 \times \gamma) - V_c.$$

V_G : volume absolu des granulats en litre ($V_G = V_g + V_s$)

γ : Coefficient de compacité

Volume de sable = Le pourcentage $\times V$

➤ **Détermination de la composition pondérale sèche en Kg**

-Masse de ciment : le dosage choisi

-La quantité d'eau : E par la formule (1)

-Masse de sable $S = V_s \times M_v \text{ abs}$

-Masse de gravier $G_{3/8} = V_G \times M_v \text{ abs}$

$$G_{8/15} = V_G \times M_v \text{ abs}$$

Finalement on trouve les quantités des masses de gravier, sable et eau et dosage de ciment pour un mètre cube de béton.

I.8.conclusion

Dans ce chapitre, nous avons expliqué la définition du béton et mentionné ses composants, types et domaines d'utilisation, car nous avons fait les essais plus importants qui sont effectués sur les composants et le béton à l'état frais et à l'état durci en mentionnant les étapes et les normes qui s'y rapportent.

Comme nous étions exposés aux méthodes les plus importantes utilisées pour calculer les proportions et les composants de la composition du béton, nous avons expliqué en détail la méthode de Dreux-Gorisse et ses étapes les plus importantes.

CHAPITRE II

CHAPITRE II

MATERIELS ET METHODES EXPERIMENTALES

II.1 Introduction

Ce chapitre décrit en détails tous les essais réalisés au cours de la présente recherche, les matériaux utilisés ainsi que les résultats de leur caractérisation en les comparants en respectons les normes utilisés .

Le programme expérimental utilisé dans notre études des bétons ordinaires à base de substitution 50 % de sable alluvionnaire avec sable issu du concassage du calcaire un de (sable sillico-calcaires) , Ensuite, nous séparons les fines de mélange, et le rajoutons dans des proportions suivantes : 6%, 8%, 10%, 12% et 14% pour confectionner les bétons B6, B8, B10, B12 et B14 respectivement, aussi le dosage en ciment et le super plastifiant fixées 400 Kg/m³ et 2% respectivement, Le béton témoin(B0) est le béton référence ,(à base de sable alluvionnaire), on a pu observer en suite le comportement des ces bétons à l'état frais et durci.

On a abordé aussi dans ce chapitre, la composition des différents bétons en adoptant la méthode de Dreux-Gorisse pour notre bétons ordinaires, en exposant finalement les quantités des contiens pour toutes les mélanges dans cette étude.

II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés :

II.2.1. le Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/B 42.5N de classe de résistance 42.5 Mpa produit par la cimenterie de LAFARGE, les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques et mécaniques sont données dans les tableaux suivants :



Figure II.1 : sac du ciment.

• **Caractéristiques physiques et mécaniques et chimiques du ciment utilisé . [annexe n° 02]**

➤ **Caractéristiques physiques :**

Tableau II -1 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normal	28	(%)	NF EN 196-3
Début de prise	150	(min)	NF EN 196-3
Fin de prise	188	(min)	NF EN 196-3
SSB	3750 - 5250	(Cm ² /g)	NF EN 196-6
Expansion	0.3 - 2.5	(g/cm ³)	NF EN 196-5
Retrait à 28 jours	< 100	(µm/mm)	NF EN 197-7

➤ **Caractéristiques mécaniques :**

Tableau II-2: Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment « 40×40×160 » mm » :

Résistance « MPA »	1J	2J	7J	28J
Compression	11.556	19.215	35.429	44.929
	11.444	20.447	35.906	45.057
Flexion	1.902	4.278	5.912	6.876

➤ **Caractéristiques chimiques :**

Tableau II-3 : Composition chimique du ciment utilisé.

Éléments	CaO	SiO ₂	AL ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	Chlorures	PAF	insoluble
%	61.90	15.80	4.15	2.31	2.80	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7-2

Tableau II-4 : Composition minéralogique du ciment utilisé.

Éléments	C3S	C2S	C3A	C4AF	CaO	gypse	pouzzolane
%	58	16	7	12	01	06	-

II.2.2. Eau de gâchage :

Eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au béton sa plasticité, donc son ouvrabilité. La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme **NF EN 1008**.

L'eau utilisée pour le gâchage du notre béton est de l'eau potable.

II.2.3. Sable :

Les sables utilisés pour la production de nos bétons sont : de mélange 50 % de sable naturel concassé (sable calcaire) a granulométrie 0/3 mm de carrière ben brahim de la zone hassi messaoud et 50 % sable naturel roulé de la zone **tébessa** a granulométrie 0/5 mm (sable alluvionnaire) .

Après mélangé les deux sables , nous obtenons un mélange de (sable sillico-calcaires «SSC ») , on a fait varier les taux des fines de se mélange : 6%, 8%, 10%, 12% et 14% on a obtenu les résultats des essais physiques et d'analyse granulométrique suivants de chaque taux .

II.2.3.1. Sable alluvionnaire (sable de Rivière) «SR »

Tableau II-5 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage matériau : sable de rivière de la zone Tébéssa «SR » masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	58,56	58,56	5,86	94,14
1.25	121,03	179,59	17,96	82,04
0.63	222,57	402,16	40,22	59,78
0.315	385,21	787,37	78,74	21,26
0.16	116,44	903,81	90,38	9,62
0.08	52,68	956,49	95,65	4,35
module de finesse "Mf" = 2,33				

selon % des refus et le module de finesse $Mf = 2,33$, on peut dire que le sable analysé est un sable de groupe (A= préférentiel Module finesse de 2,20 à 2,80) selon la norme **NF P 18 304**. (La mise en œuvre facile et la résistance élevée).

Tableau II-6 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.638	g/cm ³
masse volumique absolue	2.628	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	80.69	%

Tableau II-7 : caractéristiques chimique

L'élément chimique	Résultats %	Norme
Insolubles	99	NF P15-461
SO ₄ ⁻²	0.696	BS1377
NaOH	0.30	NF P15-461
CaCO ₃	0	

II.2.3.2. Sable calcaire concassé «SC »

Tableau II-8 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage matériau : Sable calcaire concassé «SC » de la zone Hassi Messaoud masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	58,2	58,2	5,82	94,18
1.25	164,6	222,8	22,28	77,72
0.63	132,39	355,19	35,52	64,48
0.315	126,62	481,81	48,18	51,82
0.16	137,17	618,98	61,9	38,1
0.08	171,79	790,77	79,08	20,92
module de finesse " Mf " = 1,735				

Selon le % des refus et le module de finesse $Mf = 1.735$, on peut dire que le sable analysé est un sable trop fin donc le béton ne sera pas bien ouvrable il y'a risque de ségrégation, donc il est nécessaire de faire une correction.

Tableau II-9 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.506	g/cm ³
masse volumique absolue	2.60	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	49.52	%

Tableau II-10 : caractéristiques chimique :

L'élément chimique	Résultats %	Norme
Insolubles	38	NF P15-461
SO ₄ ⁻²	0.620	BS1377
NaOH	3.31	NF P15-461
CaCO ₃	58.07	

II.2.3.3. Sable Sillico-calcaire «SSC » Naturellement

Tableau II-11 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC » masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	53.90	53.90	5.39	94.61
1.25	153.20	207.10	20.71	79.29
0.63	193.90	401.00	40.10	59.90
0.315	243.80	644.80	64.48	35.52
0.16	123.10	767.90	76.79	23.21
0.08	105.80	873.70	87.37	12.63
module de finesse " Mf " = 2.07				

Selon le % des refus et le module de finesse $Mf = 2,07$, on peut dire que le sable analysé est un sable de groupe (B = trop fin Module finesse de 1,80 à 2,20) selon la norme **NF P 18 304** (augmentation de dosage en eau alors la mise en œuvre facile mais la résistance du béton chute).

donc le béton ne sera pas bien ouvrable il y'a risque de ségrégation, donc il est nécessaire d'ajouter les super plastifiant pour faciliter la maniabilité du béton et éviter l'augmentation de dosage en eau et en fin assurer la résistance du béton élevée.

Tableau II-12 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.598	g/cm^3
masse volumique absolue	2.644	g/cm^3
Equivalent de Sable « ES »	72.64	%

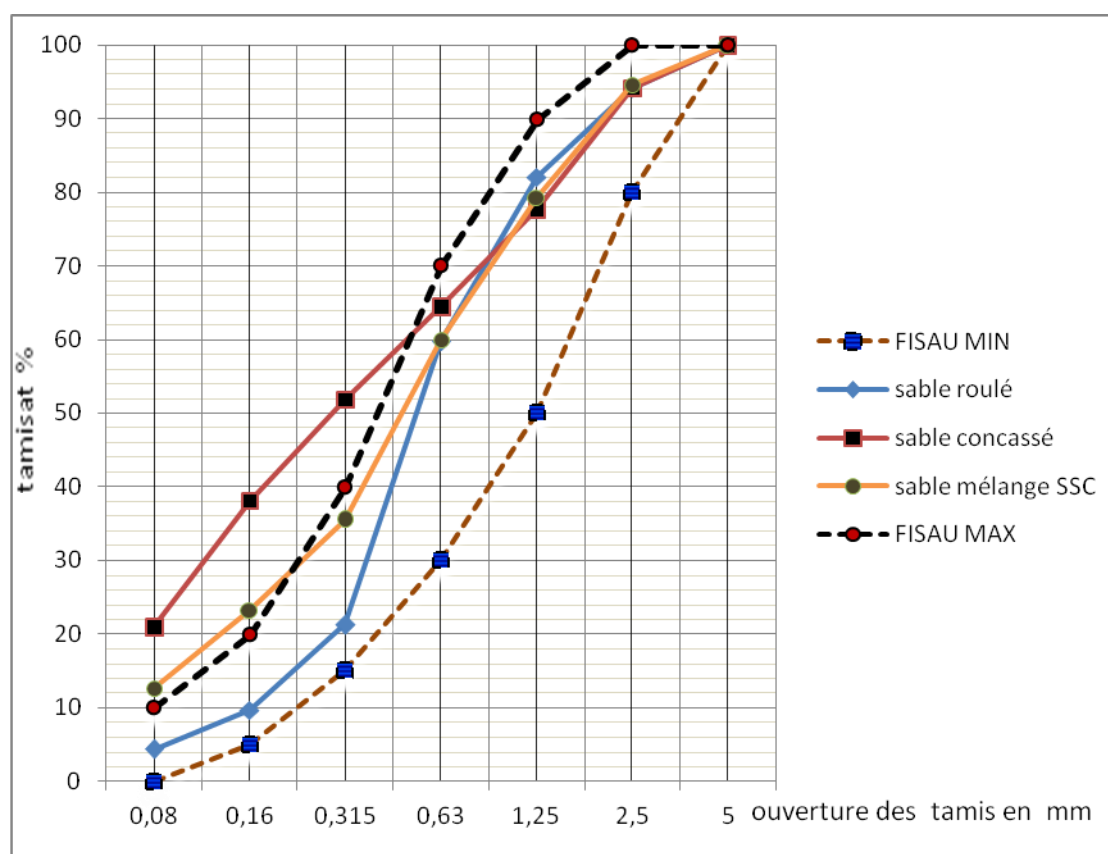


Figure II-2 La courbe granulométrique de mélange de trois types de sable (SR et SC et mélange de sable SSC «50 % SR + 50% SC »)

D'après les courbes granulométriques de la figure II-2 , on remarque qu'elles sont des tracés continuées, uniforme et étalée, qui nous confirme que le sable : (SR) présente une bonne granulométrie bien gradué, et qu'elle se situe dans le fuseau

recommandé par la norme NFP 18-560, et le sable concassé présente une bonne granulométrie bien gradué, mais qu'elle se situe dehors le fuseau depuis de les tamisât d'ouverture de tamis inferieure de 0.63 mm sont élevées.

Le sable (SC) présente une bonne granulométrie bien gradué, mais qu'elle se situe plus en moins dehors le fuseau depuis de les tamisât d'ouverture de tamis inferieure de 0.16 mm sont élevées.

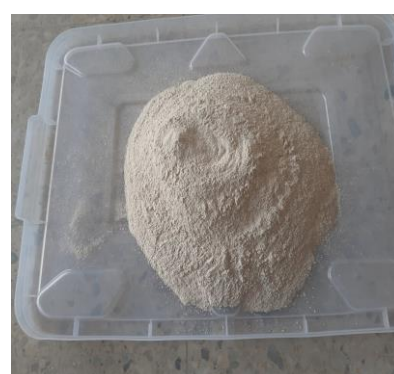


Figure II-3 : sable roulé 0/5 Figure II-4 sable concassé 0/3 Figure II-5 les fines de mélange ssc

II.2.3.4. Sable «SC » avec de variation le taux des fines

➤ Sable «SC » de 6% des fines

Tableau II-13 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC » masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	72.12	72.12	7.21	92.79
1.25	150.67	222,79	22.27	77,73
0.63	178.94	401.73	40.17	59.83
0.315	307.65	709.38	70.93	29.07
0.16	136.61	845.99	84.59	15.41
0.08	89.57	935.56	93.55	6.45
module de finesse " Mf " = 2.25				

Tableau II-14 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.596	g/cm ³
masse volumique absolue	2.633	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	76.66	%

➤ **Sable «SC » de 8% des fines**

Tableau II-15 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage				
matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC »				
masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	66.95	66.95	6.69	93.31
1.25	142.54	209.49	20.94	79.06
0.63	181.89	391.38	39.13	60.87
0.315	310.1	701.48	70.14	29.86
0.16	133.52	835.00	83.50	16.50
0.08	88.93	923.93	92.39	7.61
module de finesse " Mf " = 2.20				

Tableau II-16 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.610	g/cm ³
masse volumique absolue	2.638	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	75.60	%

➤ **Sable «SC » de 10% des fines**

Tableau II-17 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage				
matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC »				
masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	64.22	64.22	6.42	93.58
1.25	131.93	196.15	19.61	80.39
0.63	162.33	358.48	35.84	64.16
0.315	294.36	652.84	65.28	34.72
0.16	166.28	819.12	81.91	18.09
0.08	81.95	901.07	90.10	9.90
module de finesse " Mf " = 2.09				

Tableau II-18: caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.619	g/cm ³
masse volumique absolue	2.640	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	74.13	%

➤ **Sable «SC » de 12% des fines**

Tableau II-19 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage				
matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC »				
masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	67.98	67.98	6.79	93.21
1.25	133.77	201.75	20.17	79.83
0.63	164.00	365.75	36.57	63.43
0.315	287.36	653.11	65.31	34.69
0.16	136.88	789.99	78.99	21.01
0.08	94.91	888.49	88.84	11.50
module de finesse " Mf " = 2.07				

Tableau II-20 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.718	g/cm ³
masse volumique absolue	2.645	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	73.10	%

➤ **Sable «SC » de 14% des fines**

tableau II-21 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554

analyse granulométrique par tamisage				
matériau : Sable Sillico-calcaire «SSC »				
masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
6.3	-	-	-	-
5	0	0	0	100
2.5	67.45	67.45	6.74	93.26
1.25	129.05	196.50	19.65	80.35
0.63	163.69	360.19	36.01	63.99
0.315	272.02	632.21	63.22	36.78
0.16	140.73	772.94	77.29	22.71
0.08	90.56	863.50	86.35	13.65
module de finesse " Mf " = 2.02				

Remarques :

1- Selon le % des refus et le module de finesse a réduire de le valeur $M_f = 2,25$ pour le sable (SC) de 6 % des fines à le valeur $M_f = 2,02$ pour le sable (SC) de 14 % des fines, ainsi que l'augmentation des les masses volumiques apparente et absolue des valeurs ($M_{vabs} = 2.633 \text{ g/cm}^3$; $M_{vapp} = 1.596 \text{ g/cm}^3$) pour le sable (SC) de 6 % des fines aux valeurs ($M_{vabs} = 2.649 \text{ g/cm}^3$; $M_{vapp} = 1.728 \text{ g/cm}^3$) pour le sable (SC) de 14 % des fines, on peut dire que l'augmentation de taux des fines (SSC) de 6 % à 14 % Influera à déduire le module de finesse et croissante les masses volumiques absolue et apparente.

2- les valeurs pour l'équivalent de sable a tout des taux des fines (SSC) de 6% à 14 % sont réduire de 76.66% à 70.33 % respectivement, donc les valeurs d'équivalent de sable (SC) reste entre (70 % et 80 %) Selon la norme NF P18-541, donc, on a des sables propres.

Tableau II-22 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1.728	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.649	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	70.33	%

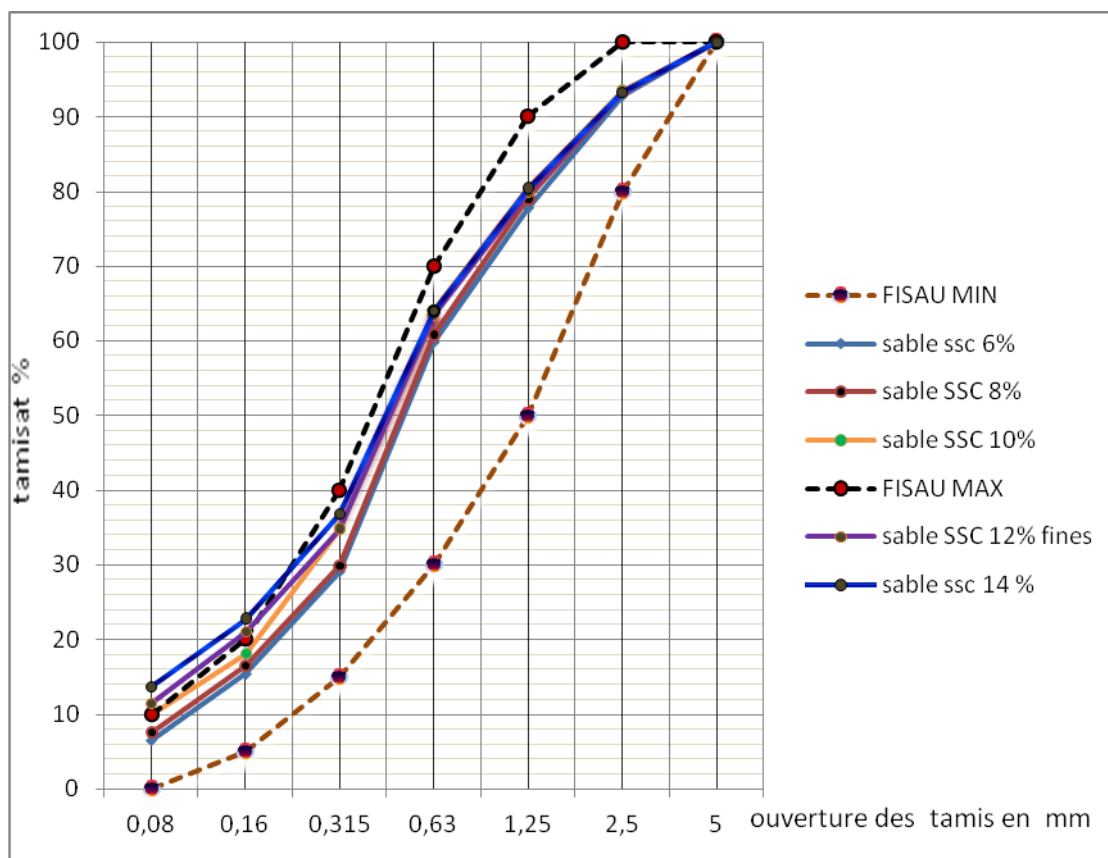


Figure II-6 La courbe granulométrique de mélange sable (SC) « 6 à 14 % de fines »

D'après les courbes granulométriques de la figure II-6, on remarque qu'elles sont des tracés continués, uniforme et étalée, qui nous confirme que les sables : (SC) contient de 6 à 14 % des fines présente une bonne granulométrie bien gradué, et qu'elle se situe dans le fuseau recommandé par la norme NFP 18-560, sauf les sables (SC) que contient les fines (SSC) supérieur ou égale à 12 % se situe plus en moins dehors le fuseau depuis de tamisât d'ouverture de tamis inférieure de 0.16 mm sont élevées.

II.2.4. Les Graviers

Les graviers utilisées sont des graviers de carrière **BEN BRAHIM** de la Zone Hassi Messaoud. Dans notre analyse nous avons utilisé deux type de gravier qui sont : le gravier 3/8 et le Gravier 8/15 .

➤ **Les Graviers 3/8**

Tableau II-23 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.308	g/cm ³
masse volumique absolue	2.620	g/cm ³
propreté superficielle	1.02	%
Los Angeles	27.60	%
coefficient d'absorption	2.5	%
coefficient d'Aplatissement	30	%

Tableau II-24 analyse granulométrie de graviers 3/8

analyse granulométrique par tamisage				
matériau : graviers 3/8				
masse sèche : 3000 gr				
ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulé	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

➤ **Les Graviers 8/15.**

Tableau II-25 : caractéristiques physiques

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1.381	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.654	g/cm ³
Propreté superficielle	0.87	%
Los Angeles	26.52	%
Coefficient d'absorption	1.21	%
Coefficient d'Aplatissement	17.13	%

Tableau II-26 analyse granulométrie de graviers 8/15

analyse granulométrique par tamisage				
matériaux: graviers 8/15				
masse sèche : 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



Figure II-7 Enchantions graviers utilisé 3/8 et 8/15

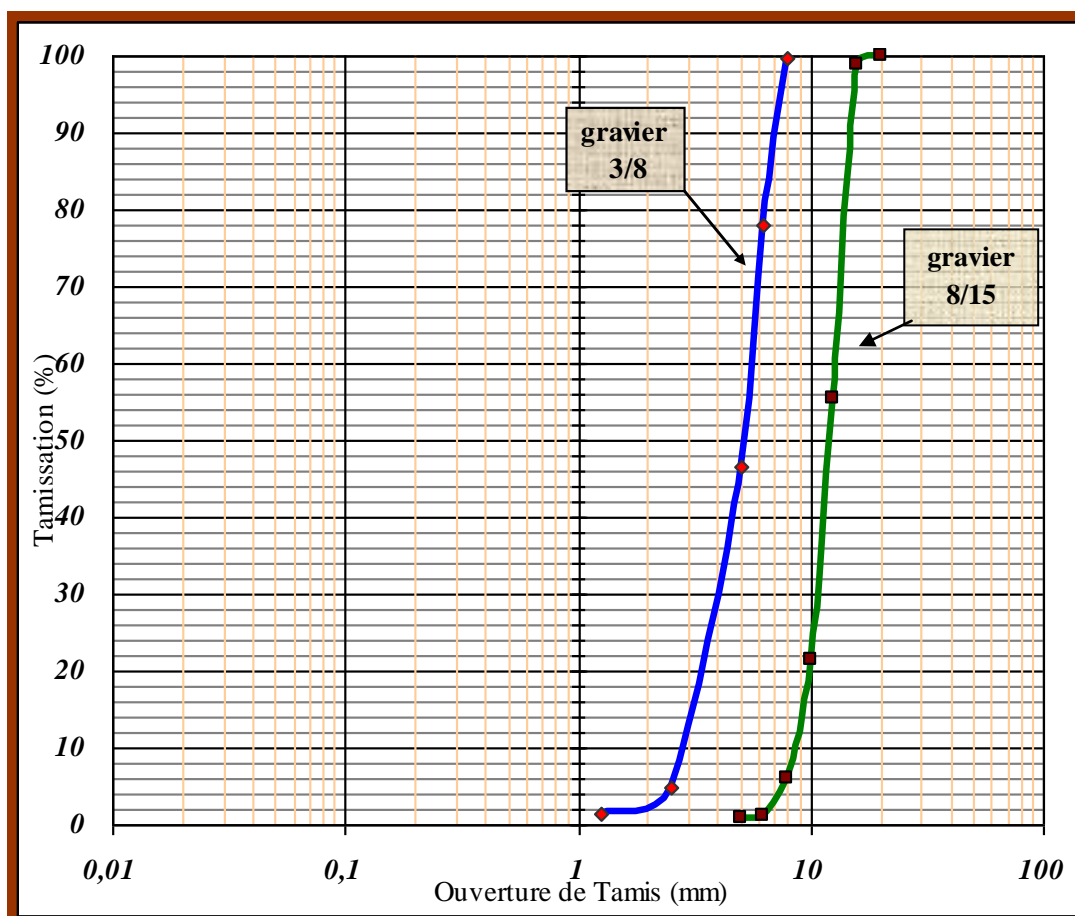


Figure II-8 La courbe granulométrique de graviers 3/8 et 8/15

La figure II-8 nous montre que les courbes des graviers 3/8 et 8/15 sont continues c.à.d. elles présentent de continuité dans la répartition granulaire, comme elles sont uniformes et qu'elles se situent à l'intérieur de leur fuseau de référence, qui nous assure la bonne répartition des granulats.

II.2.5. Les Adjuvants

•(Super plastifiant) NF EN 934-2

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 2% du poids de ciment permet d'améliorer certaines de ses propriétés.

L'adjuvant utilisé dans ce contexte, est un super plastifiant haut réducteur d'eau de forme liquide; couleur brai clair permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité il est fourni par l'entreprise GRANITEX et commercialisé sous le nom : MEDAFLOW 145, de densité 1.065 ± 0.015 , de PH entre 5-6 et de teneur en chlorure $< 1\text{g/l}$ et extrait sec $30 \pm 1,5\%$ conforme à la norme NF EN 934-2 et NA 774.

Le pourcentage autorisé par le fabricant est de 0,3 – 2,0% de poids de ciment soit 0,33 à 1,8 litre pour 100Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés. [ANNEXE 01]

Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 145 permet:

- Sur béton frais : Obtention d'un E/C très bas, béton plastique à fluides, une très bonne maniabilité, un long maintien de l'ouvrabilité et de faciliter la mise en œuvre du béton.
- Sur béton durci : Bonne résistance initial et finales, diminue la porosité, diminue le retrait et bel aspect de parement au décoffrage.

II.3. la Formulation des bétons

Pour définir un mélange optimal qui puisse assurer la résistance et la maniabilité désirée, nous avons utilisé la méthode de DREUX –GORISSE qui est utilisée pour la formulation des bétons par le laboratoire des travaux publics du sud (la zone d'el oued). Pour tracer les courbes nous, avons utilisé programmé « Excel ».

II.3.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse

1) Les Données pour le Mélange de sable sillico-calcaire .

Nous expliquerons en détail le mélange contenant 10 % des fines :

- On propose l'Affaissement ($A = 9$ cm) et le béton de vibration normale.
- Le ciment utilisé est un CEM II B 42.5.
- Les graviers concassés
- Le sable (50 % concassé 50% roulé) .
- $F_{c28} = \sigma_{28j} = 37$ Mpa ;
- σ_c (la résistance maximal de ciment) = 62.5 Mpa = 625 bars (cette valeur est le maximale de résistance du ciment utilisé à 28 jours) .
- M_f (module de finesse de sable utilisé) = 2.09

2) détermination de G (coefficient granulaire) D'après le tableau ci-dessous et égale à 0.45 .

Tableau II-27 : détermination de G (coefficient granulaire)

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins D≤16mm	Moyens (25 ≤ D ≤ 40 mm)	Gros (D≥ 63 mm)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne , courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

3) Résistance visée « σ'_{28j} » :

Par sécurité, la résistance visée « σ'_{28j} » est majorée de 15% par rapport à la résistance que nous souhaitons obtenir.

Ainsi, la résistance visée est obtenue comme suit :

La résistance désirée pour le béton à 28 jours est : $\sigma_{28j} = 37 \text{ MPa} = 370 \text{ bar}$

La résistance visée vaut alors:

$$\sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j} = 1.15 \times 37 = 42.55 \text{ MPa} = 425.5 \text{ bar}$$

4) Dosage en ciment et en eau :

$$C/E = \frac{\sigma'_{28j} + 0.5 * G * \sigma_c}{G * \sigma_c}$$

$$C/E = \frac{425.5 + 0.5 * 0.45 * 625}{0.45 * 625}$$

$$C/E = 2.01$$

Remarque

l'augmentation du pourcentage des fines entraînera une augmentation de la zone spécifique de l'agrégat, et par conséquent, il faut ajouter le super plastifiant et éviter l'augmentation de l'eau ou profiter de la réduction de celui-ci en raison de la grande efficacité que le super plastifiant joue dans l'amélioration de l'efficacité opérationnelle du béton.

Sur cette échelle, Notre étude a modifié le taux des fines (sillico- calcaire) dans le mélange . pour améliorer la maniabilité du notre béton frais, nous avons ajouté le super plastifiant au mélange , en fonction de la réduction le rapport E/C au la valeur 0,4 => $C/E = 2.5$.

- la valeur de l'affaissement au cône (ouvrabilité) choisie , et en utilisant l'abaque ci-dessous.

- La valeur du dosage en ciment C , faire une intersection est entre deux courbes.

- on obtenu La dosage en ciment égale à **400 kg/ m3 + 2 % super plastifiant.**

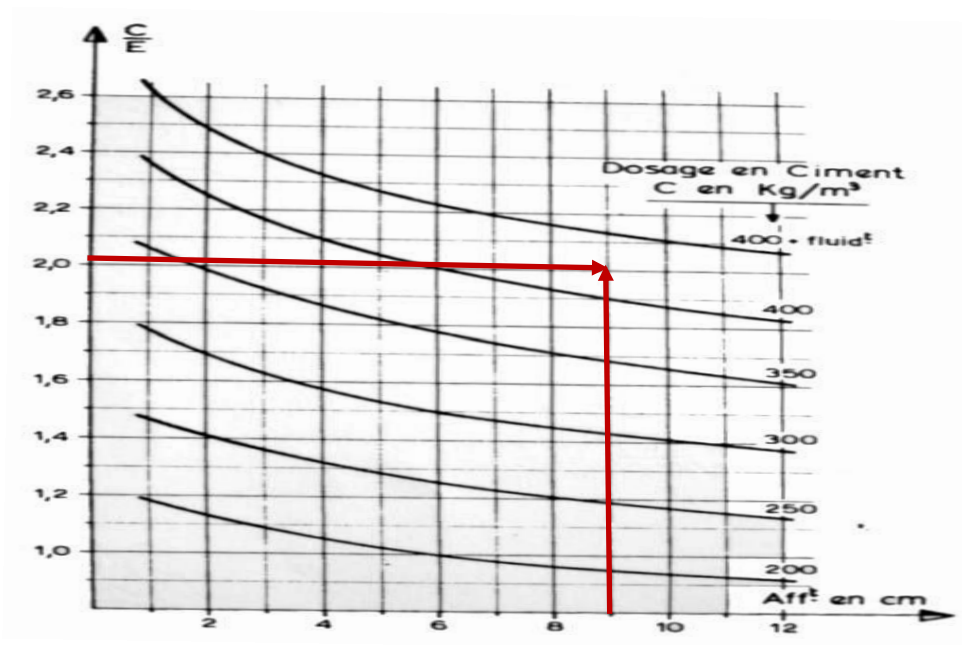


Figure II-9 La l'abaque relatif l'affaissement a dosage du ciment

- La valeur en Eau est calculé comme suit :

$$E = \frac{C}{E/C}$$

$$E = \frac{400}{2.5} = 160 \text{ litres}$$

5) Traçage de la courbe granulaire de référence (OAB):

Sur le graphe de l'analyse granulométrique du sable et graviers a utiliser pour la fabrication du béton, on trace la courbe de la composition granulaire de référence (OAB) .

Le point O de la courbe sera placé à l'origine (0,0).

Le point B de la courbe aura pour ordonnée 100% tamisât, et a l'abscisse la dimension D du plus gros granulat.

Le point de brisure A aura pour coordonnées:

$$X = D/2 \quad \text{si } D \leq 20\text{mm}$$

$$X = \text{milieu du segment } [5\text{mm}, D] \text{ si } D > 20\text{mm.}$$

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

➤ *Calcul de X_A*

On a $D \leq 20\text{mm}$ Donc $X_A = D/2 = 16 / 2 = 8 \text{ mm}$

➤ *Calcul de Y_A = 50 - √d + k + k_s + k_p (k_p=0)*

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats et du module de finesse du sable.

Tableau II-28 : donnant les valeurs du terme correcteur K [Dreux Festa1998]

puissante		Normal		Faible		Vibration	
concassé	Roulé	concassé	Roulé	concassé	Roulé	Forme 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	

Notre granulats utilisé sont concassé et roulé donc :

$$K = (-2 -4) / 2 = -6 / 2 = -3$$

$$k_s = 6Mf - 15 = 6 \times 2.09 - 15 = -2.64$$

$$Y_A = 50 - \sqrt{16} - 3 + (-2.64)$$

$$Y_A = 40.54$$

6) Traçage de la courbe granulaire Voir l'Annexe N° 06

7) détermination en pourcentages des matériaux secs :

Après le traçage de courbe en déterminée la pourcentage de sable et graviers :

Sables = 31.1 % ; Gravies 3/8 = 9 % ; Gravies 8/15 = 59.9 %

8) Détermination en volume des matériaux secs

Tableau II-29 : La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton en cinq groupes :

classe	Affaissement (mm)	aspect
S1	10 à 40	ferme
S2	50 à 90	plastique
S3	100 à 150	Très plastique
S4	160 à 210	fluide
S5	≥ 220	Très fluide

a) détermination du volume absolu "V" de l'ensemble des granulats ,y compris le ciment :

$$V = 1000\gamma \text{ (en litres)}$$

(γ coefficient de compacité, voir tableau ci-dessous)

Tableau II-30 : les valeur de coefficient de compacité γ

Consistance	Serrage	valeur de coefficient de compacité γ						
		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

Nota ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes :

➤ Sable roulé et gravier concassé = -0.01

➤ Sable et gravier concassé = -0.03

Dans notre cas le sable est (50% roulé + 50% concassé) et gravier concassé

$D_{max} = 16 \text{ mm}$ entre 12.5 et 20mm

Alors : $\gamma = (0.815 + 0.825) / 2 = 0.820 - 0.02 \Rightarrow \gamma = 0.800$

Donc : la volume absolu de matériaux secs : $V = 1000 \gamma = 0.800 \times 1000 = 800 \text{ litres}$

b) détermination du volume absolu "Vc" du ciment

*Volume absolu du ciment:

Ciment $V_c = C/3.1 \Rightarrow V_c = 400/3.1 = 129.03 \text{ L/m}^3$

Avec C: dosage en ciment en (kg) .

- La valeur de **3,1** (gr/cm³) c'est la masse volumique absolu de ciment.

c) détermination du volume absolu "Vgt" des granulats:

* $V_{gt} = V - V_c$ (en litre) $\Rightarrow V_{gt} = 800 - 129.03 = 670.97 \text{ L/m}^3$

d) détermination du volume absolu "Vs" du sable:

* $V_s = V_{gt} \cdot \% \text{ sable (en litre)}$ $\Rightarrow V_s = 670.97 \times 31.1 / 100 = 208.672 \text{ L/m}^3$

e) détermination du volume absolu "Vg" du gravier 3/8 :

* $V_g = V_{gt} \times \% \text{ gravier (en litre)}$ $\Rightarrow V_g = 670.97 \times 9 / 100 = 60.387 \text{ L/m}^3$

f) détermination du volume absolu "VG" du gravier 8/15:

$V_G = V_{gt} \cdot \% \text{ gravier (en litre)}$ $\Rightarrow V_G = 670.97 \times 59.9 / 100 = 401.911 \text{ L/m}^3$

9) Détermination du dosage en matériaux : (pour 1 m³ de béton):

- dosage en sable sera : $S = V_s \cdot \gamma_s$ (en kg).

$$\Leftrightarrow \text{Sable : } S = V_s \cdot \gamma_s = 208.672 \cdot 2.640 = 550.894 \text{ kg /m}^3$$

- dosage en gravier 3/8 sera $g = V_g \cdot \gamma_g$ (en kg).

$$\Rightarrow \text{Gravier } g = V_g \cdot \gamma_g = 60.387 \cdot 2.62 = 158.214 \text{ kg /m}^3$$

- gravier 8/15 : $G = VG \cdot \gamma_G$

$$\Rightarrow G = 401.911 \cdot 2.654 = 1066.672 \text{ kg/m}^3$$

10) Récapitulatif des dosages en kg/m³

✓	Sable	:	550.894	kg /m ³
✓	Gravier 3/8	:	158.214	kg /m ³
✓	Gravier 8/15	:	1066.672	kg /m ³
✓	Ciment	:	400	Kg/m ³
✓	Eau	:	160	Kg//m ³
	Total (Δ)	=	2335.780	Kg/m ³

(Δ: densité théorique du béton frais mise en œuvre).

$$\gamma_b = \Delta / 1000 = 2335.780 / 1000 = 2.336 \text{ g/cm}^3$$

Le tableau suivant résume les résultats du dosage au matériaux pour chaque béton par méthode Dreux-gorisse :

Tableau II-31 : les résultats du dosage au matériaux pour chaque béton

Sym de béton	Nom de béton	Pourcentage de granulats en %			dosage de chaque matériau en kg/m ³					Masse volum g/cm ³
		sable	g3/8	G8/15	sable	g3/8	G8/15	C	E	
B0	témoin	32.2	9.5	58.3	576.24	169.49	1053.63	400	160	2.359
B6	6% de fines	32	9	59	556.33	158.21	1050.33	400	160	2.324
B8	8% de fines	31	9.6	59.4	548.70	168.77	1057.81	400	160	2.335
B10	10% de fines	31.1	9	59.9	550.89	158.21	1066.67	400	160	2.336
B12	12% de fines	31.1	8.9	60	551.94	156.45	1068.45	400	160	2.337
B14	14% de fines	31	8.9	60.1	550.99	156.45	1070.23	400	160	2.338

II.4. Essais réalisés pour le béton à l'état frais

II.4.1 Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams

Cet essai est réalisé suivant la recommandation de la norme EN 12350-2 (EN 12350-2,1999), Il s'agit de donner l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids.

Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen d'une tige de piquage actionnée 25 fois par couche. Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieure du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage comme la montre la figure II-8 .

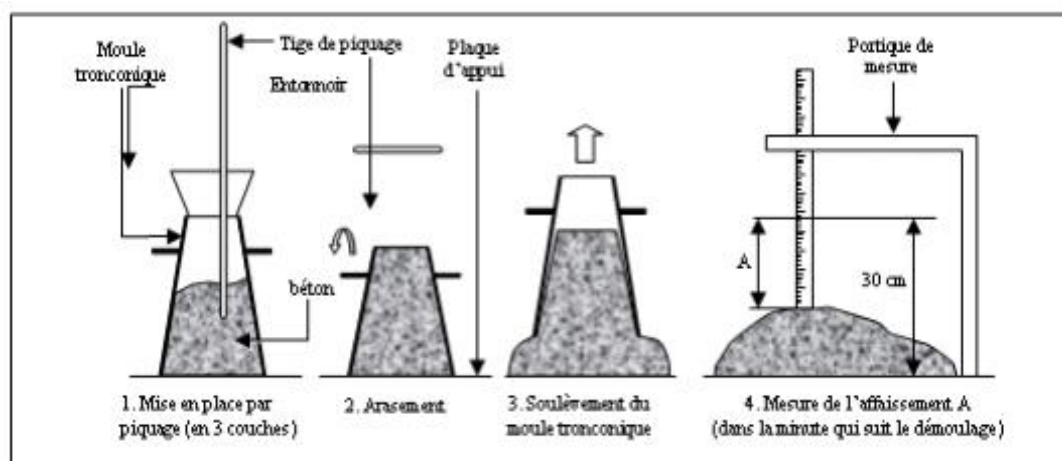


Figure II-10 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

La norme **NF EN 206** classe l'affaissement du béton en cinq catégories : voir Tableau II-29

II.4.2 Essai de la masse volumique

Le béton frais est compacté à l'aide d'une barre dans un conteneur rigide et étanche de volume de 5 l et de masse connus, suivant la spécification de la norme EN12350-6 (EN 12350-6,1999). La quantité du mélange est réparti en deux couches et doit soumettre à au moins 25 coups par couche. Pour éliminer les poches d'air piégé, après le compactage de chaque couche, on a tapoté les parois du conteneur de manière intelligente avec le maillet jusqu'à ce que les grosses bulles d'air cessent d'apparaître à la surface et que les dépressions laissées par la tige ou la barre de compactage soient éliminées.

Finalement la densité est calculée à partir de la formule :

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

Où

ρ : la masse volumique

m_1 : est la masse du conteneur, en kilogrammes;

m_2 : est la masse du conteneur plus la masse de l'échantillon du béton dans le conteneur, en kilogrammes;

V : est le volume du conteneur En mètres cubes .

II.5. Essais réalisés pour le béton à l'état durci

II.5.1 Essais mécaniques

II.5.1.1 Résistance à la compression et à la traction

L'essai de compression uni axiale est réalisé suivant 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 marque UTEST de 2000 kN puis soumise à un taux de chargement de 0,6 kN.s⁻¹ jusqu'à la rupture, l'éprouvette permet de calculer la résistance en compression comme suit :

$$R_c = F / a^2$$

Avec F : la charge maximale en N,

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

R_c : résistance a la compression

L'essai de traction par fendage est exécuté selon la norme EN 12390-6 « Essai pour béton durci – Détermination de la résistance en traction par fendage des éprouvettes ». Il consiste à appliquer suivant la génératrice d'une éprouvette cylindrique, un effort de compression sur une zone étroite. Les contraintes de traction orthogonales qui en résultent provoquent la rupture de l'éprouvette par traction. Celles-ci fournissent l'intensité de la résistance à la traction par fendage.

Les éprouvettes sont centrées sur la presse hydraulique UTEST de 2000 kN. L'effort est appliqué à travers des bandes de chargement et un taux de chargement de 0,6 kN.s⁻¹ .

La charge maximale qui provoque la rupture de l'éprouvette permet de calculer la résistance en traction par fendage suivant la formule :

$$f_{ct} = \frac{2 * P}{\pi * L * D}$$

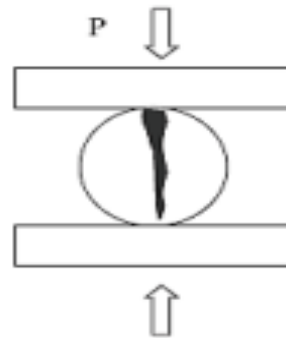


Figure II-11 essai de traction par fendage

avec : **fct** 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.

II.5.1.2 Résistance à la flexion

La résistance à la flexion a été effectuée sur des éprouvettes prismatiques du béton 7x7x28cm conformément à la norme NF EN 12390-5 (NF EN 12390-5, 1999). 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).

La structure globale est représentée sur la Figure I.17

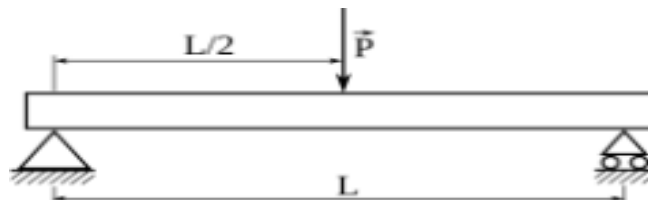


Figure II-12 essai de flexion

L'essai est de roulé comme suit:

- Placer l'éprouvette 7x7x28 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 la mise 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 :

$$R_f = 3PL / 2b^3$$

p : la charge ; L: longueur entre les appuis ; b : les dimensions (7 x 7 x 7) mm.

II.5.1.3 Essai ultrasonique

Le matériel utilisé est l'appareil à ultrasons «Proceq Pundit Lab» (Figure II-11).

Cet essai est réalisé suivant la norme **EN 12504-4** (EN 12504-4, 2004), le principe de l'essai est qu'une impulsion de vibrations longitudinales est produite par un transducteur électroacoustique maintenu en contact avec une surface du béton sous test. Après avoir parcouru une longueur de chemin connue dans le béton, l'impulsion de vibrations est convertie en un signal électrique par un deuxième transducteur et des circuits de synchronisation électroniques permettent de mesurer le temps de transit de l'impulsion.

Dans cette étude, nous avons testé des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm séchées jusqu'à masse constante dans l'étuve à 45°C , trois mesures sont faites sur des éprouvettes utilisées pour chaque formulation de béton. ces mesures sont faites aux échéances 7,28 et 60 jours.

Et après lecture directe du temps et la vitesse ultrasonique d'après l'écran (Photo II.7). ou procède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante : $V=L/T$ (m/s)

L : longueur de l'éprouvette



Figure II-13 Essai ultrasonique

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

II.5.1.4. Essais de mesure de la Porosité et Absorption d'eau

La perméabilité et la porosité accessible à l'eau sont des indicateurs majeurs de la durabilité des bétons. En effet, ces deux paramètres caractérisent l'aptitude du matériau à laisser pénétrer et circuler des agents agressifs, que ce soit en phase liquide ou bien en phase gazeuse.

II.5.1.4.1. la Porosité : ASTM - C642

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton parmi cette méthode, la norme **ASTM** désignation **C642** et la norme **NF P18-459** (mars 2010).

Le but de cette méthode est de déterminer pourcentage de volume des pores contenus dans l'éprouvette, afin de connaître l'influence de la structure interne du béton sur l'interconnexion des pores.

➤ Mode d'essai

1- Séchage la étuve a 105°C de l'échantillon, pendant au moins 24 heures, jusqu' a obtention d'une masse constante, afin de faire évaporé toute la quantité d'eau évaporable. Cette masse est note **M_{sec}**.

2- Émersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h

3- Chauffage jusqu' a évolution pendant 5 heures, puis pesage de l'échantillonage l'air (soit **M_{air}** ce point) puis pesage a l'eau (pesée hydrostatique, soit **M_{eau}** ce point).

➤ Calcul de la porosité accessible à l'eau

Calculer par la formule :

$$V_p = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \times 100$$

Où :

- **V_p** volume des vides (%),
- **M_{sec}** poids de l'échantillon après étuvage (g),
- **M_{air}** poids à l'air immersion (g),
- **M_{eau}** poids à l'eau immersion (g).



Figure II-14 séchage des éprouvettes dans le fours

II.5.1.5. Absorption capillaire

Le test de l'absorption capillaire a été effectué sur des échantillons des bétons immergés pendant 72 heures dans les eaux . Ces échantillons ont été sciés à partir des éprouvettes prismatiques 70×70×280 et ont de dimensions 70×70×70 mm.

Ce test a été réalisé selon la recommandation de l'Association Française de Génie Civil Le mode opératoire se déroule comme suit :

- Sécher les échantillons dans une étuve à 70°C jusqu'à une masse constante telle que $\Delta m/\text{jour} \leq 0.1\%$ pour assurer une dessiccation complète des échantillons.
- Imperméabiliser à l'aide de paraffine (ciré) toutes les faces extérieures des échantillons sauf la face qui sera étudiée et laisser jusqu'à séchage.
- Mesurer la masse sèche et placer les faces à étudier dans un bassin d'eau de 5 mm d'épaisseur.
- Mesurer la masse pondérale de l'échantillon dans le temps (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90) min, 24h, 48h, 72h.
- Déterminer la quantité d'eau absorbée.



figure II.15: L'essai d'absorption par capillarité

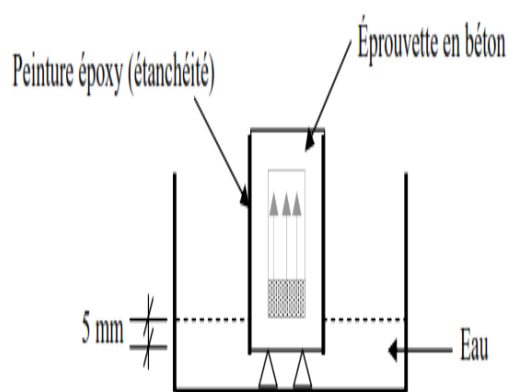


figure II.16: Principe de l'essai d'absorption par capillaire

Pour chaque échéance de mesure (t), le coefficient d'absorption capillaire est défini par la relation suivante :

$$C_t = \frac{M_t - M_0}{A}$$

Où :

- C_t est le coefficient d'absorption à l'échéance t (g/cm^2),
- A est la section de l'éprouvette (cm^2),
- M_t est la masse à une échéance t (g),
- M_0 est la masse initiale de l'éprouvette (g).

Notons que cette opération a été mesurée à chaque échéance citée précédemment.

II.6. conclusion

Nous avons résumé à ce chapitre après avoir effectué des essais expérimentales chimiques et physiques sur les deux sables utilisés (sable roulé et sable concassé), ainsi que sur le sable silico-calcaire, en incluant le gradient granulaire du sable mélangé (silico-calcaire) et avec changement du rapport des fines de (6%, 8%, 10%, 12%, 14%) nous avons observé l'augmentation de la masse apparente et l'absolue.

Aussi la diminution du module de finesse (M_f), cela a formulé le béton, ce qui a entraîné une augmentation de sa masse volumétrique.

CHAPITRE III

CHAPITRE III : ANALYSE ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

III. 1 Introduction

dans ce chapitre, nous présentés l'étude des résultats du comportement du béton substitution du 50 % du sable de rivière avec sable de calcaire, lors de la variation du pourcentages des fines de sable (SC) pour ce béton à l'état frais et à l'état durci avec une analyse de ces résultats, afin l'obtenir de pourcentage optimal de fines (SSC) et une formulation adéquate qui repent aux exigence de la résistance et de la durabilité.

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

III.2.1 Ouvrabilité

Les résultats de l'influence de la variation de fines du sable (sillico – calcaire) sur l'ouvrabilité des bétons confectionnés pour une dosage en eau et super plastifiant fixés sont présentés dans la figure III.1.

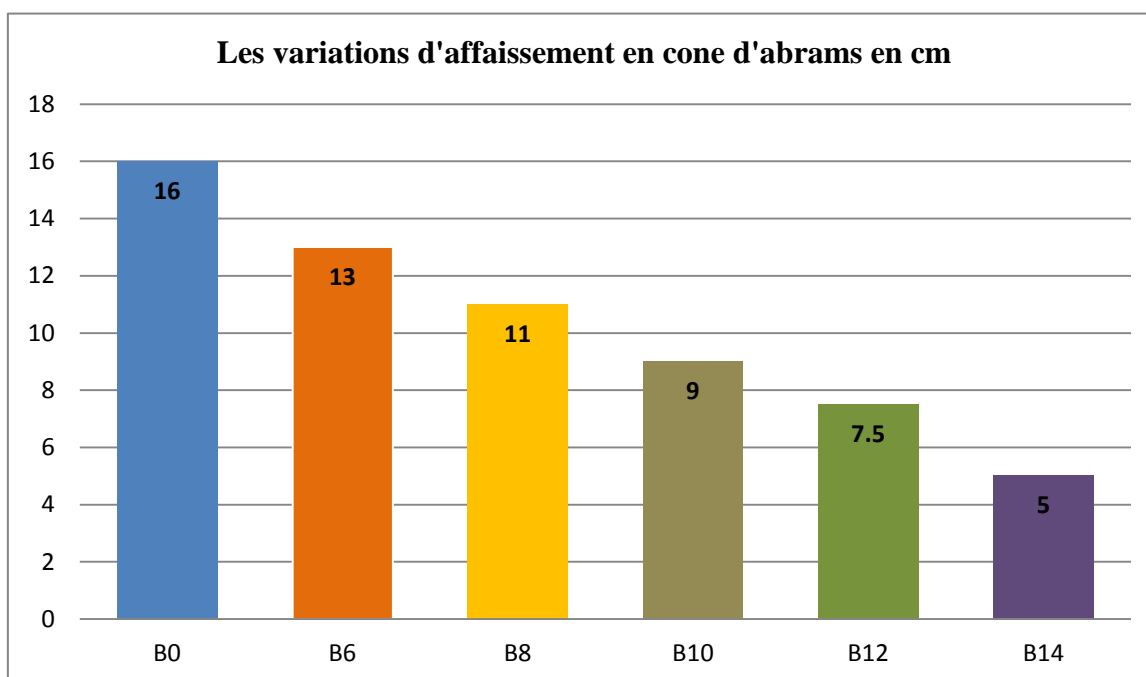


Figure III.1. L'effet de la variation du pourcentage de fines silico-calcaire sur l'ouvrabilité

Nous avons noté que l'augmentation de l'affaissement est proportionnel à diminution du pourcentage de fines (SSC) avec a rapport de d' E/C = 0.4 et un Super Plastifiant égale 2% par apport au poids du ciment .

Les causes probables de l'affaissement élevée de béton B0 (béton témoin) sont les suivantes :

- La diminution de pourcentage des fines de ce sable jusqu'à 4% .
- La forme géométrique (arrondie) des grains roulés .

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

la figure III.2 présente les résultats de la densité à l'état frais des différents béton a base de sable d'un pourcentage (silico –calcaire -50% -50%) avec la variation des pourcentages des fines .

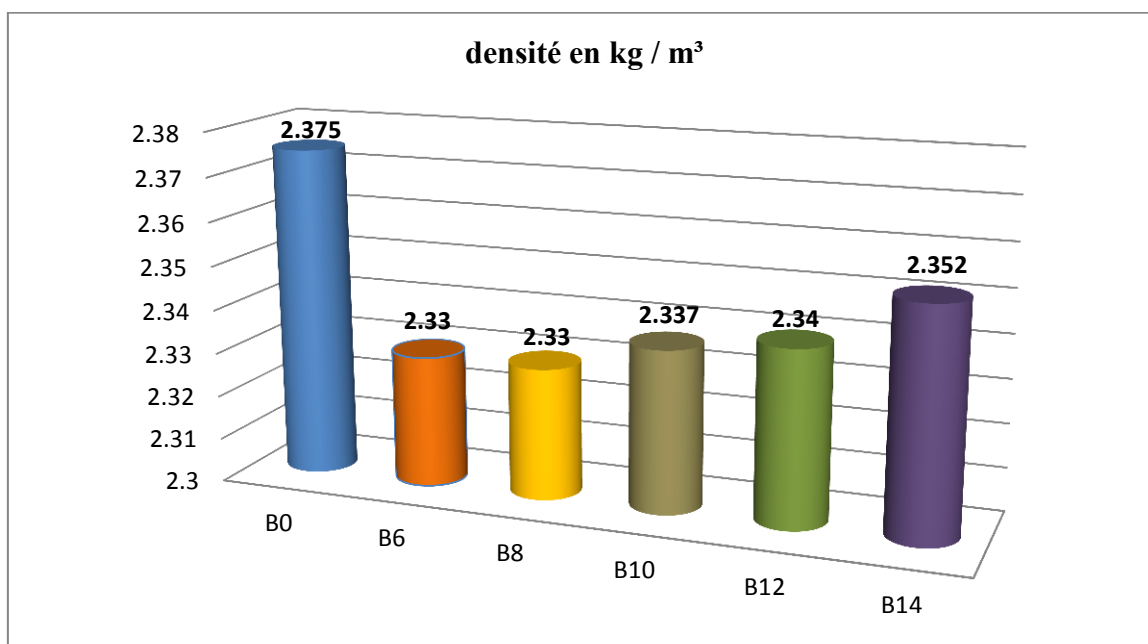


Figure III.2. Variation de la densité du béton en fonction de variation le taux de fines (silico – calcaire)

D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la densité avec l'augmentation de la teneur en fines pour le béton a base de sable (silico – calcaire).

Et pour cela a bon arrangement des grains , dû à l'élargissement du gradient granulaire, et conduit ainsi à obtenir du béton moins de vides.

on remarqué que le béton B0 (béton témoin) a base de sable rivières leur densité est élevé par –rapport au béton a base de sable (silico – calcaire), Nos attentes suggèrent que leur formulation avec le méthode de Dreux-gorisse.

III.3 Résultats du comportement physico-mécanique du béton a l'état durci

III.3.1. Essai de la compression

La résistance à la compression est une caractéristique primordiale des bétons et l'un des paramètres principaux de notre recherche. Cette dernière a été mesurée à différentes échéances. Elle représente la moyenne des résistances d'une série de trois éprouvettes cubiques soumises à l'écrasement.

Les résistances à la compression ont été suivies sur des éprouvettes de 10x10x10 cm soumis à une immersion continue à l'eau jusqu'au la jour d'écrasement , La Figure III.3 chaque type de béton avec âge (7 et 28 et 60) jours dans le but de prendre une pourcentage optimal des fines (SC) pour béton a base de sable (sillico-calcaire) et pour obtenir des meilleur résultats a résistance de compression .



Figure III.3. essai de compression

l'influence résultats de compression a base de variation les fines (silico-calcaire) pour le béton de sable « SSR » sont présentés dans le courbe de la figure III.4.

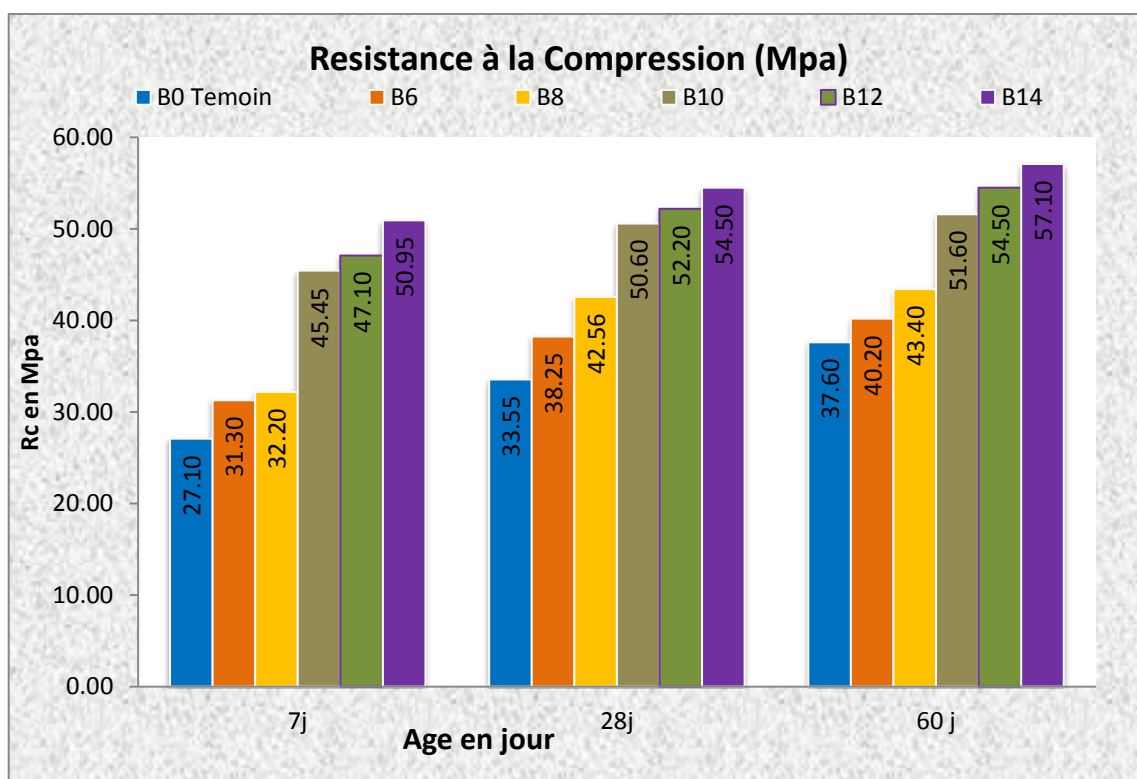
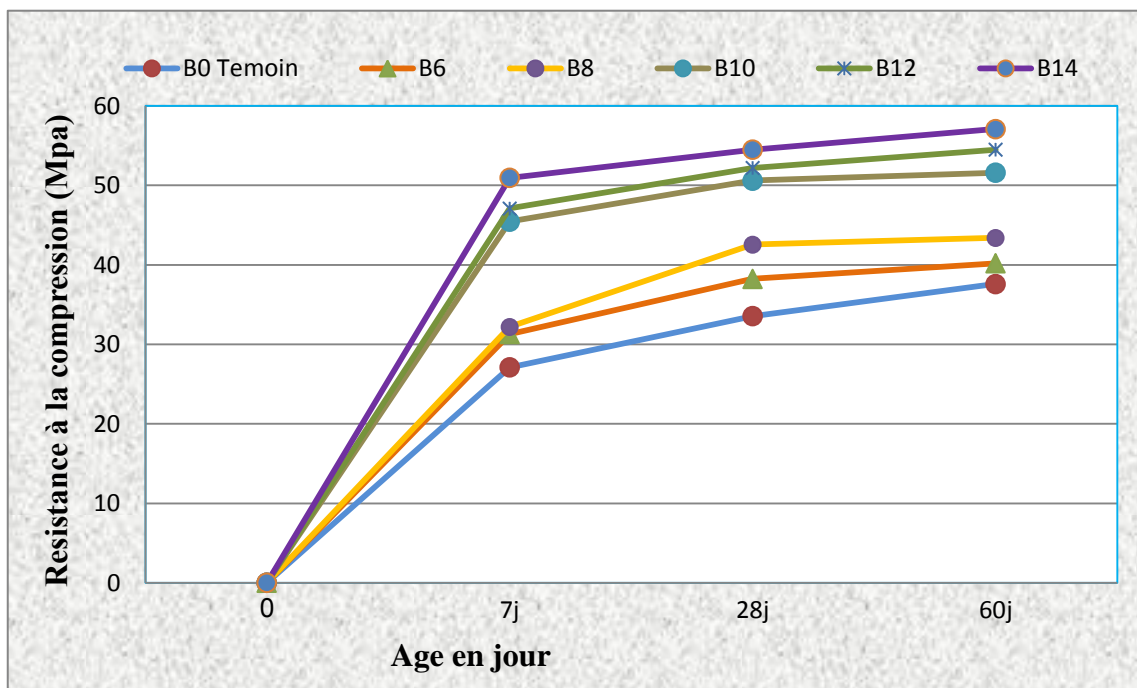


Figure III.4. Variation de la résistance à la compression du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire)

Après avoir vu les résultats de la compression, nous remarquons :

- qu'ils sont augmentés avec le temps, jusqu'à 28 jours, au delà de cette échéance et on remarque une petite évolution de la résistance mécanique à la compression .
- les résistances à la compression pour le béton à base de sable silico-calcaire sont meilleurs que le béton témoin (B0), en raison d'adhérence entre les grains.
- On remarquons que l'augmentation de la résistance à la compression de : **40.20 Mpa** à **57.10 Mpa** correspondant à l'augmentation du pourcentage de fines afin de les remplir des pores pour le béton à base de (SSC).

nous concluons que le béton qui contient de différents pourcentages des fines (SSC) (6% à 14 %) sont influent positivement sur la résistance à la compression.

notre résultats « **57.10 Mpa** » indiquent que le béton à 14% des fines de sable (SC) donne le meilleur résultat avec une pourcentage d'augmentation de la résistance en le comparant avec la valeur minimal de B0 « **37.60 Mpa** » est égale: 51.86 % , afin de réduire les pores et la cohésion entre les grains (SSC).

. III.3.2. Essai de flexion :

Pour effectuer cet essai, on a préparé trois éprouvettes prismatiques (7*7*28) (cm³) pour dans le but de prendre une valeur moyenne.

On teste chaque type du béton avec l'âge (7, 28 et 60) jours , dans le but de prendre un pourcentage optimal des fines (SC) pour le béton à base de sable (SC) et pour obtenir des meilleurs résultats à la résistance à la flexion .



Figure III.5. essai de flexion

l'influence des résultats de résistance à la flexion à base de variation des fines de sable (sillico-calcaire) pour le béton de « SSC » sont présentés dans la courbe de la figure III.6.

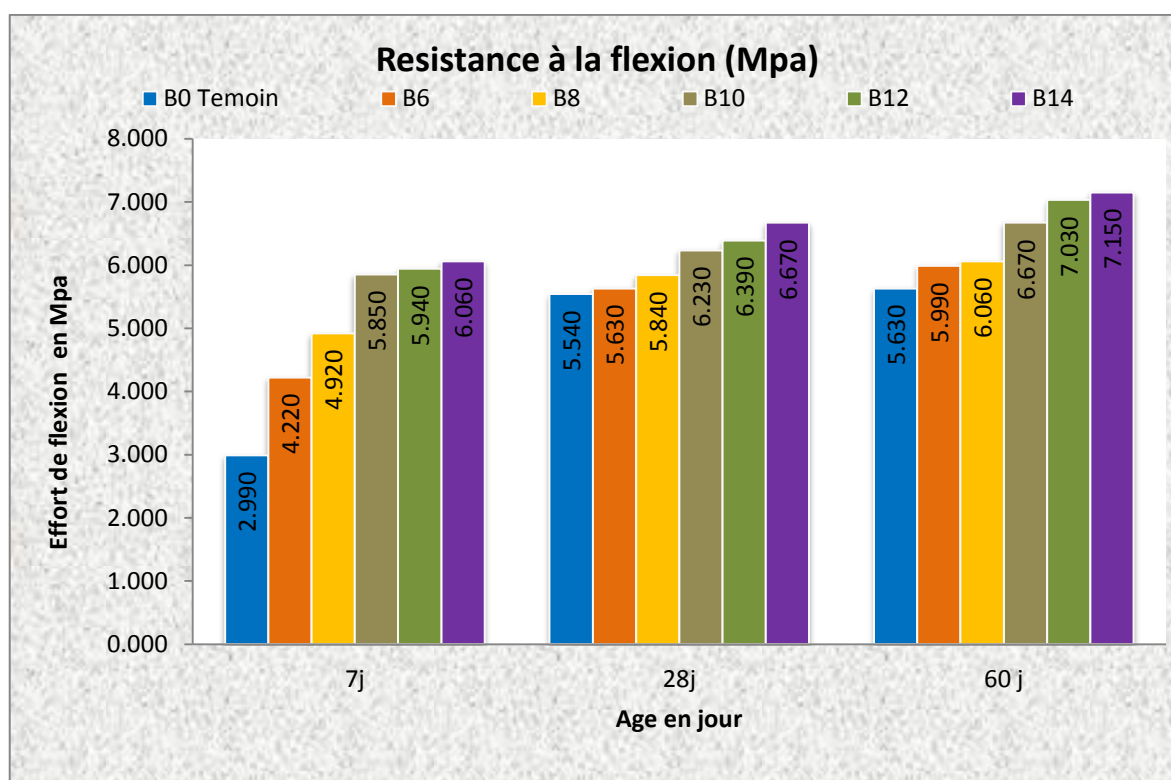
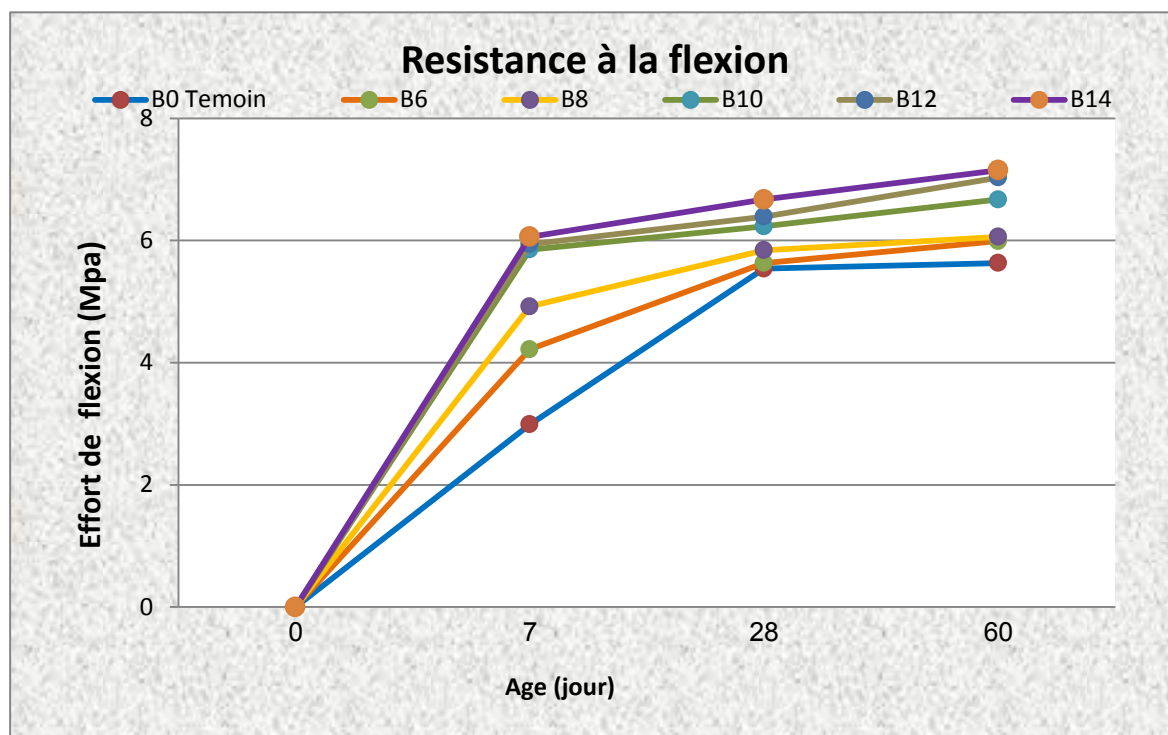


Figure III.6. Variation de la résistance à la flexion du béton en fonction de variation le taux de fines (SSC)

- Nous notons dans les types de béton (SSC) qu'il y a une augmentation rapide de la résistance à la flexion pendant les sept premiers jours de l'âge du durcissement de béton, puis

est ralenti jusqu'au 28^{ème} jour, quand elle commence à se stabiliser partiellement , Cela explique les étapes de l'hydratation la pate du ciment .

- Pour B0 (béton témoin), la résistance à la flexion augmente linéairement, jusqu'à ce qu'elle soit partiellement stabilisée, à partir du 28^{ème} jour.

- Nous avons remarqué que les résistances à la flexion pour le béton a base d'un sable silico-calcaire sont supérieures que le béton témoin, en raison de la forme angulaire des grains calcaire Qui en gendre de meilleur cohésion entre le granulats et la pate.

Nous concluons qu'il est un gain de la résistance à la flexion lorsque on commence d'introduire les fines dans ce type de béton jusqu'à la substitution de grains de sale avec 14 % des fines avec pourcentage d'augmentation de la résistance entre la valeur minimal de B0 et maximal B14 est égale: 27 % , afin de réduire les pores .

III.3.3. Essai de traction par fendage :

Cet essai Pour le but de déterminer la résistance a la traction par fendage , on a préparé trois éprouvettes cylindriques (11 cm, 22 cm) dans le but de prendre une valeur moyenne. On tester chaque type du béton avec l' âge (7 , 28 et 60 jour) jours , dans le but de prendre une optimal pourcentage des fines (SC) pour béton a base de sable (sillico-calcaire) et pour obtenir des meilleur résultats a résistance de traction par fendage .



Figure III.7. essai de traction par fendage

les résultats de résistance a traction par fendage a base de variation les fines (SSC) pour le béton de sable « SSC » sont présentés dans le courbe de la figure III.8.

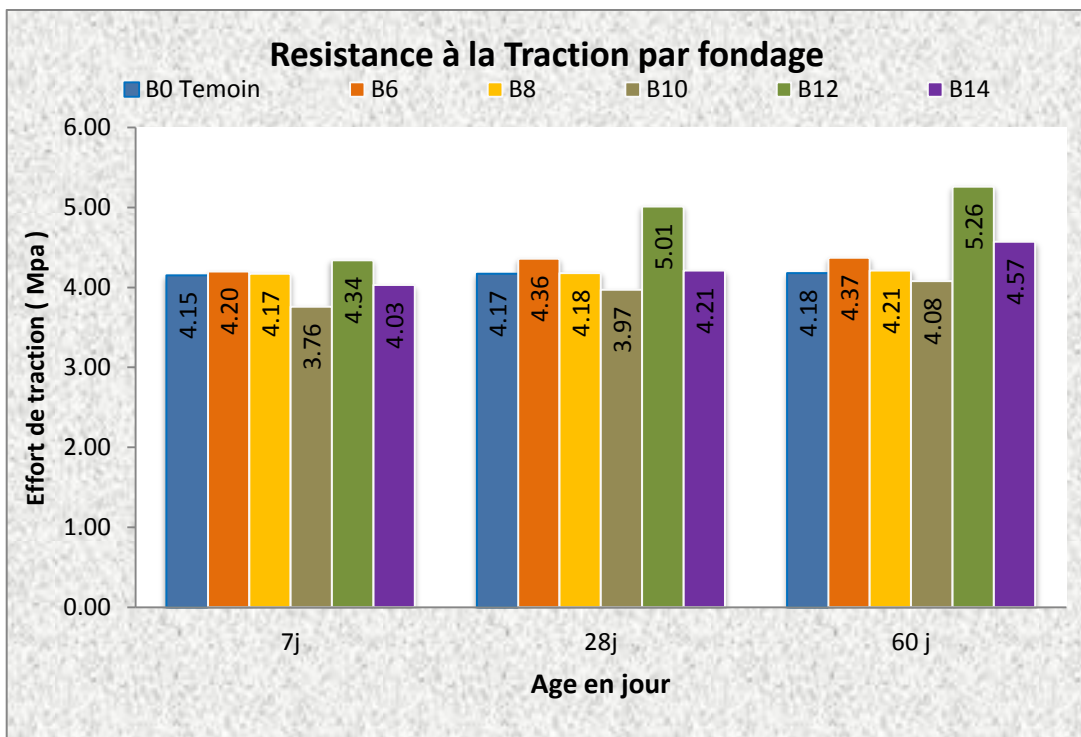
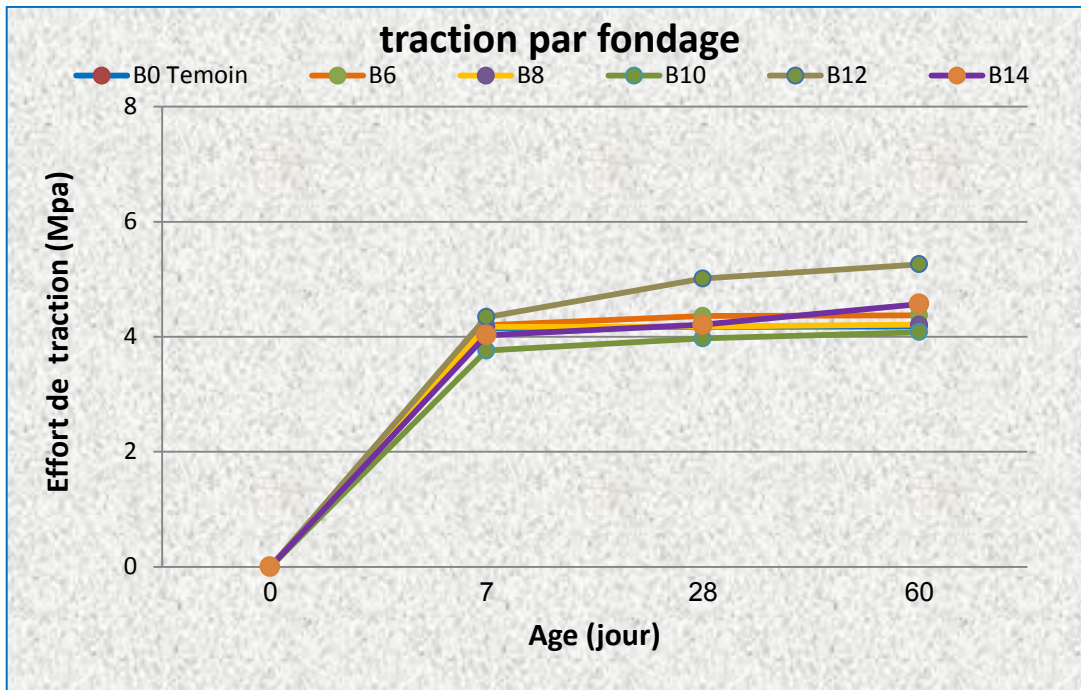


Figure III.8. Variation de la résistance à la traction par fendage du béton en fonction de variation le taux de fines (SSC)

Nous notons qu'il y a un développement progressif de la résistance à la traction par fendage au fil de temps jusqu'à 60 jours, avec une convergence des résultats enregistrés entre les différents types des bétons réalisés, y compris le béton témoin, mais le béton qui contient un pourcentage de 12 % des fines (SSC) a donné de meilleurs résultats dans toutes les échéances proposées en raison de la surface spécifique entre la dose réalisée du ciment ($400 \text{ kg} / \text{m}^3$) et les granulats qui sont convenables avec ce taux des fines et en fin une bonne cohésion entre eux.

III.3.4. Absorption capillaire

Le test de l'absorption capillaire a été effectué sur des échantillons des bétons à âges (28 et 60) jours, immergés pendant 72 heures dans les eaux. Ces échantillons ont été sciés à partir des éprouvettes prismatiques $70 \times 70 \times 280$ et ont des dimensions $70 \times 70 \times 70$ mm. Les résultats d'absorption capillaire pour le béton à différents pourcentages de fines (SC) et, présentés dans les courbes de la figure III.9 et III.10

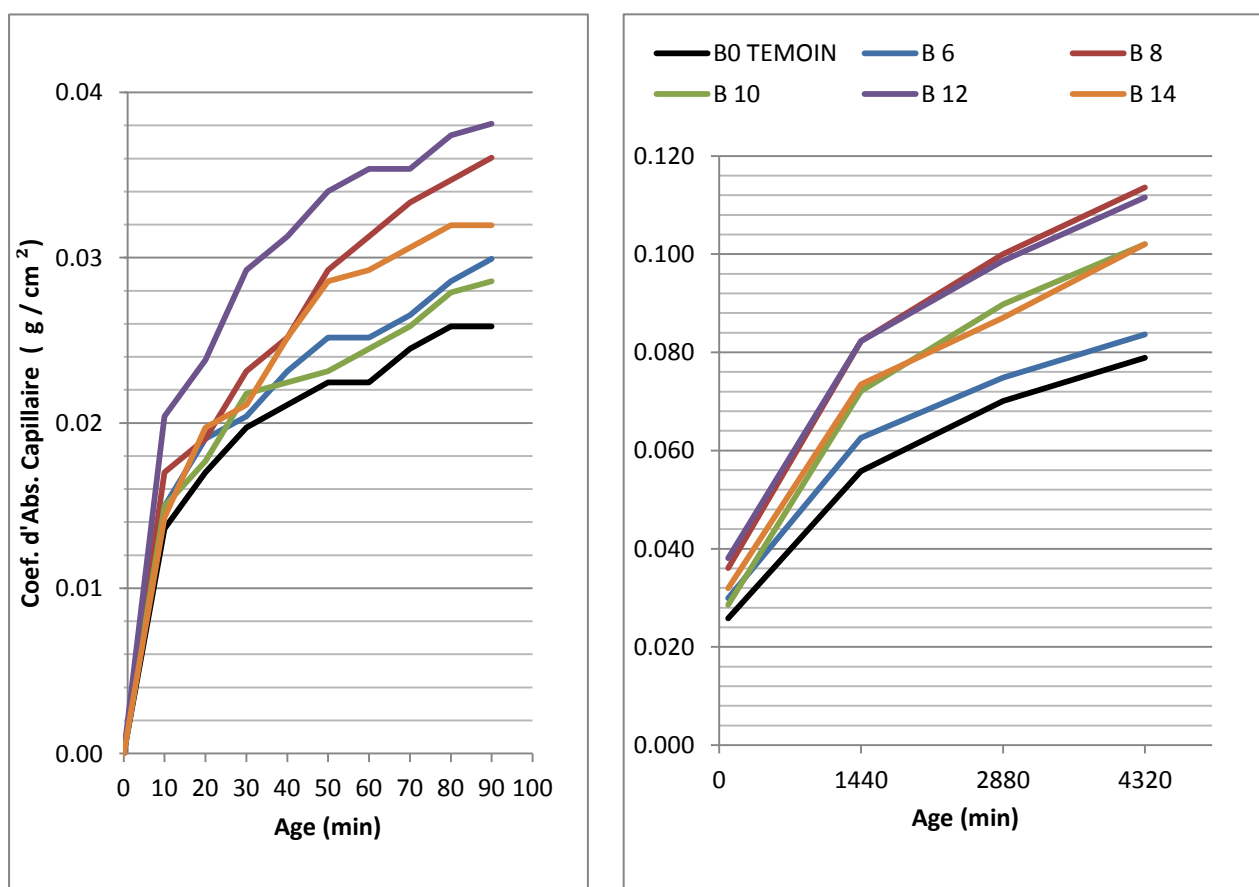


Figure III.9. Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de la variation du taux de fines (SSC) à l'âge de 28 jours

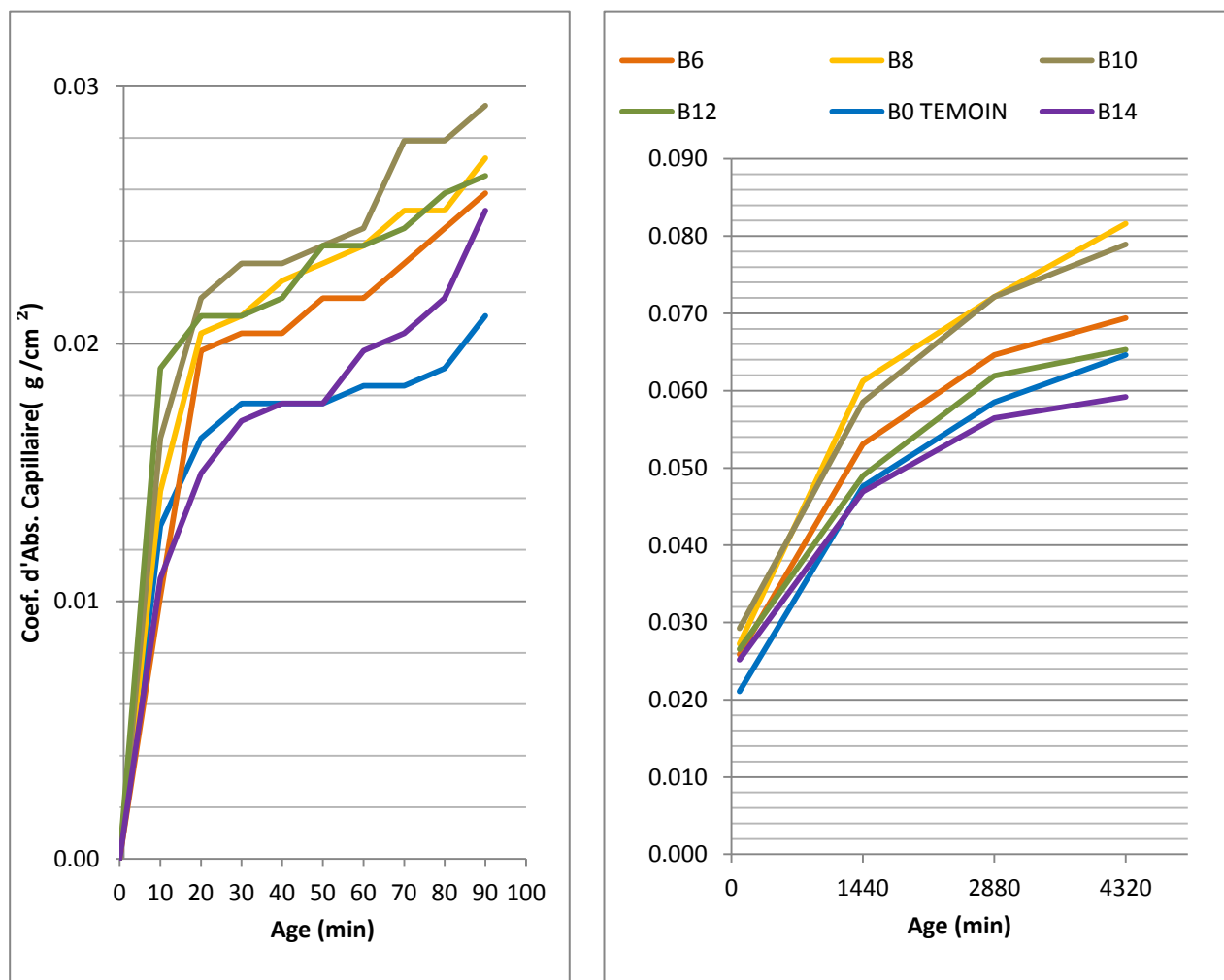


Figure III.10. Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de variation le taux de fines (SSC) a âge de 60 jours.

Nous avons observé à partir des résultats obtenus que le béton témoin est moins absorbable que le béton d'égale pourcentage silico-calcaire, en raison de la nature du sable calcaire plus d'absorption d'eau, sauf le béton à base de sable (SC) que contient de 14 % des fines (SSC) est moins d'absorption d'eau a cause de la fermeture les pores qui bloqué la montée de l'eau sur le béton.

III.3.5. la porosité

la figure III.11 montre les résultats de l'essai de la porosité (pourcentages des vides) ASTM C 642 .

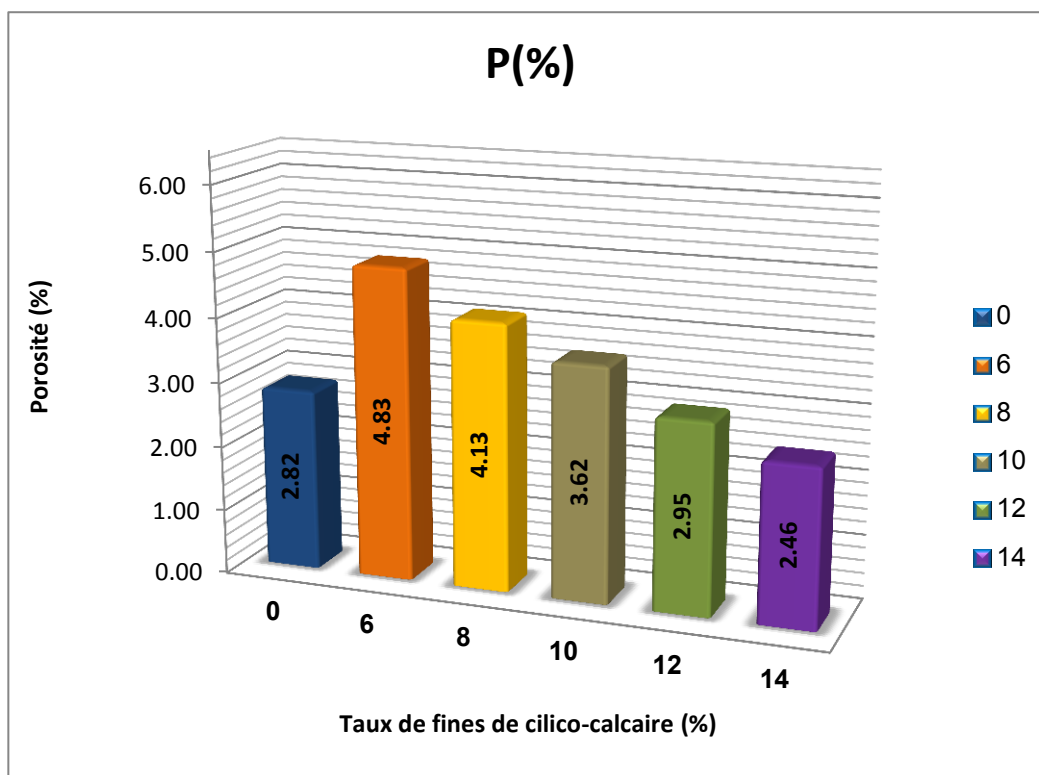


Figure III.11. Variation de porosité du béton en fonction de taux de fines (silico-calcaire)

D'après les résultats obtenus, on remarque une réduction de la porosité en fonction de l'augmentation de la teneur en fines pour le béton à base de sable (silico-calcaire), ce qui conduit à la fermeture des espaces inter granulaires.

Les valeurs obtenues nous indiquent que B14 est moins poreux que les autres bétons, plus le béton témoin à un pourcentage des pores presque comparable avec B14.

nous avons confirmé sans doute que le béton B6 a une porosité plus élevée que les autres.

Le béton B14 a une fermeture des vides de 2.37 % par rapport au béton B6, ce qui explique le rôle bénéfique des vides qui comblent les pores, dans ce sens nous disons que les grains de B0 sont moins orientés par rapport au B14.

La différence de pourcentage des fines.

La nature de répartition des grains de la forme arrondie pour le sable siliceux de béton B0, est plus répartie que la nature de répartition du béton du sable combiné (SSC) .

III.3.6. Essai ultrasonique

Cet essai Pour le but de déterminer l'impulsion de vibrations longitudinales est produite par un transducteur électroacoustique en contact avec une surface du éprouvettes de forme éprouvettes prismatiques (7x7x28) cm séchées sous test .

On tester chaque type du béton avec l'âge (7, 28 et 60 jour), dans le but de prendre une optimal pourcentage des fines (SC) pour béton a base de (SSC) sont présentés dans la figure III.12

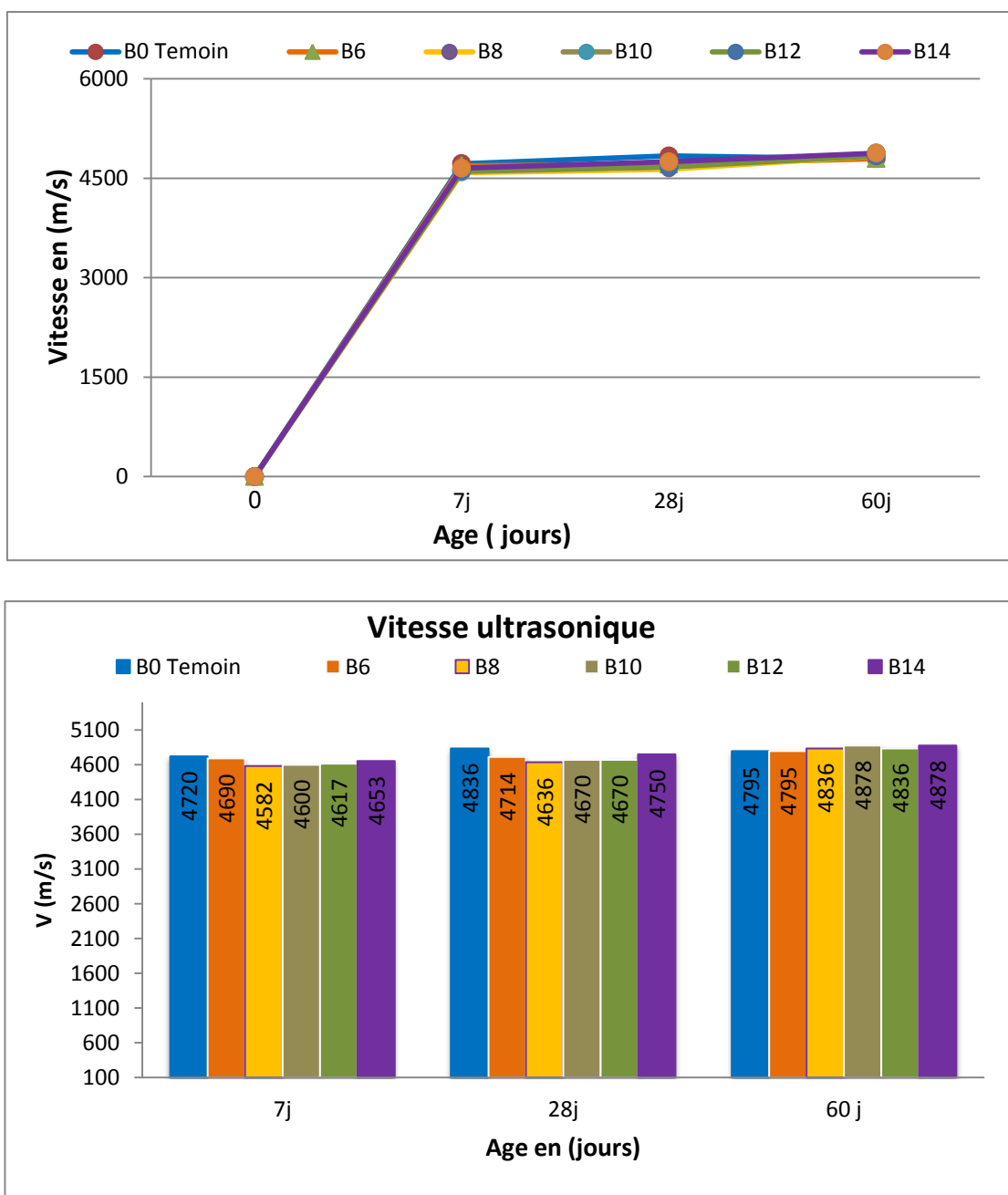


Figure III.12. L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines (SC) pour les différents types de béton à 7, 28 et 60 jours.

Nous avons remarqué que l'augmentation de pourcentage des fines de 14 % la vitesse ultrasonique est Croissance , et cela est dû le rôle de fines (SC) que jouez sur le remplissant des vides.

III.3.7. Analyse Statistique

III.3.7.1. corrélation entre la résistance mécanique à la compression et la Porosité dans un béton a base d'un sable silico-calcaire

La figure III.13, présente la courbe corrélatrice établie entre la résistance à la compression et de la porosité correspondante, et montre clairement qu'il ya une relation inverse à l'âge de 28 jour , la formule polynomiale suivante donne une estimation de la résistance mécanique de compression en fonction de la porosité :

$Y = -1.65x^2 + 4.90x + 52.50$ avec un coefficient de corrélation $R^2 = 0,95$.

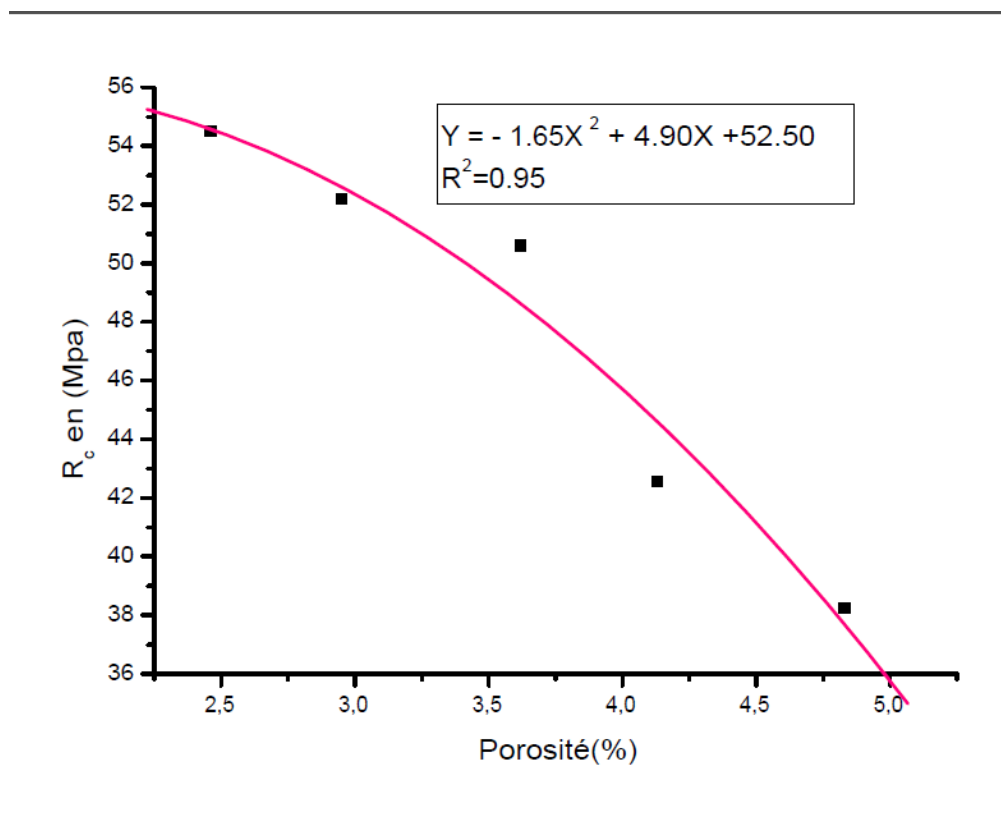


Figure III.13. Corrélation entre la résistance à la compression et la porosité

D'après cette figure, on peut conclure qu'il existe une excellente corrélation $R^2 = 0,95$ entre la résistance à la compression et la porosité pour l'ensemble des bétons étudiés.

III.3.7.2. la corrélation entre la résistance à la compression, à la flexion et l'affaissement

La figure III.14 présente la courbe de corrélation établie d'une part entre la résistance à la flexion et l'affaissement et d'autre part entre la résistance à la compression et l'affaissement, la formule **linéaire** suivante donne une estimation entre la résistance à la flexion en fonction de l'affaissement : $y = -2,09x + 66,72$ et même forme entre la résistance à la compression en fonction de l'affaissement : $y = -0,11x + 7,19$

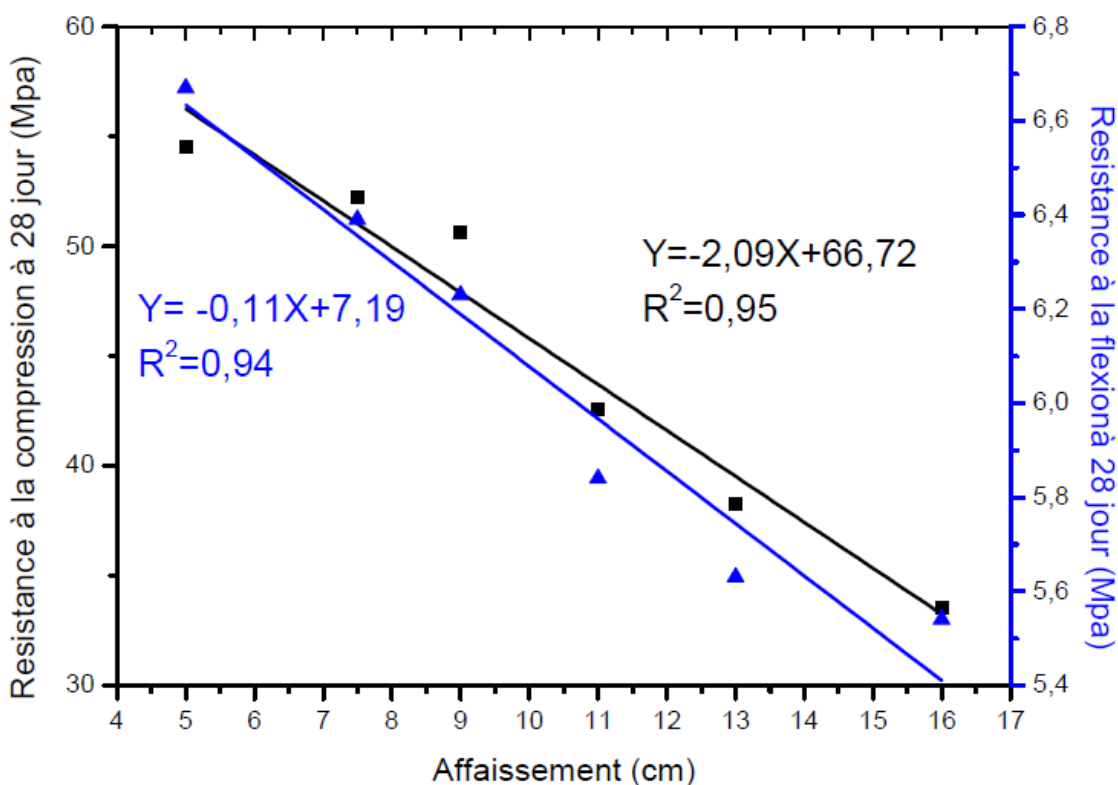


Figure III.14. Corrélation entre l'affaissement et la résistance à la flexion et l'affaissement et la résistance à la compression

D'après cette figure, on peut conclure les deux équations corrélatives présentes deux excellentes coefficients des corrélations $R^2 = 0,95$ pour la compression et $R^2 = 0,94$ pour la flexion, dans ce condition Et lorsque le béton coule de plastique à très plastique les résistances à les flexions et à la compression diminuent.

III.3.7.3. la corrélation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression

La figure III.15. explique qu'il est certain que lorsque les résistances à la compression augmentent, les résistances à la flexion augmentent.

L'expression proposée à cette corrélation est une relation de forme **polynomial** présentée par l'équation de troisième ordre $y = 5.34 \times 10^{-4} X^3 - 0.07X^2 + 3.16X - 41.26$ et un coefficient de corrélation $R^2 = 0,90$.

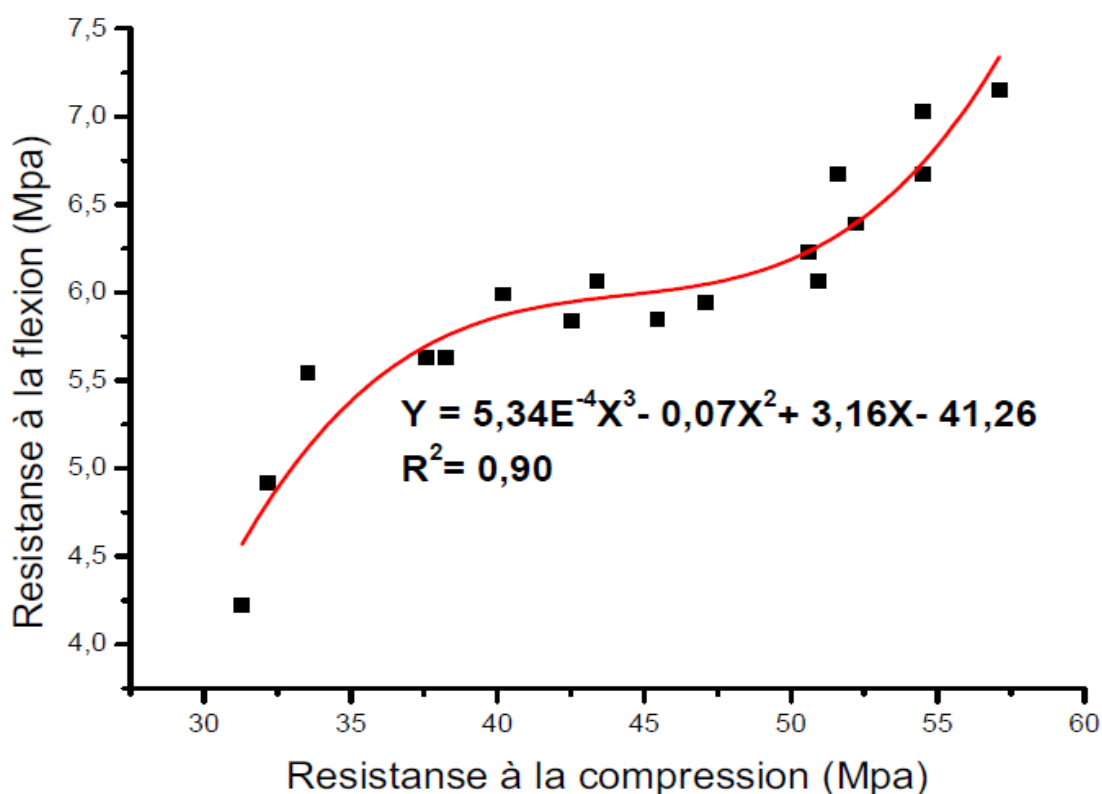


Figure III.15. Corrélation entre la résistance à la flexion et la résistance à la compression

D'après cette figure, on peut conclure qu'il y a une **très bonne** corrélation de dix-sept points entre la résistance mécanique à la compression et la résistance mécanique à la flexion ($R^2 = 0,90$) pour l'ensemble des mélanges.

III.3.7.4. la Corrélation entre la densité à l'état frais et la densité théorique

La figure III.16. explique qu'il est certain que lorsque la densité à l'état frais augmentent , la densité théorique augmentent pour même type de béton.

la formule **linéaire** suivante donne une estimation en fonction de la densité à l'état frais et la densité théorique $y= 1.39x-0.91$ et un coefficients de coloration $R^2 = 0,82$.

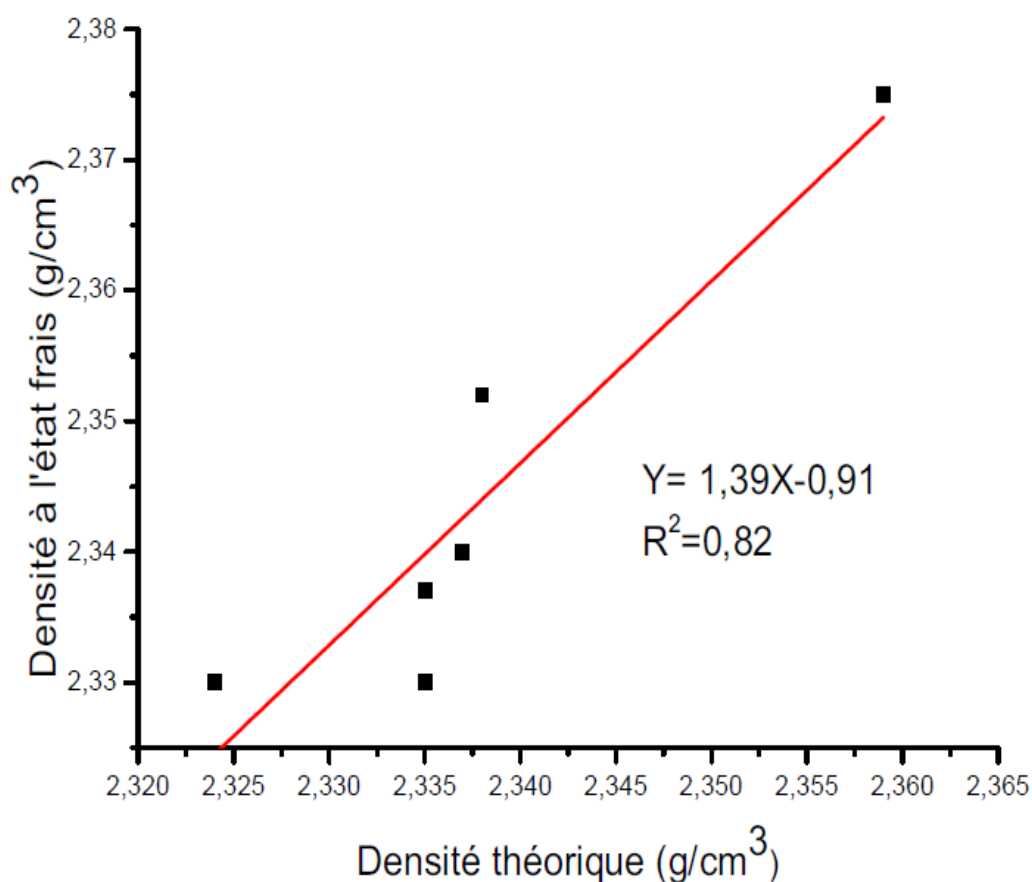


Figure III.16 Corrélation entre la densité à l'état frais et la densité théorique

D'après cette figure, on peut conclure qu'il existe une **bonne** corrélation entre la densité à l'état frais et la densité théorique correspondants pour l'ensemble des mélanges de les bétons étudiés .

III.3.7.5. la Corrélation entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage

La figure III.17. explique que la vitesse de propagation des ondes ultrason augmente, les résistances à la traction augmentent pour chaque type de béton .

La formule **polynomial** suivante donne une estimation en fonction entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage à une équation de deuxième ordre :

$$y = -1,92 E^{-8} X^2 + 9,76 E^{-4} X - 2,38 E^{-5} \text{ et un coefficients de coloration } R^2 = 0,98.$$

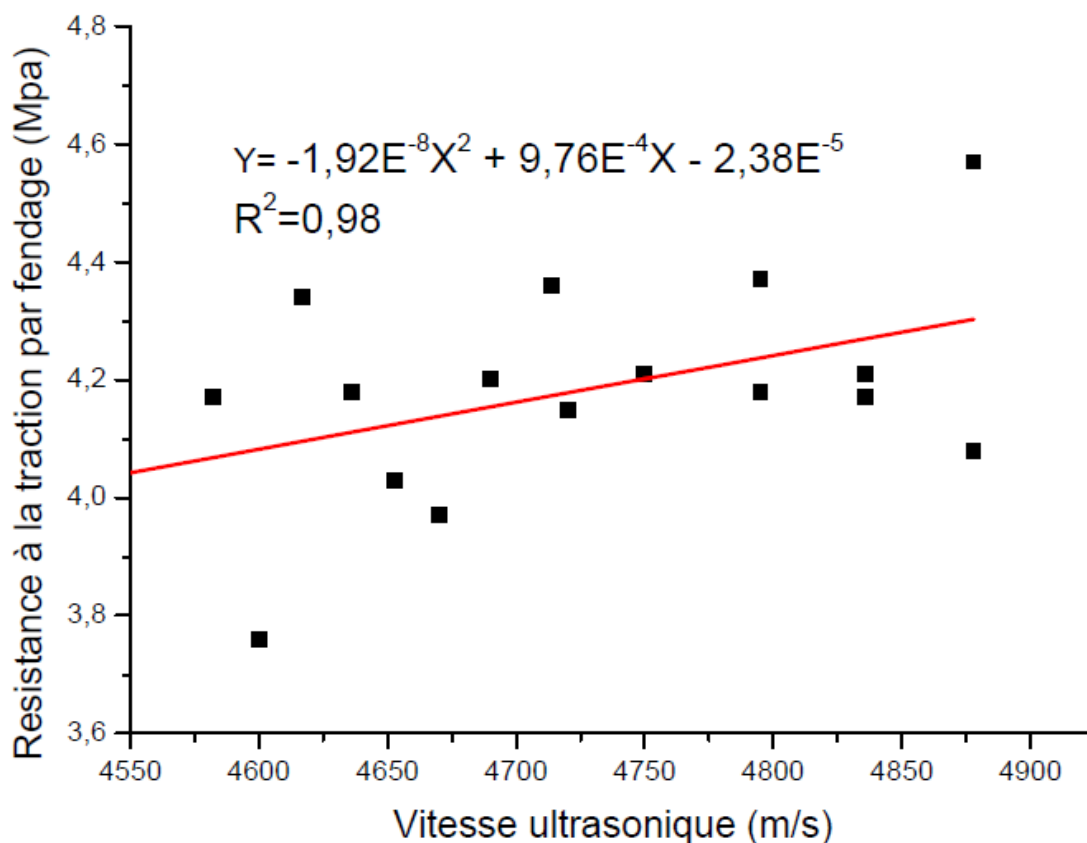


Figure III.17 Corrélation entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage

D'après cette figure, on peut conclure qu'il existe une excellente corrélation entre la vitesse ultrasonique et la résistance à la traction par fendage pour l'ensemble des mélanges de les bétons étudiés.

III.4. Conclusion

Ce chapitre renferme l'ensemble des résultats expérimentaux sur les béton de sable silisieux B0(béton témoin) et le béton substituer de 50% sable rivière avec sable concassé (béton de sable silico-calcaire) avec changement les pourcentages des fines de ce sable (SC) de 6% à 14 % .

Les résultats trouvées montre qu'il ya une différence entre le béton B0 et le béton de sable (SC) même avec les changement des pourcentages des fines de sable de béton (SSC).

Et ces différences sont représentées comme suit :

Le béton (SSC) que contient de différents pourcentages des fines silico-calcaire (6% à 14 %) sont influe positivement sur le performance par-rapport béton témoin au raison des pores colmaté et la cohésion entre les grains de forme angulaire, avec une augmentation à 60 jours la résistance à la compression des béton B14 est écroît avec 34,20% pour le béton B0, 29,6% pour un taux de substitution de 6%, 24% pour un taux de substitution de 8%, 9,7% pour un taux de substitution de 10% et de 4,6% pour un taux de substitution de 12%.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES

Ce travail a porté essentiellement sur étude l' effet de la variation de fines issues d'un sable silico-calcaire sur les performances physico-mécaniques du béton .

L'objectif de notre travail expérimentale nous permettons de comprendre les tous types de formulation, la caractérisation des bétons (à l'état frais et durci), l'influence de la granulométrie des agrégats sur le comportement mécanique de béton ordinaire à l'état durci.

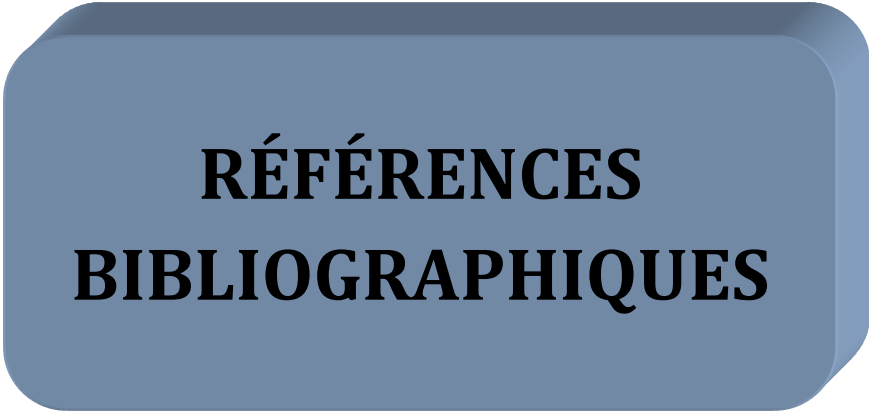
D'après les résultats obtenus, On peut conclure que :

- ✓ La masse volumique du béton B14 à l'état frais est élevée par rapport au B12, B10, B8 et B6 ceci s'explique par la grande pourcentages de fines qui crée un bon arrangement parfait entre les grains.
- ✓ La résistance à la compression dépend de la présence des fines (SSC).
- ✓ Une bonne résistance à la compression et à la flexion pour le béton B14 par rapport les bétons B12, B10, B8 et B6 et le béton témoin.
- ✓ L'évolution de la vitesse de propagation des ondes ultrasons dans les bétons élaborés en fonction du temps.
- ✓ La caractérisation des bétons par l'ultrason donne une idée sur l'homogénéité de la structure interne du béton et montre l'effet de la présence des classes granulaires des agrégats sur la résistance mécanique. En effet, la variation de taux de fines dans tous les bétons élaborés, donne une excellente vitesse , car la distribution granulaire permet un bon remplissage au qui assure au béton une bonne compacité, donc une meilleure résistance mécanique.
- ✓ Tous les types bétons étudiés, présentent une perturbation des valeurs de la résistance à la traction par fendage à 60 jours de cure, peut être à cause de la fausse position des éprouvettes en cours d'écrasement .

- ✓ Tous les bétons étudiés, présentent une évolution à la Résistance mécaniques à la flexion et à la compression dans les bétons de substitution de sable (B6 à B14), malgré que le béton B0 (témoin) plus dense, ceci à l'origine de la bonne arrangement des bétons à la base de (50 / 50) avec une bonne précision de taux des fines .
- ✓ Les indicateur de durabilité montre que le béton témoin gagne une valeur minimale de l'absorption capillaire, mais à 60 jours , le béton qui contient 14 % des fines silico-calcaire a bénéficié le moindre d'absorption capillaire , cette situation est probablement causée par saturation des fines silico-calcaire à long terme .

Après ce diagnostic qui a dégagé de nouvelles interrogations concernant l'emploi du sable de concassage comme matériau alternatif avec le sable alluvionnaire dans le béton. Ces questions pourraient conduire à de nouvelles recherches sur ce sujet et son effet sur la résistance physico-mécanique dans les ouvrages en béton armé, on cite notamment :

- L'influence de la nature des grains sur les comportement du béton à base de sable silico-calcaire (50 / 50).
- L'influence des taux d'incorporation des fines silico-calcaire sur le comportement de la maniabilité du béton innovant.



**RÉFÉRENCES
BIBLIOGRAPHIQUES**

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] Chanvillard. G, 1999. Connaissances générale sur le matériau béton, Ed. Aléas
- [6] CIM béton, 2000. Construire avec les bétons, Ed du Moniteur.
- [7] Dreux.G et Festa.J.1998. Nouveaux guide du béton et de ces constituants,
- [8] BaCaRa Projet Français, 1996.Le béton compacté au rouleau, Presses de l'Ecole-, Nationale des Ponts et Chaussées, Ed.Eyrolles France.
- [9] Aitcin .P.C, 2001 Ed. Eyrolles. Bétons haute performance.
- [10] Bresson.J,1980. Prévision des résistances, facteur de maturité, temps équivalent,Journée d'étude ITBTP du 15 novembre 1979 ;durcissement accéléré des bétons,Paris ,AnnInst.Tech. Batim.Trav.publics, 1980,387, 106-111.
- [11] Poitrat.E ,2004: Biocarburants, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, BE 8550.
- [12] Richard et Cheyrezy.M 1995.Les bétons de poudres réactives, Annales ITBTP. Série béton 320.
- [13] Dupain.R, Lanchon.R et Saint-Arromain.J.C, 1995.Granulats, sols, ciments et bétons, Ed Educavivre, 276p Paris.
- [14] John Wiley and Sons, Taylor F, Thompson S, 1912. A treatise on concrete plain and

reinforced, New York.

[15] Granulats- Définitions, conformité, spécifications ,indice de classement P 18-540.

[16] GEORGES DREUX : «Nouveau guide du béton » Edition Eyrolles, 1981.

[17] John Wiley and Sons, Powers T.-C 1968. The properties of fresh concret, New York

[18] 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.

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

[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] DJEDID T, Durabilité Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khider Biska ,Jan 2020.

[22] DJEDID T, A. Guettala, M. Mani. Study of the workability and mechanical strength of concrete in the face of upwelling (Case of the El Oued region of Algeria. J Fundam Appl Sci.11(1), 368-384. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v11i1.24>. ISSN 1112-9867, 2019.

LES ANNEXES

ANNEXE 01

NOTICE TECHNIQUE

MEDAFLOW 145

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

Super plastifiant-Haut réducteur d'eau

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

- FormeLiquide
- Couleurbrai 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 retardateur 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).

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

 Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82
Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23
www.granitex.dz - E-mail: granitex@granitex.dz

  86

ANNEXE 02

MATINE
Ciment pour béton exigeant
CEM II/B 42,5 N NA 442



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 SO ₃ (%), (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 C ₃ S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C ₂ S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C ₃ A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C ₄ AF (%):	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 (S.P.A)

Hammam - Djalas, Algérie (ACC)
Tél: +213 35 50 78 20
Fax: +213 35 50 79 30

Direction générale

33, Rue des Pins, Algiers, Alger
Tél: +213 (0) 21 43 16 65
Fax: +213 (0) 21 46 10 71

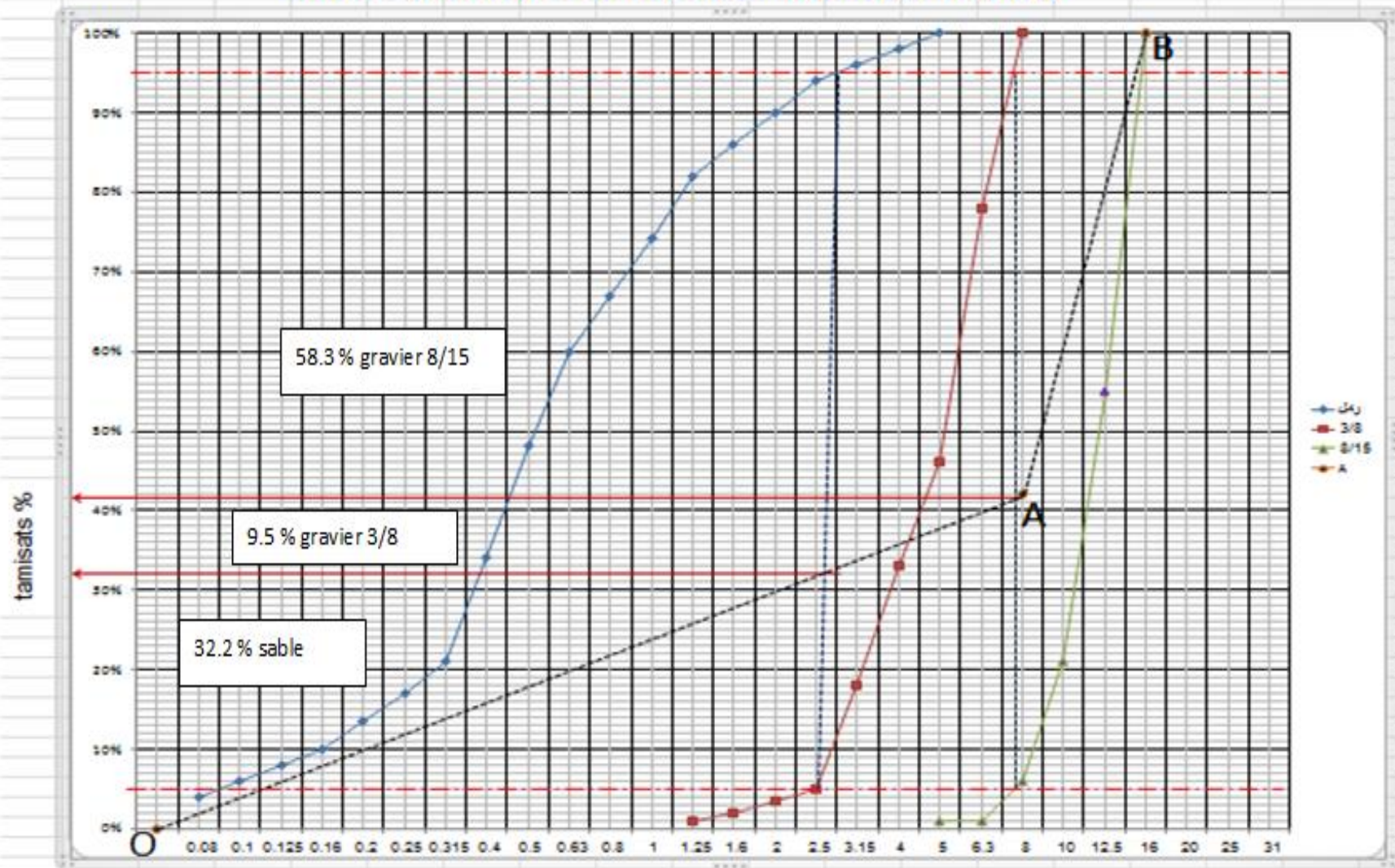
Ciment Blanc Algérie (S.P.A)

Usine Djijel (CBB)
BP 67, 32550, Mascara
Tél. / Fax: +213 (0) 40 94 66 95



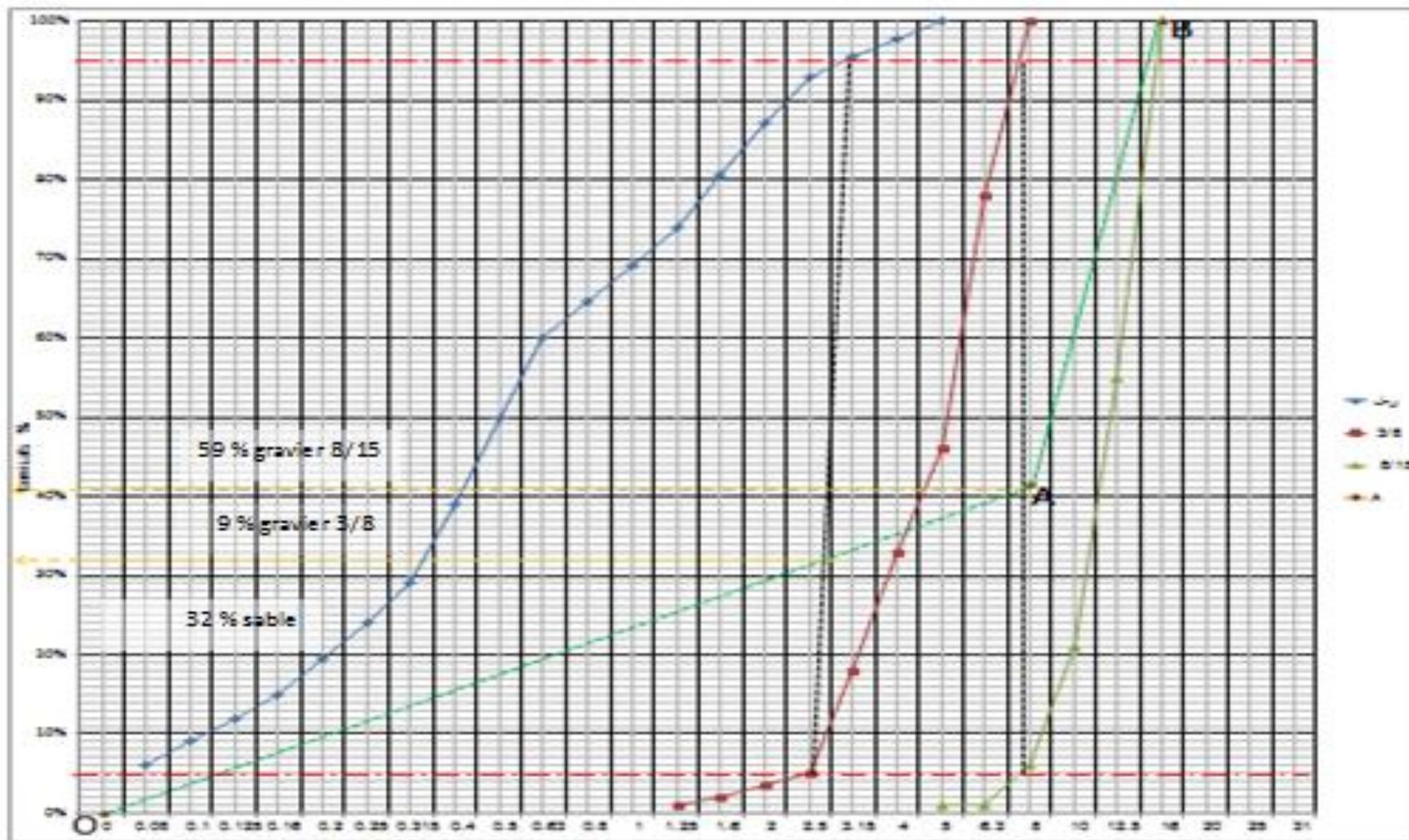
ANNEXE N°03

courbe granulaire de Dreux-Gorisse (TEMOIN)



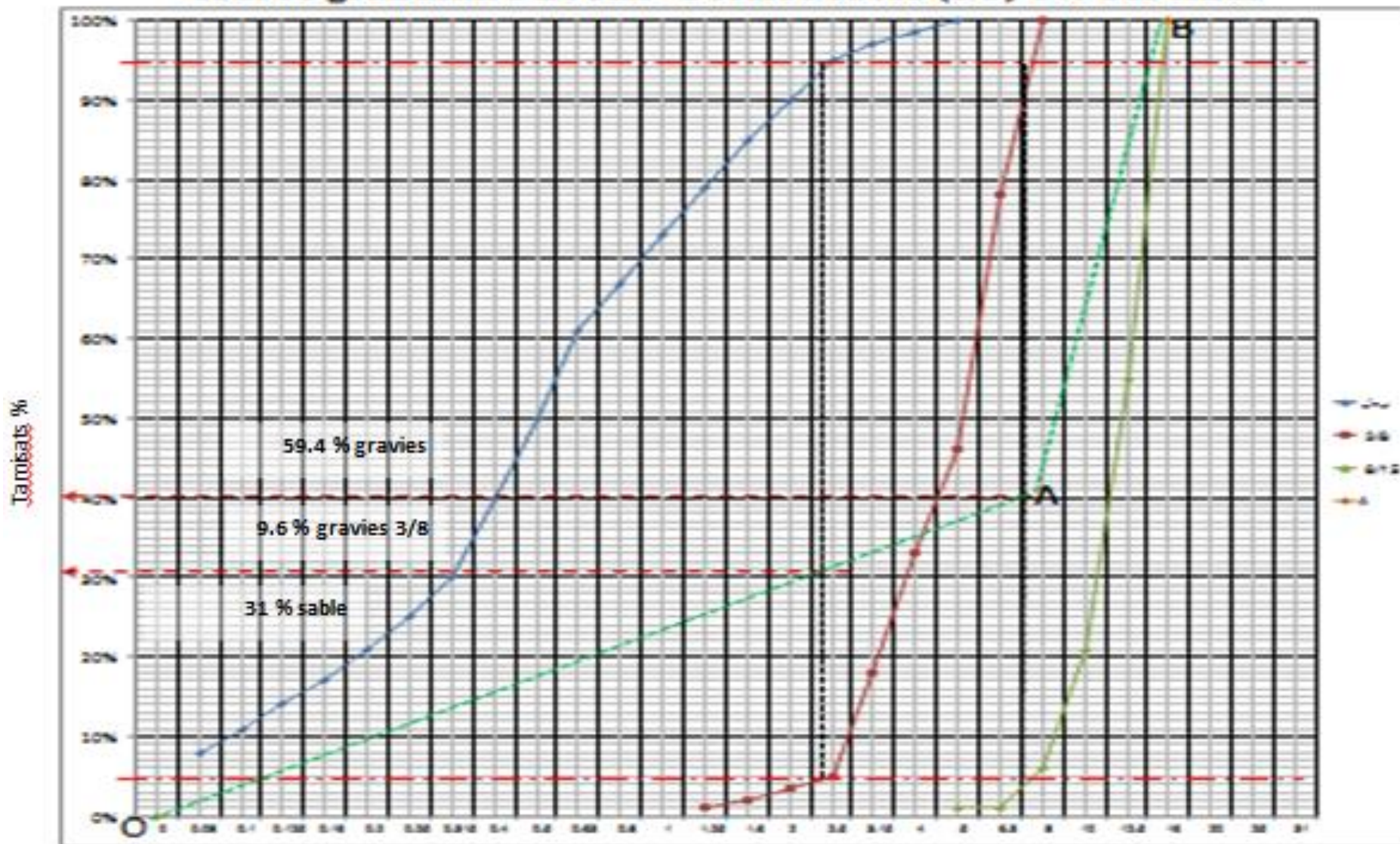
ANNEXE N°04

courbe granulaire Dreux-Gorisse sable (SC) 6% de fines

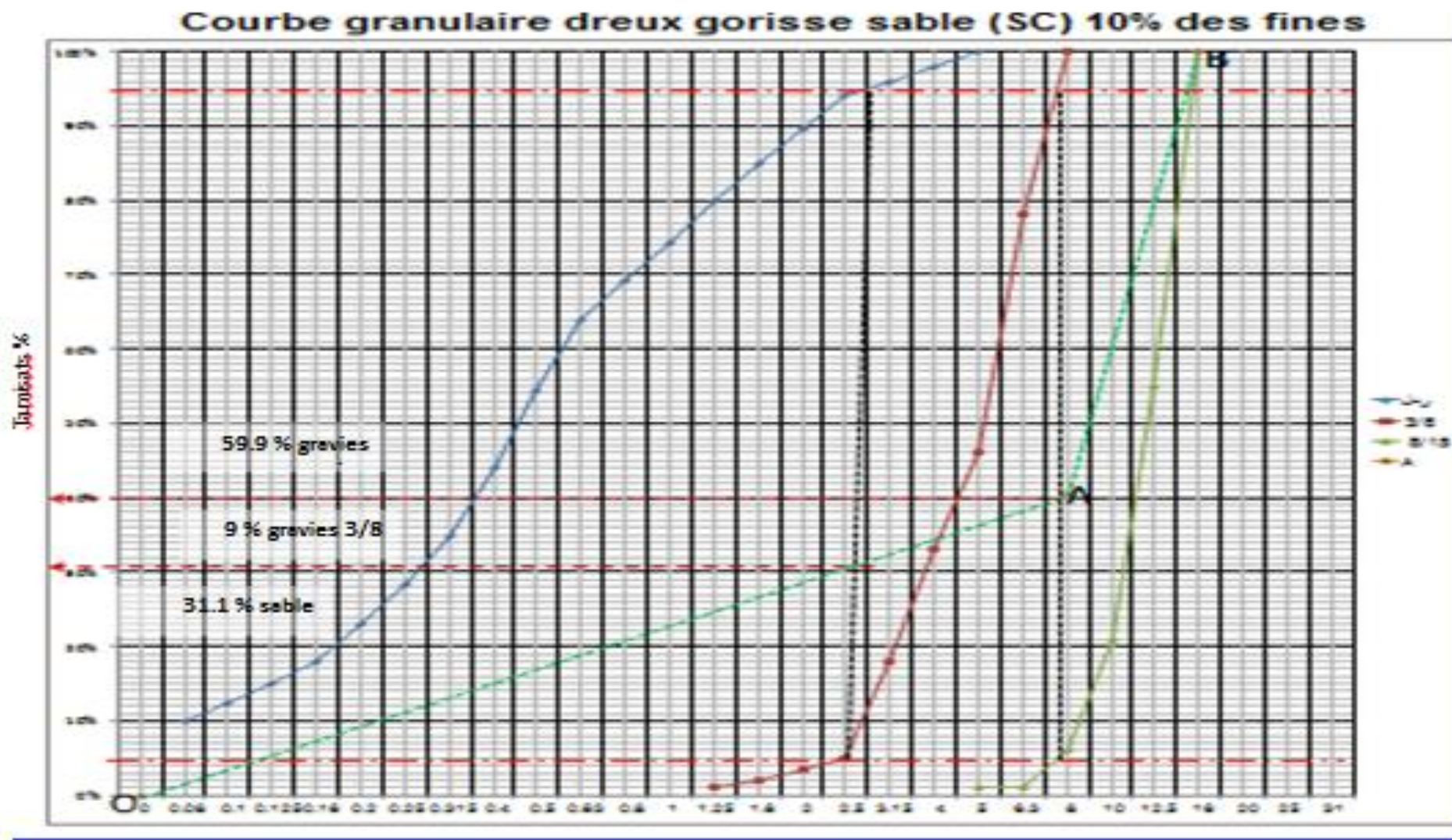


ANNEXE N°05

courbe granulaire Dreux -Gorisse sable (SC) 8% des fines

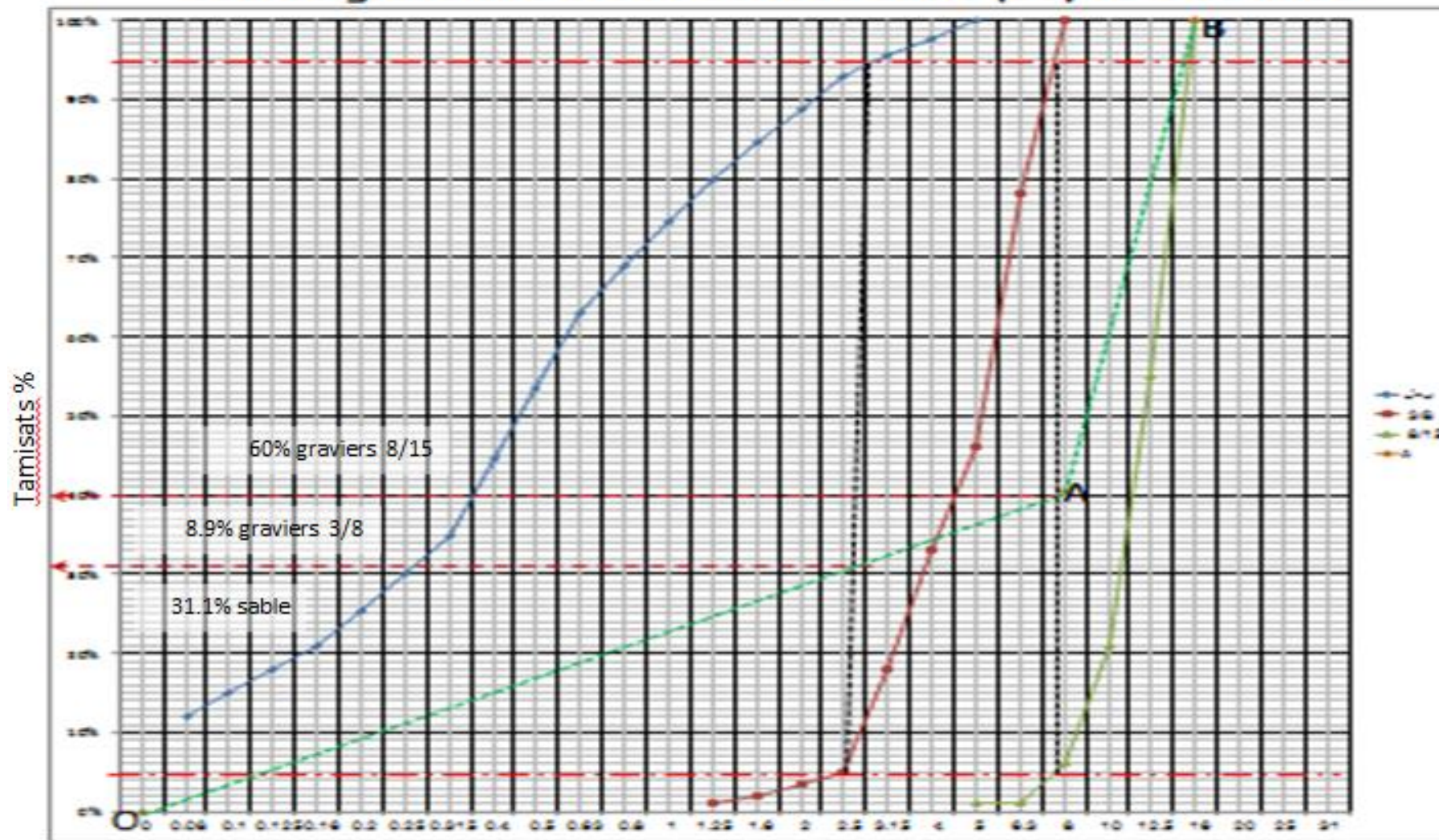


ANNEXE N°06



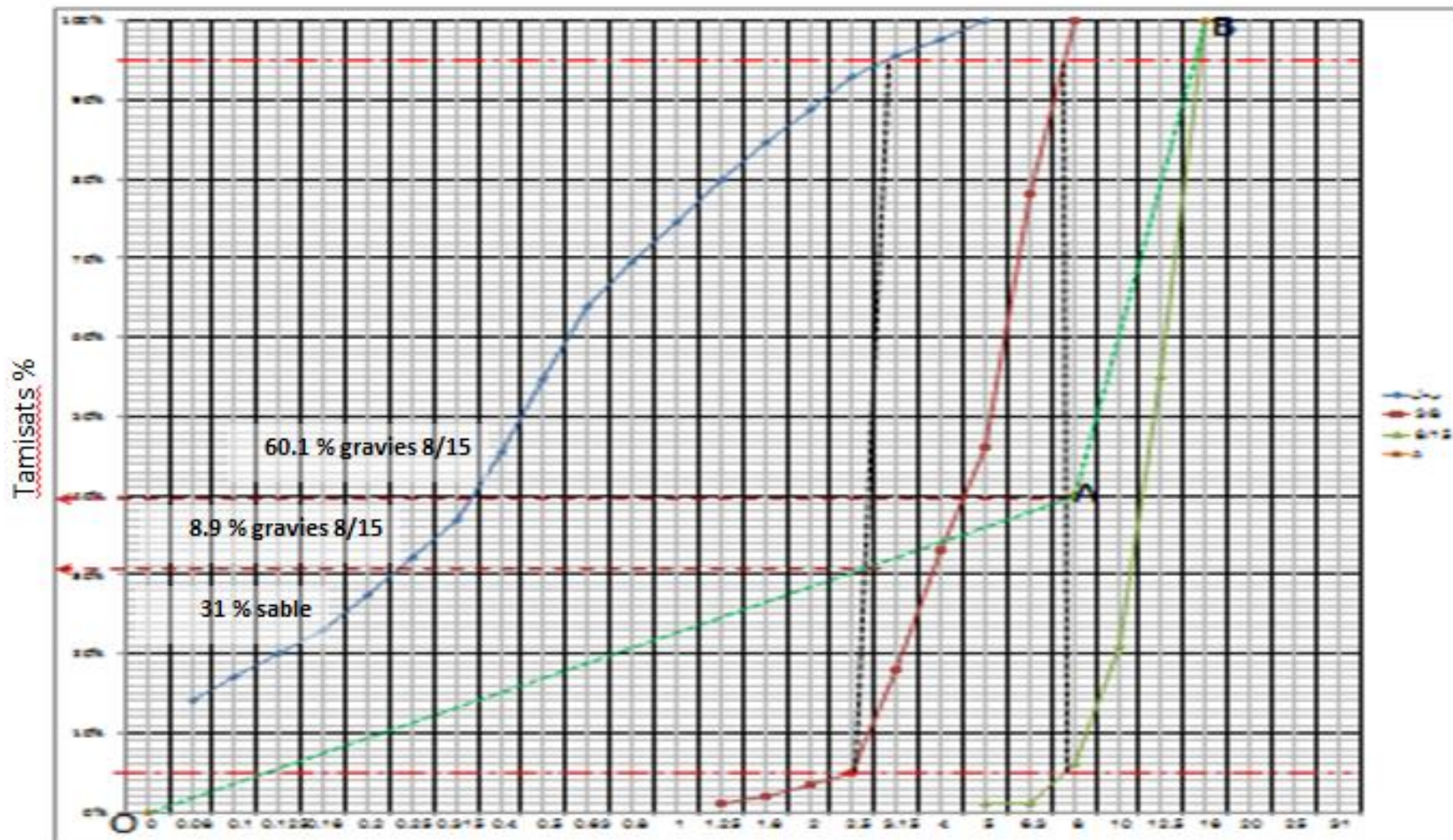
ANNEXE N°07

courbe granulaire Dreux-Gorisse sable (SC) 12 % de fines



ANNEXE N° 08

courbe granulaire Dreux-Gorisse sable (SC) 14 % de fines





ANNEXE N °09
Coefficient d'absorption d'eau capillaire en fonction de temps : (Ct)
Forme cubique : 7*7*7* cm3

Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	0	Temps de poids en minute (g)											
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	1440	2880	4320
B0 TEMOIN	1	838,80		839,50	839,60	839,80	839,80	839,80	839,80	839,90	839,90	839,90	841,00	841,60	842,10
	2	881,00		881,60	881,80	881,90	882,00	882,10	882,10	882,10	882,30	882,30	883,80	884,60	884,90
	3	869,10		869,80	870,00	870,10	870,20	870,30	870,30	870,50	870,50	870,50	872,30	873,00	873,50
Moyenne		862,97		863,63	863,80	863,93	864,00	864,07	864,07	864,17	864,23	864,23	865,70	866,40	866,83
Ct			0,00	0,014	0,017	0,020	0,021	0,022	0,022	0,024	0,026	0,026	0,056	0,070	0,079
B 6	1	856,40		857,10	857,30	857,30	857,40	857,50	857,50	857,50	857,60	857,60	859,00	859,60	860,10
	2	853,10		853,80	854,00	854,10	854,20	854,30	854,30	854,30	854,40	854,60	856,00	856,60	857,00
	3	857,50		858,30	858,50	858,60	858,80	858,90	858,90	859,10	859,20	859,20	861,20	861,80	862,20
Moyenne		855,67		856,40	856,60	856,67	856,80	856,90	856,90	856,97	857,07	857,13	858,73	859,33	859,77
Ct			0,00	0,015	0,019	0,020	0,023	0,025	0,025	0,027	0,029	0,030	0,063	0,075	0,084
B 8	1	852,90		853,40	853,50	853,70	853,80	853,90	853,90	854,00	854,10	854,10	855,70	856,40	857,00
	2	891,70		892,70	892,80	893,00	893,20	893,40	893,40	893,60	893,60	893,70	896,30	897,30	898,10

	3	850,80		851,80	851,90	852,10	852,10	852,40	852,70	852,70	852,80	852,90	855,50	856,40	857,00
Moyenne		865,13		865,97	866,07	866,27	866,37	866,57	866,67	866,77	866,83	866,90	869,17	870,03	870,70
Ct			0,00	0,017	0,019	0,023	0,025	0,029	0,031	0,033	0,035	0,036	0,082	0,100	0,114
B 10	1	879,10		879,70	879,80	880,10	880,10	880,10	880,20	880,40	880,50	880,50	882,70	883,60	884,20
	2	859,60		860,60	860,70	860,90	860,90	860,90	861,00	861,00	861,10	861,20	863,60	864,70	865,30
	3	872,50		873,10	873,30	873,40	873,50	873,60	873,60	873,60	873,70	873,70	875,50	876,10	876,70
Moyenne		870,40		871,13	871,27	871,47	871,50	871,53	871,60	871,67	871,77	871,80	873,93	874,80	875,40
Ct			0,00	0,015	0,018	0,022	0,022	0,023	0,024	0,026	0,028	0,029	0,072	0,090	0,102
B 12	1	903,40		904,20	904,40	904,80	904,90	905,00	905,00	905,00	905,10	905,10	907,30	908,10	908,80
	2	825,70		826,70	826,90	827,10	827,20	827,40	827,50	827,50	827,60	827,60	829,60	830,40	831,00
	3	875,80		877,00	877,10	877,30	877,40	877,50	877,60	877,60	877,70	877,80	880,10	880,90	881,50
Moyenne		868,30		869,30	869,47	869,73	869,83	869,97	870,03	870,03	870,13	870,17	872,33	873,13	873,77
Ct			0,00	0,020	0,024	0,029	0,031	0,034	0,035	0,035	0,037	0,038	0,082	0,099	0,112
B 14	1	835,40		836,50	836,60	836,70	836,90	837,10	837,10	837,10	837,30	837,30	839,40	840,10	840,90
	2	852,50		853,20	853,50	853,50	853,80	854,00	854,10	854,20	854,20	854,20	856,70	857,30	858,20
	3	880,90		881,20	881,60	881,70	881,80	881,90	881,90	882,00	882,00	882,00	883,50	884,20	884,70
Moyenne		856,27		856,97	857,23	857,30	857,50	857,67	857,70	857,77	857,83	857,83	859,87	860,53	861,27
Ct			0,00	0,014	0,020	0,021	0,025	0,029	0,029	0,031	0,032	0,032	0,073	0,087	0,102



Coefficient d'absorption d'eau capillaire en fonction de temps : (Ct)

Forme cubique : 7*7*7* cm3

Types de Béton / Nbr de Echantillon		Poids echant, avec Ciré en (g)	0	Temps de poids en minute (g)											
				10	20	30	40	50	60	70	80	90	1440	2880	4320
B0 TEMOIN	1	854,20		854,70	854,90	855,00	855,00	855,00	855,00	855,00	855,00	855,10	856,30	856,80	857,00
	2	846,70		847,30	847,50	847,50	847,50	847,50	847,50	847,50	847,50	847,60	848,70	849,20	849,50
	3	911,70		912,50	912,60	912,70	912,70	912,70	912,70	912,80	912,80	912,90	913,00	914,60	915,20
Moyenne		870,87		871,50	871,67	871,73	871,73	871,73	871,77	871,77	871,80	871,90	873,20	873,73	874,03
Ct			0,00	0,013	0,016	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,019	0,021	0,048	0,059	0,065
B6	1	846,60		846,60	847,70	847,70	847,70	847,90	847,90	847,90	848,00	848,00	849,80	850,50	850,80
	2	881,80		882,50	882,70	882,70	882,70	882,70	882,70	882,70	882,80	882,90	884,20	884,80	885,10
	3	840,10		840,90	841,00	841,10	841,10	841,10	841,10	841,30	841,30	841,40	842,30	842,70	842,80
Moyenne		856,17		856,67	857,13	857,17	857,17	857,23	857,23	857,30	857,37	857,43	858,77	859,33	859,57
Ct			0,00	0,010	0,020	0,020	0,020	0,022	0,022	0,023	0,024	0,026	0,053	0,065	0,069
B8	1	858,40		859,00	859,30	859,30	859,30	859,30	859,40	859,40	859,40	859,40	861,00	861,50	862,00

	2	906,90		907,70	907,90	908,00	908,20	908,20	908,20	908,20	908,20	908,30	910,10	910,70	911,40
	3	861,10		861,80	862,20	862,20	862,20	862,30	862,30	862,50	862,50	862,70	864,30	864,80	865,00
Moyenne		875,47		876,17	876,47	876,50	876,57	876,60	876,63	876,70	876,70	876,80	878,47	879,00	879,47
Ct			0,00	0,014	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024	0,025	0,025	0,027	0,061	0,072	0,082
B10	1	911,70		912,50	912,80	913,00	913,00	913,00	913,00	913,30	913,30	913,40	914,70	915,40	915,90
	2	928,20		929,00	929,20	929,20	929,20	929,30	929,30	929,40	929,40	929,40	930,80	931,70	931,90
	3	878,00		878,80	879,10	879,10	879,10	879,10	879,20	879,30	879,30	879,40	881,00	881,40	881,70
Moyenne		905,97		906,77	907,03	907,10	907,10	907,13	907,17	907,33	907,33	907,40	908,83	909,50	909,83
Ct			0,00	0,016	0,022	0,023	0,023	0,024	0,024	0,028	0,028	0,029	0,059	0,072	0,079
B12	1	913,00		913,90	913,90	913,90	913,90	914,00	914,00	914,00	914,10	914,20	915,30	915,80	915,90
	2	897,70		898,50	898,60	898,60	898,70	898,90	898,90	899,00	899,00	899,00	900,30	900,90	901,10
	3	893,60		894,70	894,90	894,90	894,90	894,90	894,90	894,90	895,00	895,00	895,90	896,70	896,90
Moyenne		901,43		902,37	902,47	902,47	902,50	902,60	902,60	902,63	902,70	902,73	903,83	904,47	904,63
Ct			0,00	0,019	0,021	0,021	0,022	0,024	0,024	0,024	0,026	0,027	0,049	0,062	0,065
B14	1	929,20		929,60	929,90	930,00	930,00	930,00	930,30	930,30	930,40	930,50	931,40	932,00	932,10
	2	920,70		921,30	921,50	921,60	921,70	921,70	921,70	921,80	921,80	922,00	923,40	923,90	924,10
	3	901,00		901,60	901,70	901,80	901,80	901,80	901,80	901,80	901,90	902,10	903,00	903,30	903,40
Moyenne		916,97		917,50	917,70	917,80	917,83	917,83	917,93	917,97	918,03	918,20	919,27	919,73	919,87
Ct			0,00	0,011	0,015	0,017	0,018	0,018	0,020	0,020	0,022	0,025	0,047	0,056	0,059

ANNEXE N° 10
Porosité (% de Vide): forme cubique 10*10*10 cm3

	Nbre Echant,	Msec après 105 C etuvage	Mair après 5h à l'aire	Meau pesée hydrostatique	% de vides (porosité) Vp
B0	1	2375,00	2405,00	1365,00	2,88
	2	2495,00	2525,00	1435,00	2,75
Moyenne		2435,00	2465,00	1400,00	2,82
B6	1	2445,00	2495,00	1400,00	4,57
	2	2410,00	2465,00	1385,00	5,09
Moyenne		2427,50	2480,00	1392,50	4,83
B8	1	2450,00	2500,00	1405,00	4,57
	2	2435,00	2475,00	1390,00	3,69
Moyenne		2442,50	2487,50	1397,50	4,13
B10	1	2555,00	2600,00	1460,00	3,95
	2	2410,00	2445,00	1385,00	3,30
Moyenne		2482,50	2522,50	1422,50	3,62
B12	1	2495,00	2535,00	1420,00	3,59
	2	2460,00	2485,00	1405,00	2,31
Moyenne		2477,50	2510,00	1412,50	2,95
B14	1	2485,00	2495,00	1425,00	0,93
	2	2485,00	2530,00	1400,00	3,98
Moyenne		2485,00	2512,50	1412,50	2,46