

République Algérienne Démocratique Et Populaire

Ministère De l'Enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

Faculté de Technologies

Département D'hydraulique et de Génie Civil

Mémoire fin d'études

Présenté En vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil

Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème

**Influence de la nature des fines sur le
comportement mécanique du béton à base
des granulats silico-calcaires**

• **Encadreur :**

- Dr Djedid Tarek

• **Présenté Par :**

- Debbab Mohammed Seghir
- Djermoun Noureddine
- Chabani Abde Rraouf
- Mehda Ayoub

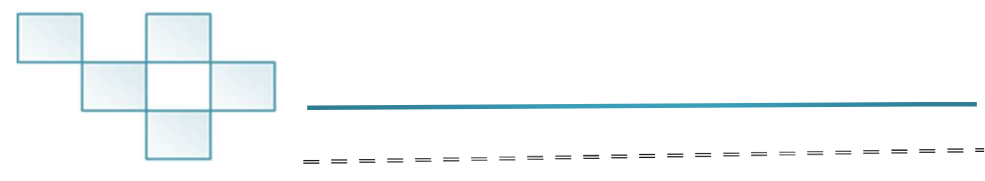
Membres du Jury

- Président Dr. Mohamed Mani Univ. EL- oued
- Examineur Dr. Abdelaziz Logbi Univ. EL- oued

Promotion : 2022



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ





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 fournit des informations sous encadrer de notre recherche, 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, ZEGHDI OTHMAN et ADJIBA KHALIFA et pour leur directeur, Mr. Mounir MEZDAOUT

Aussi, le personnel du laboratoire NEZOLAB, notamment M. OUELABI SAID et FERDJANI NIZAR .



Résumé

Les chercheurs ont découvert après plusieurs essais expérimentaux qu'après un échange de (50 % du sable de rivière par 50 % du sable de calcaire concassé) est le rapport optimal qui donne le meilleur résultat et les propriétés du béton soit sur le côté mécanique (compression, traction, flexion ...) ou sur le côté physique et durabilité.

Le but de cette recherche est de trouver le pourcentage optimal d'échange une quantité de sable trouvé (50 % du sable de rivière par 50 % du sable de calcaire concassé) par de fine provient du (sable de rivière, sable de calcaire concassé, 50 % du sable de rivière + 50 % du sable de calcaire concassé) avec le pourcentage suivant 12 %, 14 % et 16 % pour chaque sable.

Les résultats obtenus de cette recherche montrent que le pourcentage idéal d'échange de particules fine est le pourcentage 14 % en comparant avec les autres pourcentages qui en tour mène a favorisé les caractéristiques mécaniques et physiques du béton par rapport avec le béton témoin.

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

Abstract

The researchers found out after several experimental runs that after an exchange of (50% river sand by 50% crushed limestone sand) is the optimum ratio that gives the best result and the properties of the concrete is on the mechanical side (compression, traction, bending ...) or on the physical and durability side.

The purpose of this research is to find the optimal percentage of exchange of a quantity of found sand (50% of river sand by 50% of crushed limestone sand) by fine comes from (river sand, crushed limestone sand, 50% river sand + 50% crushed limestone sand) with the following percentage 12%, 14% and 16% for each sand.

The results obtained from this research show that the ideal percentage of fine particle exchange is the percentage of 14% by comparing with the other percentages which in turn leads to favored the mechanical and physical characteristics of the concrete compared to the control concrete.

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

ملخص

أثبت الباحثون بعد عدة تجارب مخبرية أن استبدال نسبة من رمل الوديان بنسبة أخرى من رمل الحجر الجيري المسحوق مناصفة (أي 50 % رمل وديان + 50 % رمل حجر جيري مسحوق) هي النسبة المثالية التي تعطي أفضل النتائج والخواص للخرسانة سواءا على الجانب الميكانيكي (الضغط، الشد، الانحناء ...) او على الجانب الفيزيائي والديمومة.

والهدف من هذا البحث هو ايجاد النسبة المثلى من استبدال كمية من الرمل المتحصل عليه (50 % رمل وديان + 50 % رمل حجر جيري مسحوق) بالعناصر الدقيقة الناتجة من (رمل الوديان، رمل الحجر الجيري المسحوق، 50 % رمل وديان + 50 % رمل حجر جيري مسحوق) بالنسب التالية 12 %، 14 % و 16 % لكل رمل.

النتائج المتحصل عليها من هذا البحث أثبتت أن النسبة المثلى في استبدال العناصر الدقيقة هي النسبة 14 % مقارنة مع النسب الأخرى والتي هي الأخرى ادت الى تحسين الخواص الميكانيكية والفيزيائية مقارنة مع الخرسانة الشاهدة .

الكلمات المفتاحية: ركام – رمل سيليسي (رمل الوديان) – رمل الحجر الجيري المسحوق – رمل كلسي وجيري –العناصر الدقيقة للرمل السيليسي الجيري – خرسانة – خصائص فيزيائية وميكانيكية.

Sommaire

Remerciements	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction générale	01
Chapitre I: Généralité sur le béton	
I.1. Introduction	03
I.2. Définition de béton	03
I.3. Classification des bétons	04
I.4. Les différents types du béton	04
I.4.1. Béton autoplaçant (BAP)Développé	04
I.4.2. Béton de hautes performances (BHP)	05
I.4.3. Béton de fibres	05
I.4.4. Béton compacte au rouleau (BCR)	05
I.4.5. Béton préfabriqué	05
I.4.6. Béton à durcissement rapide	05
I.4.7. Béton de terre	05
I.4.8. Béton réfractaire	05
I.4.9. Béton de poudre réactive (BPR)	06
I.4.10. Béton ordinaire	06
I.5 Les constituants du béton	06
I.5.1. Le ciment	06
I.5.2. Les classifications de ciments	06
I.5.2.1. Les Constituants des ciments	07
I.5.3. Le granulats	08
I.5.3.1. Classification des granulats selon la provenance	09
I.5.3.1.1. Granulats naturels	09

I.5.3.1.2. Granulats artificiels	09
I.5.3.1.3. Granulats Recyclé	09
I.5.3.2. Classification des granulats selon la grosseur	09
I.5.3.3. Origine minéralogique	10
I.5.3.4. Caractéristiques des granulats	10
I.5.3.4.1. Caractéristiques géométriques	10
I.5.3.4.2. Caractéristiques physiques	12
I.5.3.4.3. Caractéristiques mécaniques	14
I.5.4. L'eau de gâchage	15
I.5.5. Les adjuvants	16
I.5.5.1. Définition	16
I.5.5.2. Classification des adjuvants :	16
I.6. Rôle des différents éléments constituant le béton	17
I.7. Formulations du béton	17
I.7.1. Méthode de Dreux-Gorisse	18
I.8. conclusion	21

Chapitre II : Matériels et méthodes expérimentales

II.1 Introduction	22
II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés :	22
II.2.1. Ciment	22
II.2.2. Eau de gâchage	24
II.2.3. Sable	24
II.2.3.1. Sable alluvionnaire (sable de Rivière) «SR »	24
II.2.3.2. Sable calcaire concassé «SC »	25
II.2.3.3. Sable Silico-calcaire « SSC » Naturellement	26
II.2.4. Les Gravier	28
II.2.5. Les Adjuvants	30
II.3. La Formulation des bétons	31
II.3.1. La formulation selon la méthode de Dreux-Gorisse	31
II.4. Essais réalisés pour le béton à l'état frais	38
II.4.1 Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams	38
II.4.2 Essai de la masse volumique	39
II.5. Essais réalisés pour le béton à l'état durci	40

II.5.1 Essais mécaniques	40
II.5.1.1 Résistance à la compression et à la traction	40
II.5.1.2 Résistance à la flexion	40
II.5.1.3 Essai ultrasonique	41
II.5.1.4. Essais de mesure de l'Absorption d'eau	42
II.6. Conclusion	44
Chapitre III : Analyse et discussions des résultats	
III. 1 Introduction	44
III.2 Résultats du comportement le béton a l'état frais	44
III.2.1 Ouvrabilité	44
III.2.2 Densité à l'état frais de différents bétons étudiés	46
III.3 Résultats du comportement physico-mécanique du béton a l'état durci	48
III.3.1. Essai de la compression	48
III.3.2. Essai de flexion	51
III.3.3. Essai ultrasonique	54
III.3.4. Absorption capillaire	56
III.3.5. Corrélation entre la résistance mécanique à la compression	60
III.4. Conclusion	61
CONCLUSIONS GENERALES	62
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
Annexes.	64

Liste des figures

Figure I.1: les constituents de béton.	03
Figure I.2: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton Ordinaire	06
Figure I.3: les minéraux principaux du clinker.	08
Figure I.4: forme d'un granulat	12
Figure I.5: Principe de l'essai d'équivalent de sable.	14
Figure I.6: Essais Los Angeles	15
Figure I.7 Pate de non adjuvante: Flocculation de grains	17
Figure I.8 Pate de ciment additionné d'un super-plastifiant: dispersion des Grains	17
Figure I.9: dosage approximative 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	19
Figure II.1: sac du ciment.	22
Figure II.2: La courbe granulométrique de trois types de sable	27
Figure II-3: sable roulé 0/5	27
Figure II-4 sable concassé 0/3	27
Figure II-5 les fines de mélange ssc	27
Figure II-6 Echantions graviers utilisé 3/8 et 8/15	30
Figure II-7 La courbe granulométrique de graviers 3/8 et 8/15	30
Figure II-8 L'abaque relative de l'affaissement a dosage du ciment	33
Figure II-9: Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.	39
Figure II-10 essai de flexion	40
Figure II-11 Essai ultrasonique	42
Figure II-12 séchage des éprouvettes dans le four.	42
figure II.13: L'essai d'absorption par capillarité	43
figure II.14: Principe de l'essai d'absorption par capillarité	43
Figure III.1. L'effet de la variation du pourcentage de fines sur l'ouvrabilité	45
Figure III.2. L'ouvrabilité de béton témoin	45
Figure III.3. Variation de la densité du béton en fonction de variation le taux	47
Figure III.4. essai de compression.	48
Figure III.5. Variation de la résistance à la compression du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire).	51
Figure III.6. essai de flexion	52
Figure III.7. Variation de la résistance à la flexion du béton en fonction de variation le taux de fines (SSC)	53
figure III.8. L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines (SC) pour les différents types de béton à 7, 28 et 56 jours.	55

Figure III.9. Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de variation le taux	60
Figure III.10. Correlation entre la resistance mecanique a la compression.	60

Liste des Tableaux

Tableau 1: composition minéralogique de clinker	07
Tableau 2: Classification des granulats selon la grosseur	10
Tableau 3: valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX	14
Tableau II -1: Caractéristiques physiques du ciment utilisé	23
Tableau II-2: Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment « 40×40×160 »mm »:	23
Tableau II-3: Composition chimique du ciment utilisé.	23
Tableau II-4: Composition minéralogique du ciment utilisé.	23
Tableau II-5: analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	24
Tableau II-6: caractéristiques physiques sable alluvionnaire.	25
Tableau II-7: caractéristiques chimiques sable alluvionnaire .	25
Tableau II-8: analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	25
Tableau II-9: caractéristiques physiques de sable calcaire concassé.	26
Tableau II-10: caractéristiques chimiques de sable calcaire concassé.	26
Tableau II-11: analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554	26
Tableau II-12: caractéristiques physiques sable silico-calcaire.	27
Tableau II-13: caractéristiques physiques de gravier 3/8.	28
Tableau II-14: analyse granulométrie de graviers 3/8.	28
Tableau II-15: caractéristiques physiques de graviers 8/15	29
Tableau II-16 analyse granulométrie de graviers 8/15	29
Tableau II-17: détermination de G (coefficient granulaire)	32
Tableau II-18: Tableau donnant les valeurs du terme correcteur K [Dreux Festa1998]	34
	35
Tableau II-19: La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton en cinq groupes	35
Tableau II-20: les valeurs de coefficient de compacité γ	38
Tableau II-21: les résultats du dosage au matériaux pour le béton de sable silico-calcaire	38
Tableau II-22: les résultats du dosage au matériaux pour le béton de sable alluvionnaire	37

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

B12FS : Béton de 12% fines silice

B12FC : Béton de 12% fines calcaire

B12F50/50 : Béton de 12% fines (50% calcaire + 50% silice)

B14FS : Béton de 14% fines silice

B14FC : Béton de 14% fines calcaire

B14F50/50 : Béton de 14% fines (50% calcaire + 50% silice)

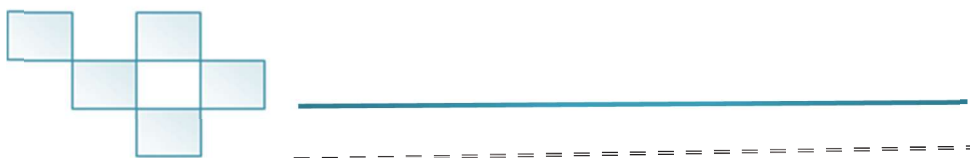
B16FS : Béton de 16% fines silice

B16FC : Béton de 16% fines calcaire

B16F50/50 : Béton de 16% fines (50% calcaire + 50% silice)



Introduction générale



Introduction générale

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

A cette échelle, la réalisation du béton nécessite la consommation d'une quantité de sable naturel de construction, ce qui n'est pas suffisant pour couvrir tous les besoins des ouvrages.

Les chercheurs ont constaté qu'en substitution une partie de ce sable par du sable artificiel extrait des concasseurs de roche calcaire qui sont présents sur un pourcentage important 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 naturel pour la construction.

En complément des résultats des recherches et études précédentes.[21], nous nous sommes intéressés à la recherche pour trouver le pourcentage optimal de fines de ce mélange (50 % sable naturel et 50 % sable de calcaire) pour obtenir les meilleures performances du béton.

Notre contribution vise principalement l'influence de l'incorporation de ce type de sable avec un bon super plastifiant sur les propriétés : du béton frais, de la résistance mécanique et de la maniabilité et durabilité. De ce fait, le présent thème a pour titre : Influence de la nature des fines sur le comportement mécanique du béton a base des granulats silico-calcaires conservé dans l'eau.

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

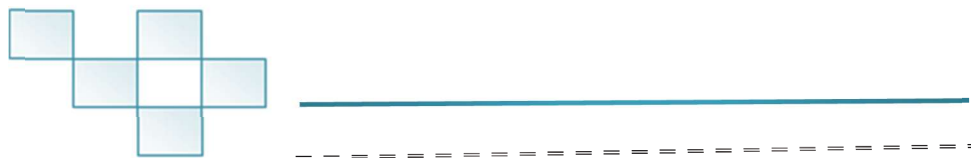
- ✓ En 1er lieu une introduction générale qui fait définir le sujet ainsi que les objectifs visés et un plan de travail.
- ✓ Dans le premier chapitre nous avons présenté une synthèse bibliographique sur le béton et ses composants essentiels, leur méthode de formulation et ainsi que les Différentes essais.

- ✓ Nous avons élaboré dans le deuxième chapitre les essais faites sur les matériaux utilisés dans ce travail, et la formulation du béton par la 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. Finalement nous avons clôturé ce travail par une conclusion générale et des perspectives.



Chapitre I

Généralité sur le béton



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]

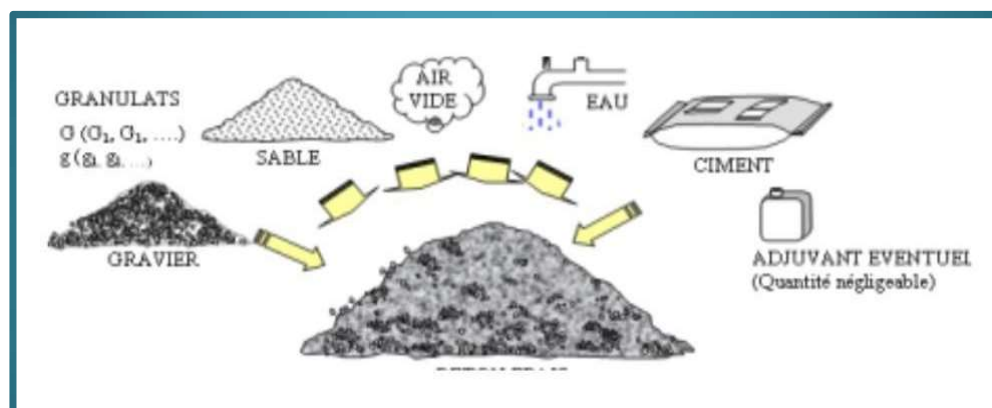


Figure I.1 : les constituants de béton.

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 : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le liant est le ciment),
- Béton asphalte ou bitumineux (le liant est bitume).
- Béton silicate (chaux)
- Béton de gypse (gypse)
- Béton résineux (résine)

I.4. Les différents types du béton :

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

I.4.1. Béton autoplaçant (BAP) Développé :

Dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton autoplaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration, ils se caractérisent en général par une formulation contenant au moins un adjuvant chimique et un ajout minéral en proportions bien précises pour satisfaire les exigences en matière de maniabilité et de stabilité [4;5].

I.4.2. Béton de hautes performances (BHP) :

Sont des bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral E/C inférieur à 0.40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires [6].

I.4.3. Béton de fibres :

Est un béton dans lequel sont incorporées des fibres synthétiques ou naturelles, ce qui permet suivant l'ouvrage, de supprimer le treillis soudé traditionnel [7].

I.4.4. Béton compacte au rouleau (BCR):

Ayant une apparence très sèche et raide et un affaissement nul, constitué d'une proportion importante de granulats avec une faible quantité de ciment d'où l'ajout des minéraux (cendres volantes, fibres calcaires, résidus miniers etc...). Il est utilisé pour la construction de barrages et aussi très utilisé au Canada dans la construction des routes [8].

I.4.5. Béton préfabriqué :

Sert à la fabrication, généralement en usine et en milieu contrôlé, de diverses composantes allant de l'élément standardisé comme le bloc jusqu'aux éléments de structure ou des panneaux de façades multifonction [9].

I.4.6. Béton à durcissement rapide :

Sont des bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation de petits ouvrages de réparation ou des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide ainsi que le décoffrage, ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication. Le durcissement rapide des bétons est obtenu soit par des adjuvants accélérateurs de durcissement, des ciments à durcissement Rapide, la diminution du rapport E/C ou bien par le traitement thermique [10].

I.4.7. Béton de terre:

C'est un assemblage de granulats divers (cailloux, graviers, sables, limons ou silts), il doit sa cohésion à une colle qui n'est pas le ciment mais l'argile, la fraction la plus fine du sol [11].

I.4.8. Béton réfractaire:

Est un béton qui résiste à des températures élevées pouvant atteindre 1300°C, obtenue Par le mélange de ciment Alumineux et de granulats réfractaires (chamottes, corindon), ou Granulats isolants (Pouzzolane, vermiculite, argile expansée), le béton réfractaire sert à la Construction de cheminées et de sols d'usines sidérurgiques [12,13].

I.4.9. Béton de poudre réactive (BPR) :

Le BPR est caractérisé par des performances mécaniques élevées et une durabilité améliorée. La ductilité que l'ajout de fibres métalliques confère au BPR le rend apte à être utilisé dans de nombreuses applications sans aucune armature passive. Les résistances en traction et en compression sont très élevées voir mêmes supérieures à celles des aciers (350 MPa) [12].

I.4.10. Béton ordinaire :

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulat, eau, avec un rapport E/C qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre $20 \text{ MPa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ MPa}$ [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]

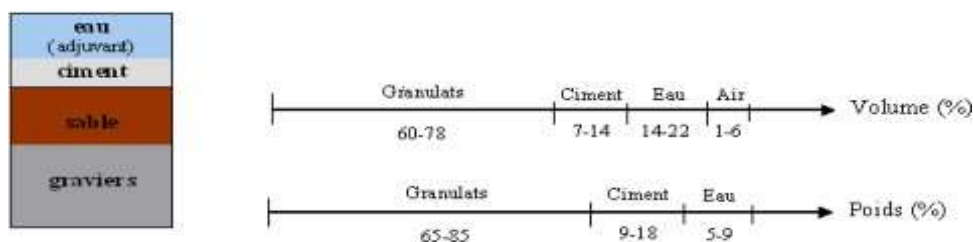


Figure I.2: Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton Ordinaire [14]

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.5.2. 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).
- Ciment de hauts fourneaux (noté CEM III).
- Ciment pouzzolanique (noté CEM IV).
- Ciment 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.

Selon le type d'environnement :

Certains ciments ont des propriétés supplémentaires leur permettant de s'adapter à des environnements spéciaux. [15]

I.5.2.1. 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 1 : composition minéralogique de clinker

Constituants	Composition et abréviation	Taux (%)	Appellation abrégée
Silicate tricalcique	3CaO. SiO ₂	45-65	C3S
Silicate bi calcique	2CaO. SiO ₂	15-25	C2S
Aluminate tricalcique	3CaO. Al ₂ O ₃	0-15	C3A
Alumino-ferrite tétracalcique	4CaO. Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃	0-10	C4AF

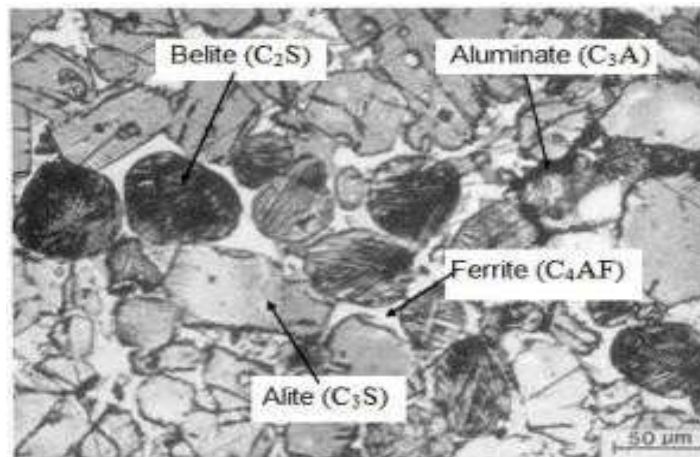


Figure I.3 : les minéraux principaux du clinker

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.5.3. Les granulats :

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. [17]

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.5.3.1. Classification des granulats selon la provenance :

I.5.3.1.1. 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. [18]

a) Granulats roulés :

Ils sont les résultats de la désagrégation des roches par l'eau ou le gel. Ainsi, ils se sont formés 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.5.3.1.2. Granulats artificiels :

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

I.5.3.1.3. 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.5.3.2. Classification des granulats selon la grosseur :

Selon leurs dimensions, on distingue : les sables, les graviers, les cailloux, les galets et les moellons. La classification la plus courante est donnée ci-dessous.

Tableau 2 : Classification des granulats selon la grosseur

Sable	0.08 mm à 3 mm
Graviers	3 mm à 25 mm
Cailloux	25mm à 80 mm
Galets et moellons	> 80mm

Galets : pierre roulées

moellon : pierre concassée

I.5.3.3. 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. [19]

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.5.3.4. Caractéristiques des granulats :**I.5.3.4.1. 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.

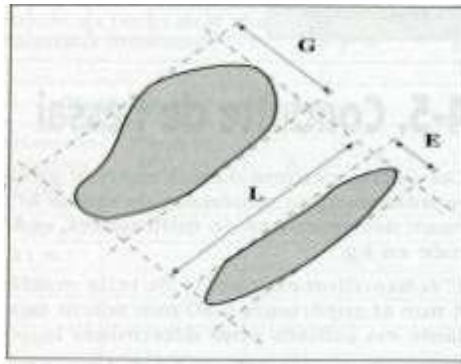


Figure I.4 : forme d'un granulats

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

Coefficient d'Aplatissement 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 : $\alpha = E/G$

6) Module de finesse NF P 18 304:

Le module de finesse (Mf) du sable est défini dans la norme comme la somme des pourcentages cumulatifs retenus sur une série de tamis normalisés données, divisée par 100. il indique la finesse d'un sable : plus le module de finesse est élevé, plus le sable est grossier

$$Mf = \frac{\text{Refus cumulés } 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5}{100}$$

- 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) [20].

I.5.3.4.2. Caractéristiques physiques :

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

La masse volumique apparente est la masse du granulats 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 prouvés 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.

P_s : poids de matériau sec.

P_h : poids matériau humide.

Si W est exprimé en % :

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

1) Propreté de sable :

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition le béton. 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 :

$$ESv \% = \frac{h' 2}{h 1} \times 100 \quad ES_p \% = \frac{h 2}{h 1} \times 100$$

Esp : équivalent de sable mesuré au piston

ESv : équivalent de sable mesuré visuellement

h_1 : hauteur du sable propre et élément fins .

h_2 : hauteur du sable propre seulement au piston

h'_2 : hauteur du sable propre seulement .

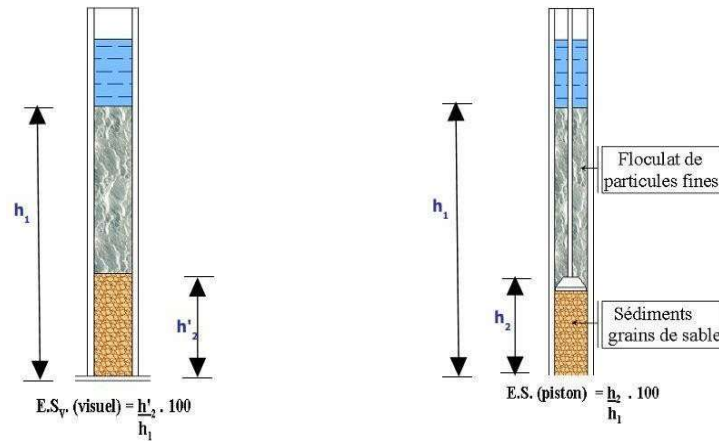


Figure I.5: Principe de l'essai d'équivalente de sable.

Tableau 3 : valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX

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

I.5.3.4.3. 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 à 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.6 : Essais Los Angeles

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'autre, 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 utilisé comprend :

- Les eaux usées ; les eaux vannes 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

On peut également citer d'autres adjuvants tels que :

- ❖ Les produits de cure
- ❖ Les entraîneurs d'air

Les retardateurs (NF EN 934-2) : Les adjuvants retardateurs sont souvent des mélanges de :

➤ Lignosulfonates : Ce sont des sous-produits de la cellulose obtenus par un procédé au bisulfite dans le traitement du bois. Leur taux élevé en sucre (xylose) est la raison de l'effet retardateur.

- Gluconate de sodium : retardateur très actif $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COO Na}$
- Gluconate de Calcium
- Acide citrique
- Le borax
- Les sucres (glucose, saccharose...)

Les retardateurs permettent :

- ❖ D'augmenter le temps de début de prise,
- ❖ De réguler le dégagement de chaleur due à l'hydratation du ciment.

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

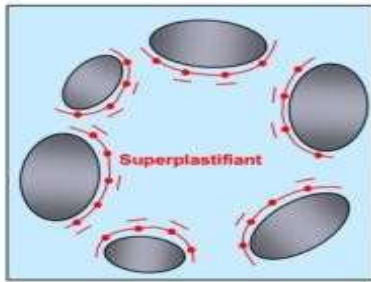


Figure I.7 Pate de non adjuvante : Floculation de grains

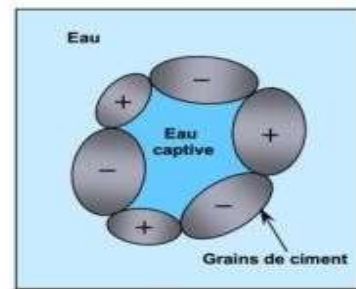


Figure I.8 Pate de ciment additionnée d'un superplastifiant : dispersion des Grains

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 : $f_{c'}$ = σ'_{28j} résistance visée à 28 jours

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

G : coefficient granulaire. (Voir tableau II-27)

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 = le rapport (C/E) × dosage de ciment(1)

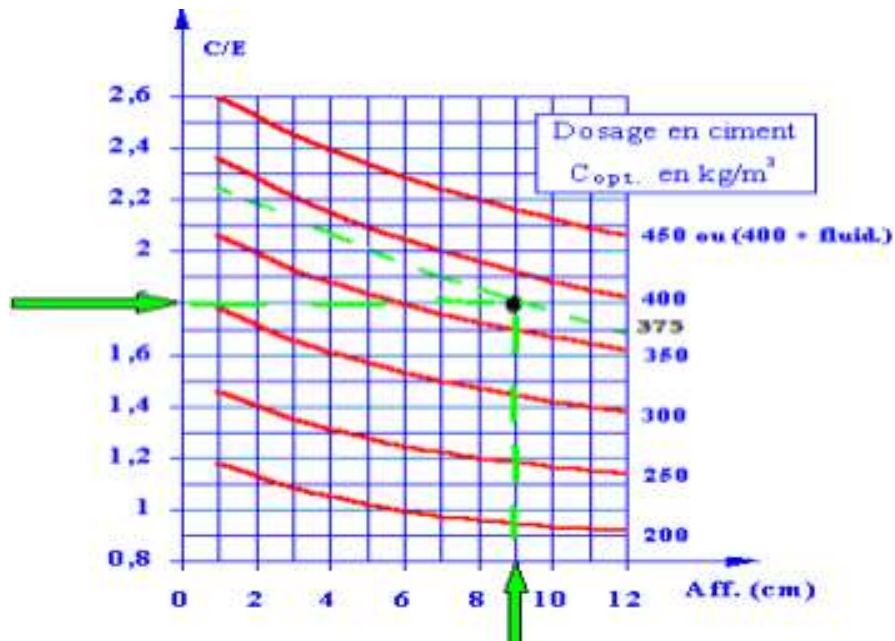


Figure I.9: dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

➤ Le Traçage de la courbe granulaire de référence AOB :

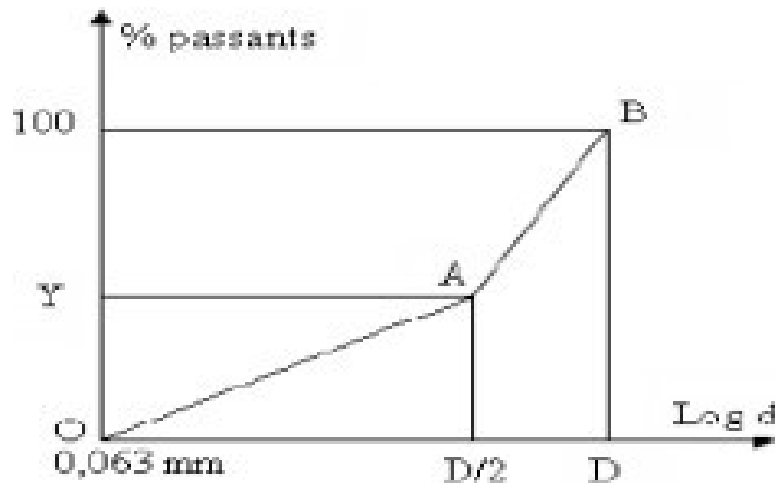


Figure I.10: La courbe optimale type selon la méthode Dreux Gorisse

- 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 1 m^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 $V = (V_c + V_g) V = 1000 \times \gamma$ (en litre)

$$V_{gt} = (1000 \times \gamma) - V_c$$

V_{gt} : volume absolu des granulats en litre ($V_{gt} = V_g + V_s$)

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 $G_{3/8} = V_G \times M_v \text{ abs}$

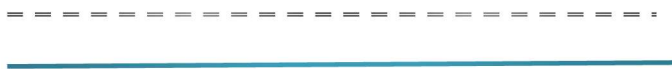
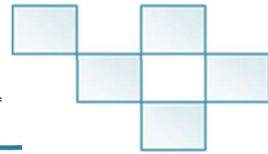
$G_{8/15} = V_G \times M_v \text{ abs}$

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

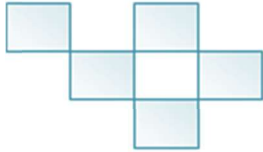
I.8.conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons expliqué à 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
Matériels et méthodes
expérimentales



Chapitre II : Matériels et Méthodes Expérimentales.

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 respectant les normes utilisées.

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 silico-calcaires) , Ensuite, nous séparons les fines de mélange, et le rajoutons dans des proportions suivantes : 12%,14% et 16% (fine calcaire , fine silice et fine 50% calcaire+50% silice) pour confectionner les bétons, B12, B14et B16 respectivement, aussi le dosage en ciment et le super plastifiant fixées 400 Kg/m³ et 2% respectivement, Le béton témoin(BT) est le béton référence ,(à base de sable alluvionnaire), on a pu observer en suite le comportement de 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. Ciment :

Le ciment utilisé dans ce travail est un ciment composé de type CEM II/B-L 42.5N de classe de résistance 42.5Mpa 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 :**

Tableau II -1 : Caractéristiques physiques du ciment utilisé [Fiche technique]

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 » [Fiche technique]

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 [Fiche technique].

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 [Fiche technique] .

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 de la zone Biskra et 50 % sable naturel roulé de la zone **Djamaa** a granulométrie 0/5 mm (sable alluvionnaire) .

Après mélangé les deux sables, nous obtenons un mélange de (sable silico-calcaires «SSC ») , on a fait varier le taux des fines de se mélange : 12%,14% et 16% on a obtenu les résultats des essais physiques et d'analyse granulométrique suivants le deux sables .

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 Djamaa «SR »				
masse sèche : 1000 gr				
ouverture des tamis (mm)	Refus partiel	Retenu cumulés	Pourcentage refus (%)	Pourcentage Passant (%)
5	22.58	22.58	2.26	97.94
2.5	25.82	48.40	4.84	95.16
1.25	76.94	125.34	12.53	87.47
0.63	270.62	395.96	39.60	60.40
0.315	381.79	777.75	77.77	22.23
0.16	211.84	989.59	98.96	1.04
0.08	7.29	996.88	99.69	0.31
module de finesse "Mf" = 2,36				

- **"Mf" = 2,36** sable préférentiel (La mise en œuvre facile et la résistance élevée).

Tableau II-6 : caractéristiques physiques de Sable alluvionnaire.

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.64	g/cm ³
masse volumique absolue	2.56	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	70.73	%

Tableau II-7 : caractéristiques chimiques de Sable alluvionnaire.

L'élément chimique	Résultats %	Norme
Insolubles	89	NF P15-461
SO ₄ ⁻²	1.98	BS1377
NaOH	0.30	NF P15-461
CaCO ₃	8.70	

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 Biskra masse sèche : 1000 gr				
Ouverture des tamis (mm)	Refus partiel	Retenu cumulés	Pourcentage refus (%)	Pourcentage Passant (%)
5	0	0	0	100
2.5	90.94	90.94	9.09	90.91
1.25	225.11	316.05	31.60	68.40
0.63	103.24	419.29	41.93	58.07
0.315	77.35	496.64	49.66	50.34
0.16	208.11	704.75	70.47	29.53
0.08	93.26	798.01	79.80	20.20
module de finesse " Mf " = 2.02				

" Mf " = 2.02 sable trop fin

Tableau II-9 : caractéristiques physiques de Sable calcaire concassé

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.58	g/cm ³
masse volumique absolue	2.58	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	32	%

Tableau II-10 : caractéristiques chimiques de Sable calcaire concassé

L'élément chimique	Résultats %	Norme
Insolubles	42	NF P15-461
SO ₄ ⁻²	0.1	BS1377
NaOH	3.31	NF P15-461
CaCO ₃	57.82	

II.2.3.3. Sable Silico-calcaire « SSC » Naturellement:

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

Analyse granulométrique par tamisage matériau : Sable Silico-calcaire « SSC » masse sèche : 1000 gr				
Ouverture des tamis (mm)	Refus partiel	Retenu cumulés	Pourcentage refus (%)	Pourcentage Passant (%)
5	7.62	7.62	0.76	99.24
2.5	43.60	51.22	5.12	94.88
1.25	142.32	193.54	19.35	80.65
0.63	160.80	354.34	35.43	64.57
0.315	242.43	596.77	59.68	40.32
0.16	297.97	894.74	89.47	10.53
0.08	66.24	960.98	96.10	3.90
module de finesse " Mf " = 2.09				

" Mf " = 2.09 sable trop fin

Tableau II-12 : caractéristiques physiques de Sable Silico-calcaire

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.61	g/cm ³
masse volumique absolue	2.57	g/cm ³
Equivalent de Sable « ES »	51.72	%

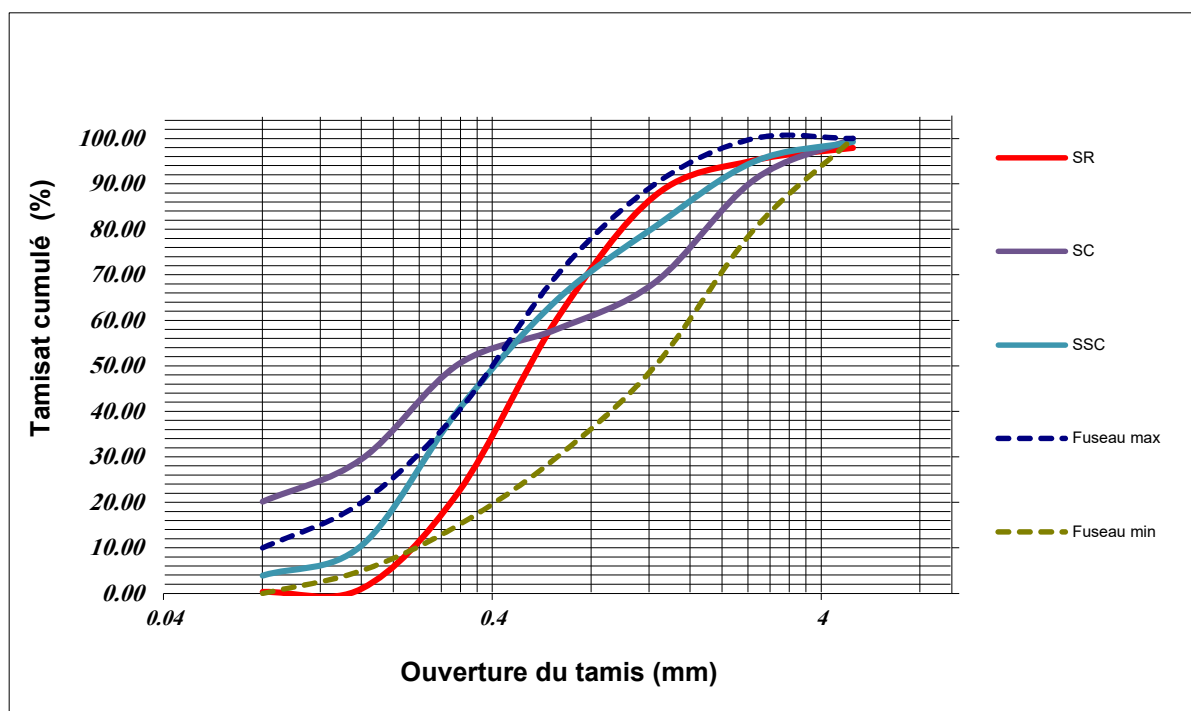


Figure II-2 La courbe granulométrique de mélange de trois types de sable (SR et SC et mélange de sable SSC «50 % SR + 50% SC »)



Figure II-3 : sable roulé 0/5



Figure II-4 sable concassé 0/3



Figure II-5 les fines de mélange ssc

II.2.4. Les Graviers :

Les graviers utilisés sont des graviers de carrière **Biskra**. Dans notre analyse nous avons utilisé deux types de gravier qui sont : le gravier 3/8 et le Gravier 8/15.

➤ Les Graviers 3/8 :

Tableau II-13 : caractéristiques physiques de Graviers 3/8

Caractéristiques	Résultats	Unité
masse volumique apparent	1.31	g/cm ³
masse volumique absolue	2.70	g/cm ³
propreté superficielle	1.02	%
Los Angeles	23	%
Coefficient d'absorption	2.5	%
Coefficient d'Aplatissement	30	%

LA=23% gravier assez dur ($20\% \leq LA \leq 30\%$)

Tableau II-14 analyse granulométrie de graviers 3/8

Analyse granulométrique par tamisagematériau : graviers 3/8 masse sèche : 2900 gr				
ouverture des tamis (mm)	Refus partiel	Retenu cumulés	Pourcentage refus (%)	Pourcentage Passant (%)
8	1.9	1.9	0.06	99.94
6.3	322.65	324.55	11.19	88.81
5	723.74	1048.29	36.15	63.85
2.5	1668.03	2716.32	93.67	6.33
1.25	123.69	2840.01	97.93	2.07
0.63	14.97	2854.98	98.45	1.55

➤ Les Graviers 8/15 :

Tableau II-15 : caractéristiques physiques de Graviers 8/15

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1.36	g/cm ³
Masse volumique absolue	2.70	g/cm ³
Propreté superficielle	0.87	%
Los Angeles	24.52	%
Coefficient d'absorption	1.31	%
Coefficient d'Aplatissement	10.78	%

LA=24.52% gravier assez dur ($20\% \leq LA \leq 30\%$)

Tableau II-16 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 (%)
16	906.49	906.49	22.11	77.89
12.5	1122.02	2028.51	49.47	50.53
10	922.88	2951.39	71.98	28.02
8	702.42	3653.81	89.11	10.89
6.3	343.66	3997.47	97.49	2.51
5	72.32	4069.79	99.25	0.75
4	13.81	4083.60	99.59	0.41



Figure II-6 Enchantions graviers utilisé 3/8 et 8/15

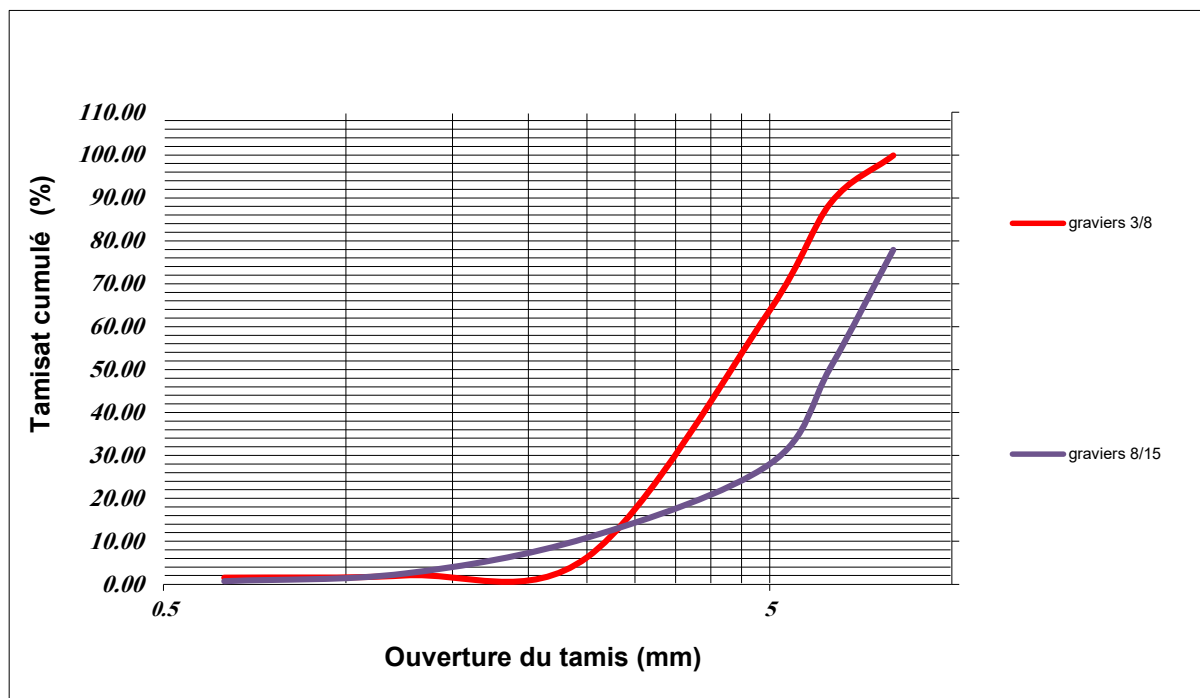


Figure II-7 La courbe granulométrique de graviers 3/8 et 8/15

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 utilisés 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 $< 1\text{g/let}$ extrait sec

30±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.

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. (ANNEX 01).

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 [16]. Pour tracer les courbes nous, avons utilisé le programme « Excel ».

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

1) Les Données pour le Mélange de sable silico-calcaire :

- Affaissement ($A = 6$ cm) et le béton de vibration normale.
- Le ciment utilisé est un CEM II B-L 42.5 N.
- Les graviers concassés
- Le sable (50 % concassé 50% roulé) .
- $F_{c28} = \sigma_{28j} = 38$ Mpa
- σ_c (la résistance maximal de ciment) = 62.5 Mpa = 625 bar (cette valeur est lemaximale de résistance du ciment utilisé à 28 jours [1]) .
- 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-17 : détermination de G (coefficient granulaire)

Qualité desgranulats	Dimension D des granulats		
	Fins $D \leq 16 \text{ mm}$	Moyens $(25 \leq D \leq 40 \text{ mm})$	Gros $(D \geq 63 \text{ mm})$
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 : $\sigma_{28j} = 38 \text{ MPa} = 380 \text{ bar}$

La résistance visée vaut alors :

$$\sigma'_{28j} = 1.15 \sigma_{28j} = 1.15 \times 38 = 43.7 \text{ MPa} = 437 \text{ bar}$$

4) Dosage en ciment et en eau :

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

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

$$C/E = 2.26$$

Remarque :

L'augmentation du pourcentage des fines entraînera une augmentation de la surface spécifique de granulats, 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 (silico- 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 0,5 => $C/E = 2$.

- 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**.

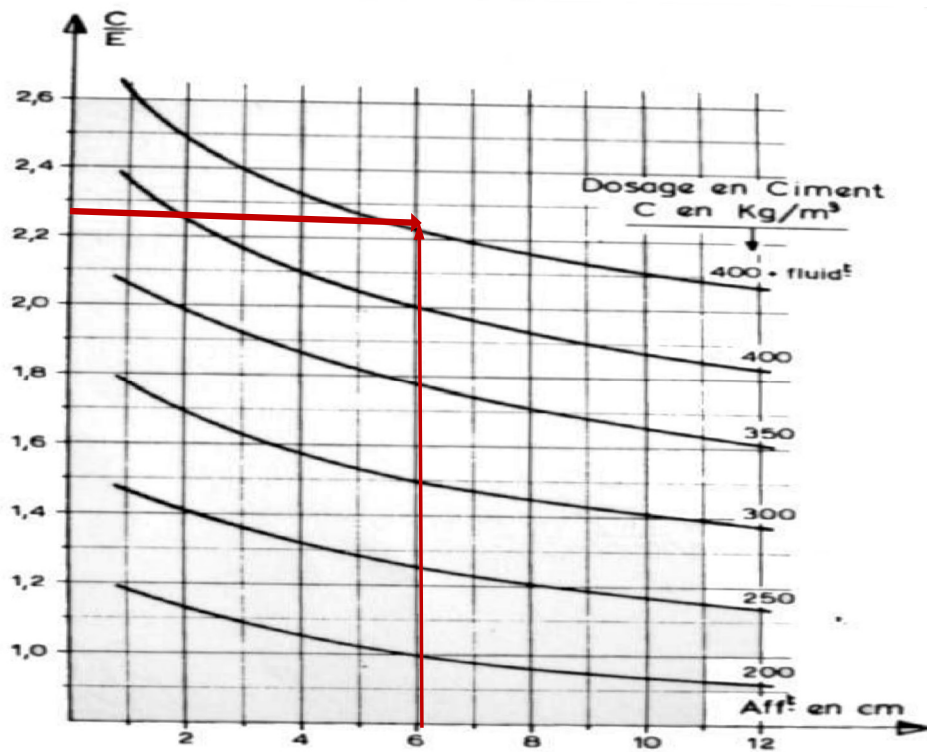


Figure II-08 L'abaque relatif l'affaissement a dosage du ciment

- La valeur en Eau est calculée comme suit :

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

$$E = \frac{400}{2} = 200 \text{ LITRES}$$

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

Sur le graphe de l'analyse granulométrique du sable et graviers à 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 :

$$\begin{aligned} X &= D/2 \text{ si } D \leq 20\text{mm} \\ X &= \text{milieu du segment } [5\text{mm}, D] \text{ si } D > 20\text{mm}. \\ Y &= 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p \end{aligned}$$

➤ Calcul de XA

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

Calcul de YA: $50 - \sqrt{d} + k + k_s + k_p$ ($k_p=0$)

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-18 : 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 enciment
-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 granulat utilisé est concassé et roulé donc :

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

$$k_s = 6M_f - 15 = 6 \times 2.09 - 15 = -2.46$$

$$YA = 50 - 16 - 3 - 2.46$$

$$YA = 40.54$$

5) **Traçage de la courbe granulaire** (Voir l'Annexe N° 06):

6) **Détermination en pourcentages des matériaux secs :**

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

Sables = 30 %

Gravies 3/8= 10%

Gravies 8/15= 60 %

7) **Détermination en volume des matériaux secs:**

Tableau II-19 : 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-20 : les valeurs 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 $D_{max} = 16$ mm entre 12.5 et 20mm

Alors : $\gamma = (0.815 + 0.825) / 2 = 0.820 - 0.01 \Rightarrow \gamma = 0.810$

Donc : la volume absolu de matériaux secs : $V = 1000 \gamma = 0.810 \times 1000 = 810$ litres

b) Détermination du volume absolu "Vc" du ciment:

*Volume absolu du ciment :

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

Avec C: dosage en ciment en (kg) .

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

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

$$* V_{gt} = V - V_c \text{ (en litre)} \quad \Rightarrow \quad V_{gt} = 810 - 129.03 = 680.97 \text{ L/m}^3$$

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

$$* V_s = V_{gt} \cdot \% \text{ sable (en litre)} \quad \Rightarrow \quad V_s = 680.97 \times 30 / 100 = 204.29 \text{ L/m}^3$$

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

$$* V_g = V_{gt} \times \% \text{ gravier (en litre)} \quad \Rightarrow \quad V_g = 680.97 \times 10 / 100 = 68.10 \text{ L/m}^3$$

f) Détermination Du Volume Absolu "VG" Du Gravier 8/15:

$$V_G = V_{gt} \cdot \% \text{ gravier (en litre)} \quad \Rightarrow \quad V_G = 680.97 \times 60 / 100 = 408.58 \text{ L/m}^3$$

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

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

$$\Rightarrow \text{Sable: } S = V_s \cdot \gamma_s = 204.29 \cdot 2.57 = 525.03 \text{ kg /m}^3$$

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

$$\Rightarrow \text{Gravier } g = V_g \cdot \gamma_g = 68.10 \cdot 2.70 = 183.87 \text{ kg /m}^3$$

• gravier 8/15 : $G = V_G \cdot \gamma_G$

$$\Rightarrow G = 408.58 \cdot 2.70 = 1103.17 \text{ kg /m}^3.$$

9) Récapitulatif des dosages en kg/m³:

Sable :	525.03	kg /m ³
Gravier 3/8 :	183.87	kg /m ³
Gravier 8/15 :	1103.17	kg /m ³
Ciment :	400	Kg/m ³
Eau :	200	Kg/m ³
Total (Δ) :	2412.07	Kg/m ³

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

$$\gamma_b = \Delta / 1000 = 2412.07 / 1000 = 2.412 \text{ g/cm}^3$$

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

Tableau II-21 : les résultats du dosage au matériaux pour le béton de sable silico-calcaire

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	30	10	60	525.03	183.87	1103.17	400	200	2.412

TableauII-22: les résultats du dosage au matériaux pour le béton de sable alluvionnaire

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	31	10	59	548.35	186.33	1100.71	400	200	2.435

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 supérieur 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 .

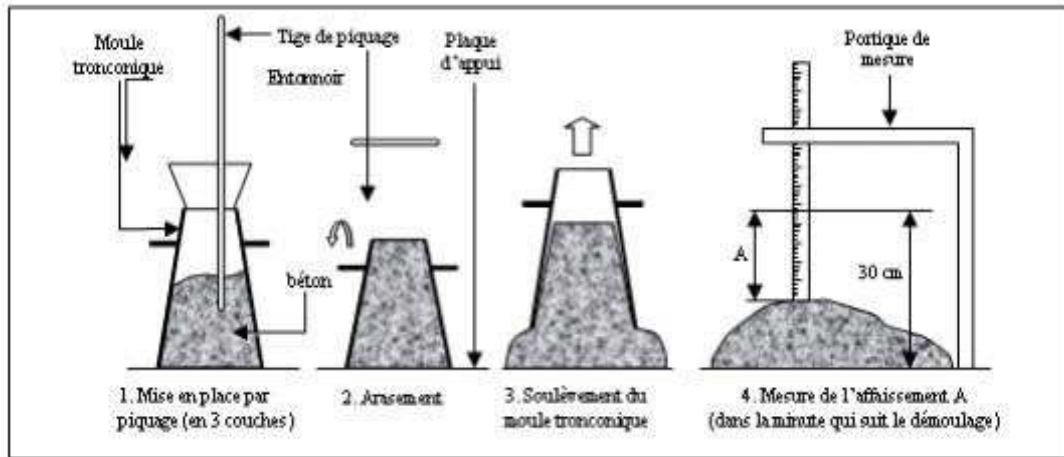


Figure II-9 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

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 connue, suivant la spécification de la norme EN12350-6 (EN 12350-6,1999). La quantité du mélange est répartie 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 vibré à l'aide d'un vibreur électrique 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 : masse volumique

m1 : est la masse du conteneur, en kilogrammes;

m2 : 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 mètre cube.

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 à la compression

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 II.12.

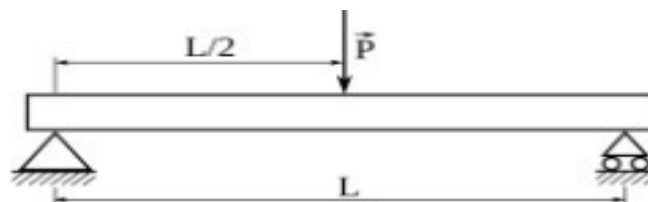


Figure II-10 essai de flexion

L'essai est déroulé comme suit :

- Placer l'éprouvette 7x7x28 cm entre les appuis du support de flexion. La face latérale de l'éprouvette doit être en contact avec les appuis.

- Amener l'appui supérieur en contact avec la face supérieure de l'éprouvette après lamise en marche de la presse jusqu'à la rupture.
- Lire la valeur de la graduation correspondante à l'intensité de la charge appliquée.
- Convertir la dernière valeur en force de rupture ; soit " P ".
- Refaire la même démarche pour les autres éprouvettes.

Application de la formule ci-après pour calculer la résistance à la flexion :

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

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

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 cylindriques 11x22 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 (fine calcaire, fine silice et fine 50% calcaire+50% silice). Ces mesures sont faites aux échéances 7,28 et 56 jours.

Et après lecture directe du temps et de la vitesse ultrasonique d'après l'écran (figure II-13). Ou procède au calcul de la vitesse ultrasonique par l'application de la relation suivante :

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



Figure II-11 Essai ultrasonique

L : longueur de l'éprouvette

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

II.5.1.4. Essais de mesure de l'Absorption d'eau :

La perméabilité à l'eau est l'indicateur majeur de la durabilité des bétons. En effet, ce paramètre caractérise l'aptitude du matériau à laisser pénétrer et circuler des agents agressifs.



Figure II-12 séchage des éprouvettes dans le four.

Let est de l'absorption capillaire a été effectué sur des échantillons prismatiques après l'opération de flexion. Ces échantillons ont été sciés à partir de demi des éprouvettes

prismatiques 70×70×280 mm 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 inférieure et 5 mm du bas d'échantillon. 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, 60, 90) min, 24h, 48h, 72h.
- Déterminer la quantité d'eau absorbée



Figure II.13: L'essai d'absorption par capillarité

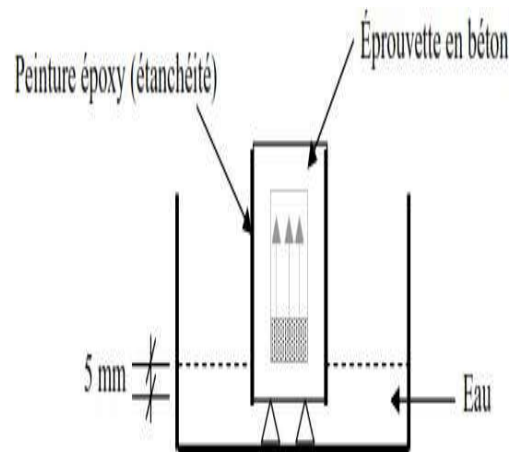


figure II.14: Principe de l'essai d'absorption par capillaire

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:

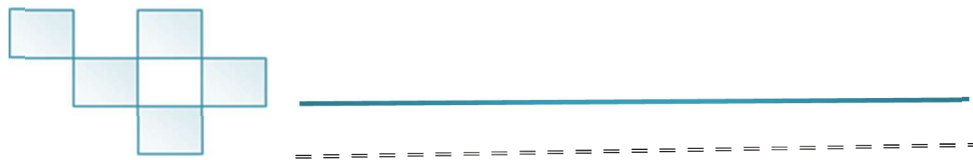
Nous avons résumé à ce chapitre après avoir effectué des essais expérimentales chimiques et physiques sur les deux sables utilisés (sable roulé et sable concassé), ainsi que sur le sable silico-calcaire, nous avons observé que la masse apparente et l'absolue sont presque égales.

Aussi le module de finesse (M_f) est presque égal pour (le sable calcaire et le sable silico-calcaire) est augmenté pour le sable alluvionnaire, cela a formulation du béton, ce qui a entraîné une augmentation de sa masse volumétrique.



Chapitre III

Analyse et Discussions des Résultats



Chapitre III : Analyse et Discussions des Résultats

III. 1 Introduction :

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

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

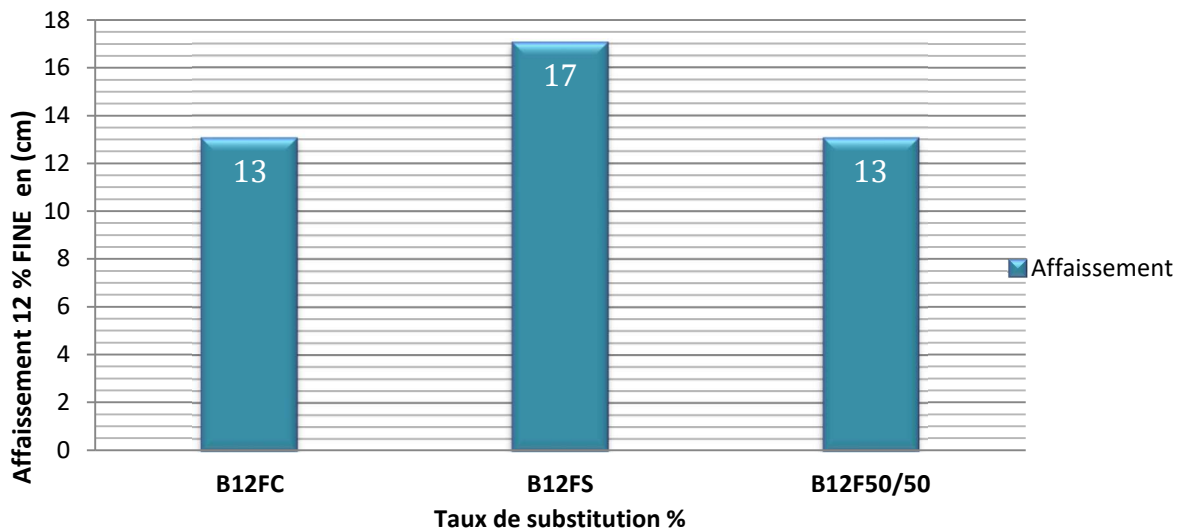
III.2.1 Ouvrabilité :

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

Nous avons noté que l'augmentation de l'affaissement est proportionnel à diminution du pourcentage de fines et avec le rapport de d' $E/C = 0.5$ et un Super Plastifiant égale 2% par rapport au poids du ciment .

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

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



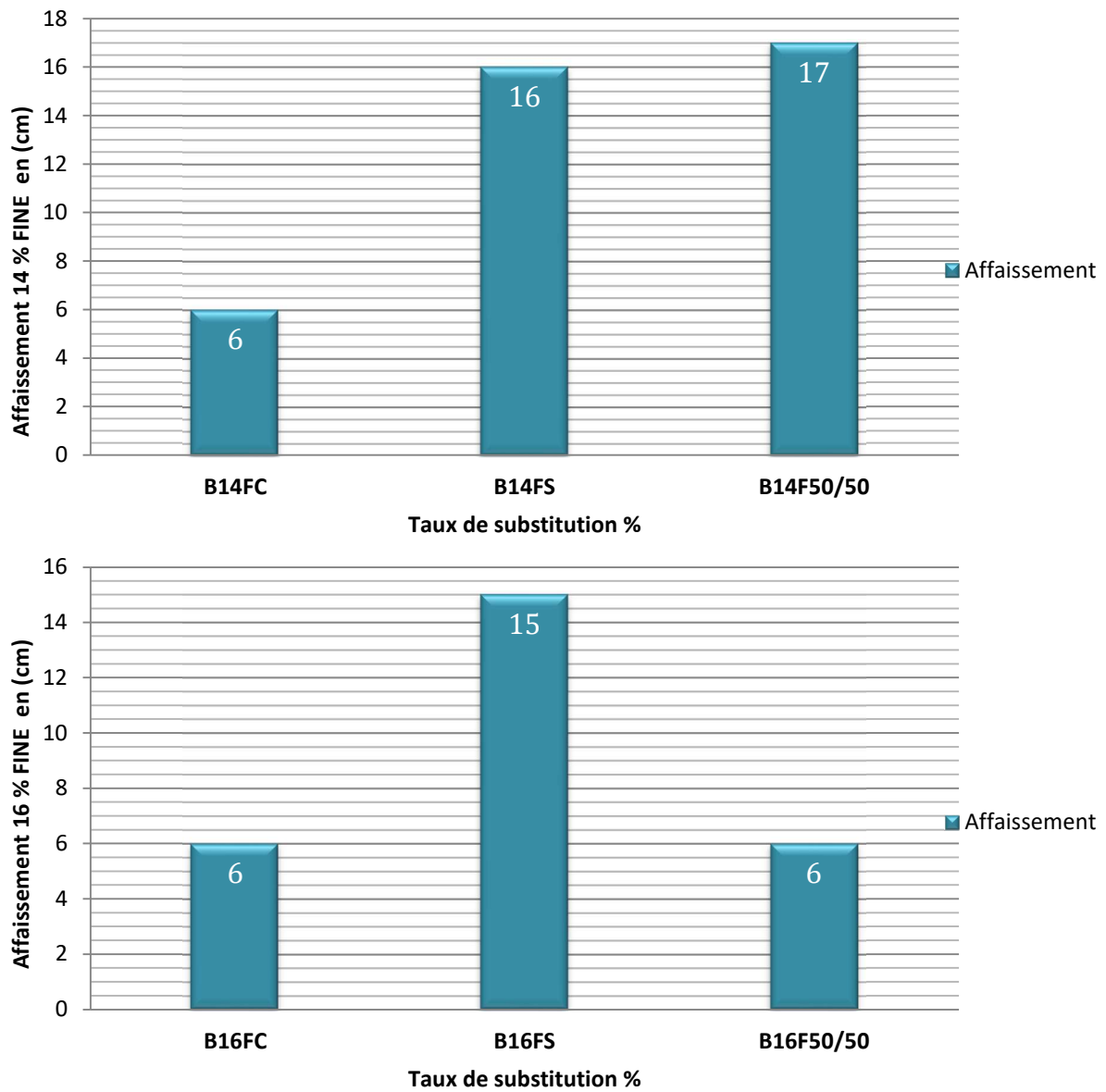


Figure III.1. L'effet de la variation du pourcentage de fines sur l'ouvrabilité

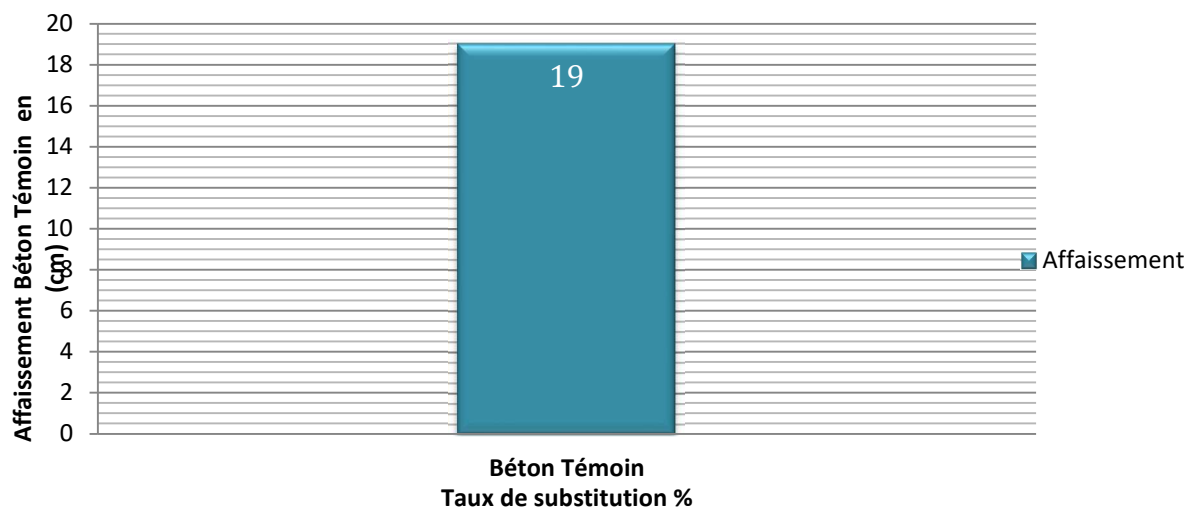
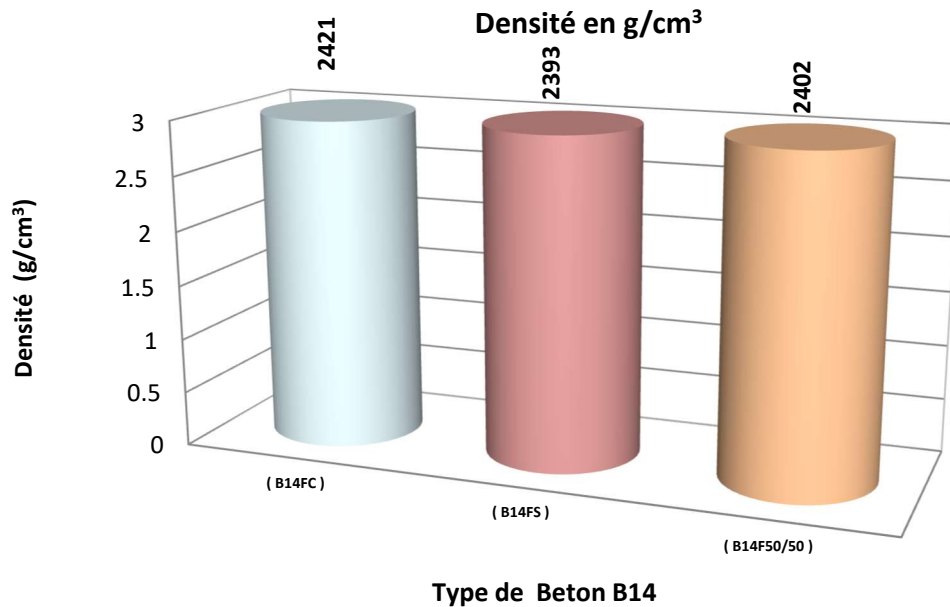
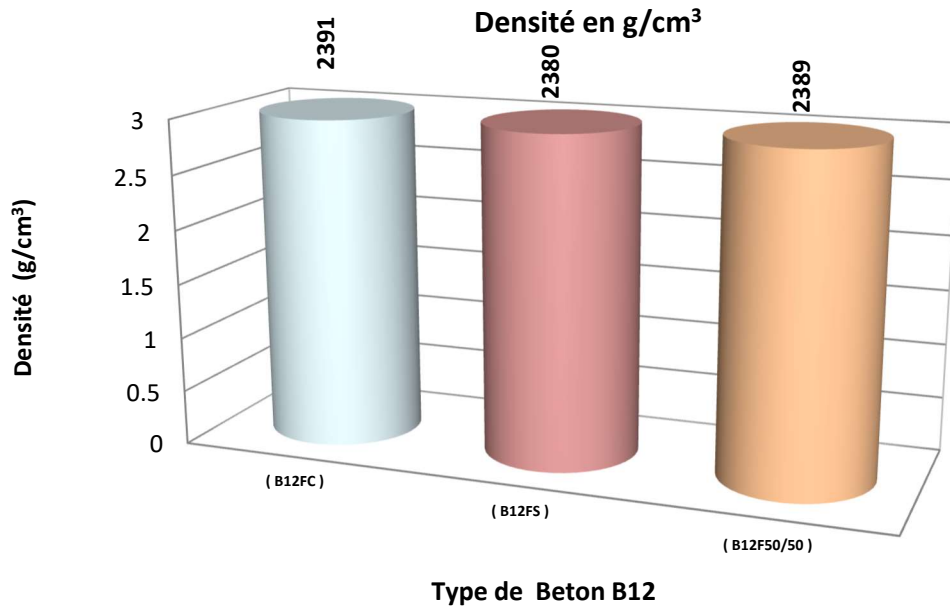


Figure III.2. L'ouvrabilité du béton témoin

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 bétons à base de sable d'un pourcentage (12% , 14% et 16%) avec la variation des pourcentages des fines (silice , calcaire et silico-calcaire). .



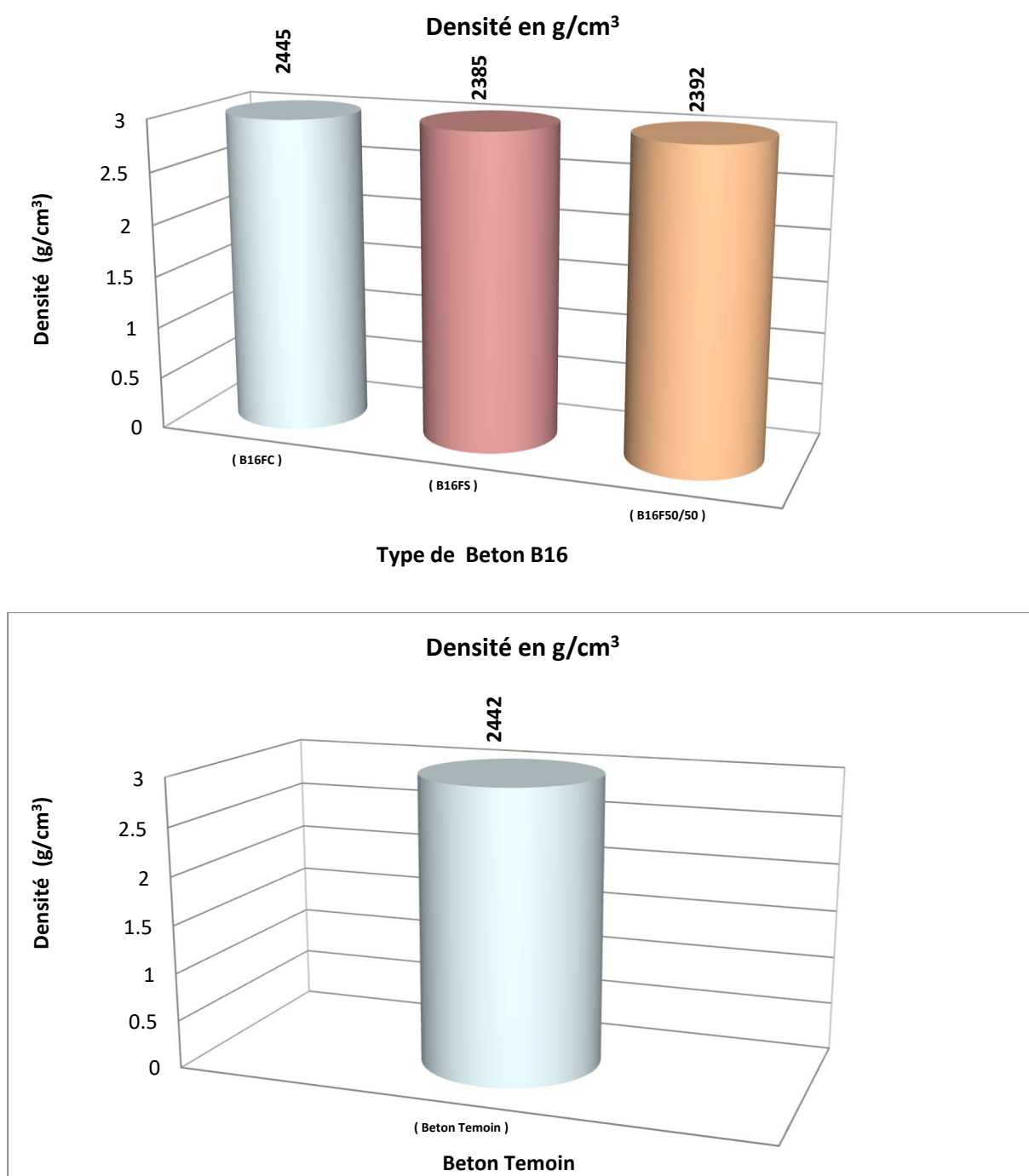


Figure III.3. Variation de la densité du béton en fonction de variation de taux

D'après les résultats obtenus, on remarque une augmentation de la densité avec l'augmentation de la teneur en fines pour le béton à base de sable (silico – calcaire) jusqu'à 14 % puis il diminue.

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 BT (béton témoin) a base de sable rivières leur densité est élevé par – rapport au béton a base de sable (silico – calcaire),

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

III.3.1. Essai de la compression :

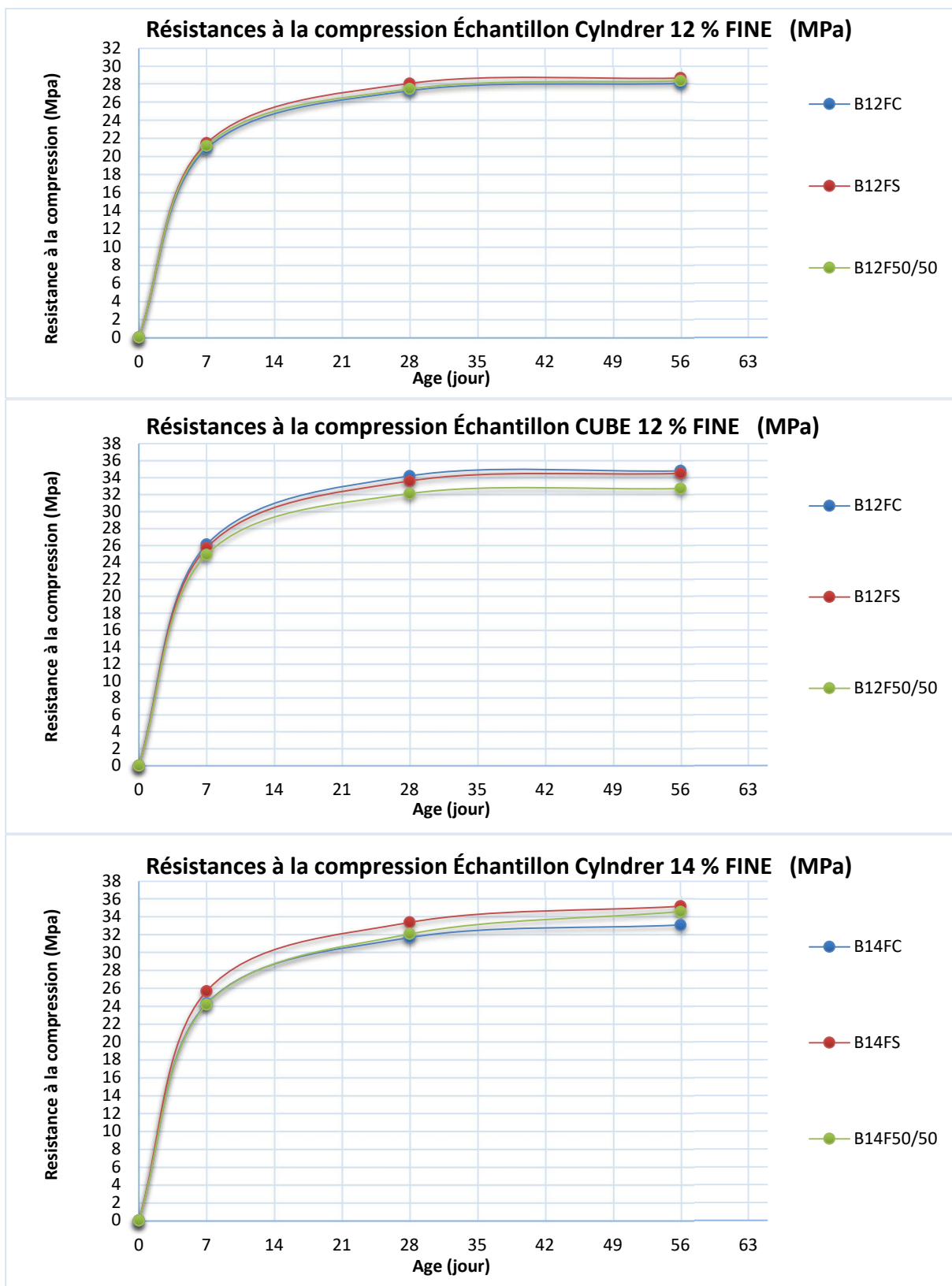
La résistance à la compression est une caractéristique primordiale des bétons et l'un des paramètres principaux de notre recherche.

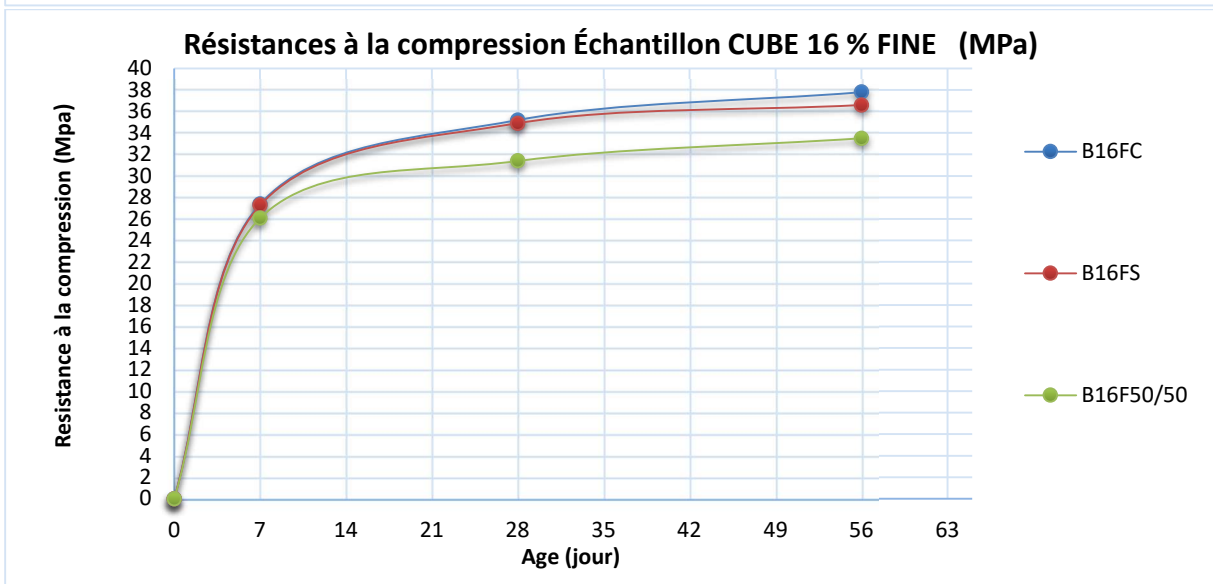
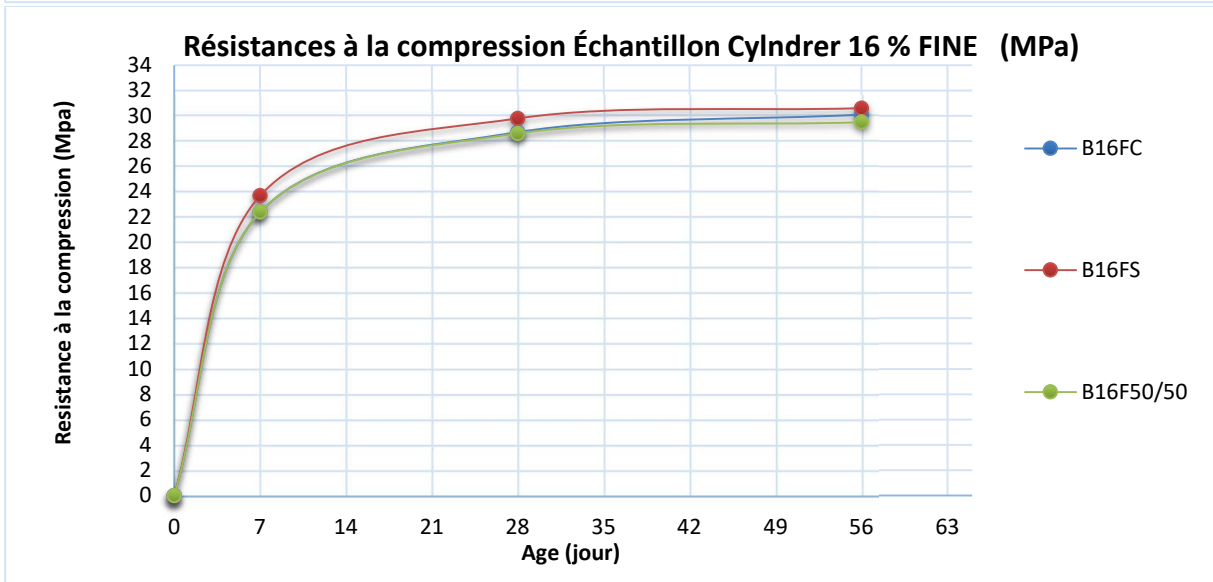
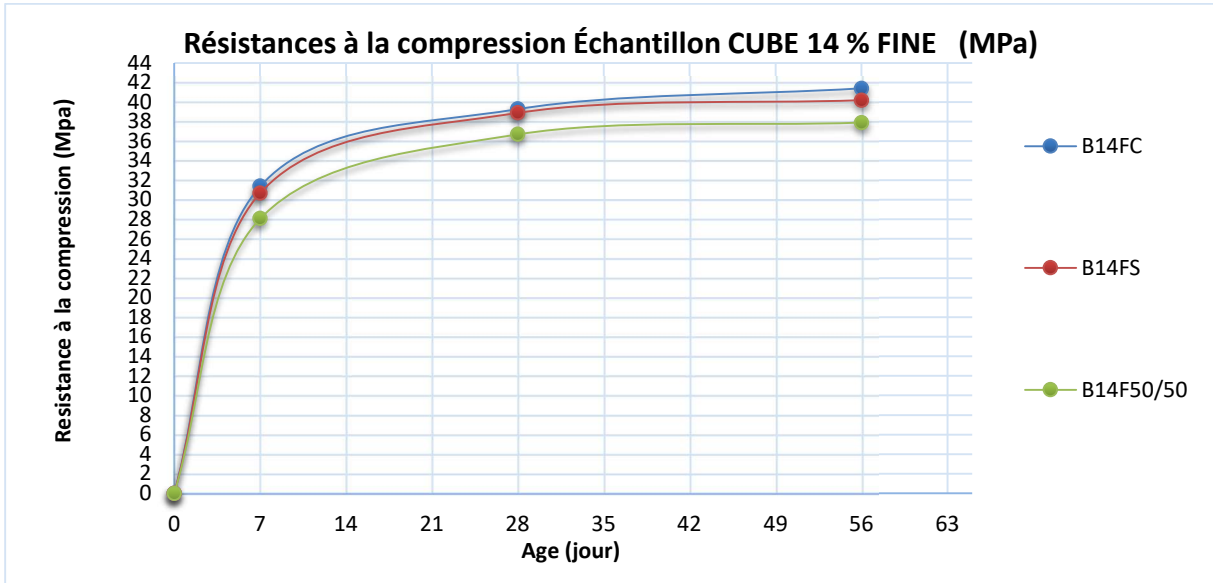
Les résistances à la compression ont été subies suivies sur des éprouvettes de 10x10x10 cm et des éprouvettes cylindriques de 11x22 cm soumis à une immersion continue à l'eau jusqu'au la jour d'écrasement, La Figure III.4. Chaque type de béton avec âge (7 et 28 et 56) jours dans le but de prendre un pourcentage optimal des fines (SC) pour béton à base de sable (silico-calcaire) et pour obtenir des meilleurs résultats a résistance de compression.



Figure III.4. Essai de compression.

L'influence résultats de compression à base de variation les fines (silico-calcaire) pour le béton de sable « SSR » sont présentés dans le courbe de la figure III.5.





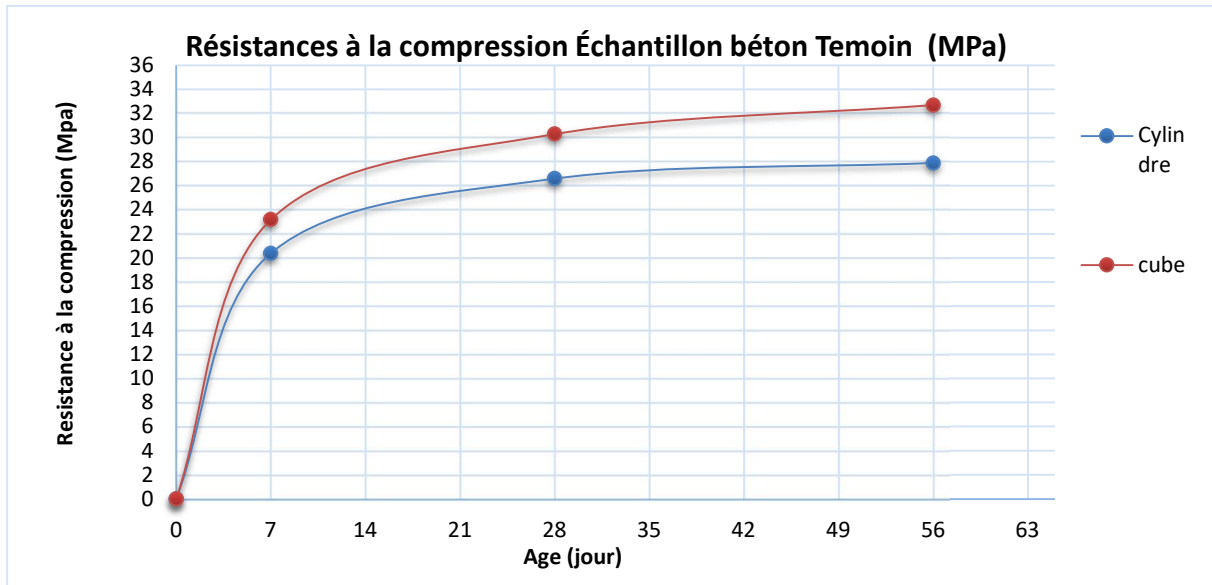


Figure III.5. Variation de la résistance à la compression du béton en fonction de variation le taux de fines (silico-calcaire)

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 de sable silico-calcaire sont meilleurs que le béton témoin (BT), en raison d'adhérence entre les grains.
- L'augmentation de la résistance correspondant à l'augmentation du pourcentage de fines jusqu'au 14% puis il démunie car cette valeur remplit complètement les pores.
- Nous concluons que le béton qui contient de différents pourcentages des fines (silice, calcaire, silico-calcaire) en pourcentage (12%, 14% et 16 %) sont influé positivement sur la résistance à la compression, et que le pourcentage 14 % donne la meilleure résistance.
- Nous remarquons que les fines silices et calcaires ont donnés des résultats mieux que les fines silico-calcaire.

III.3.2. Essai de flexion :

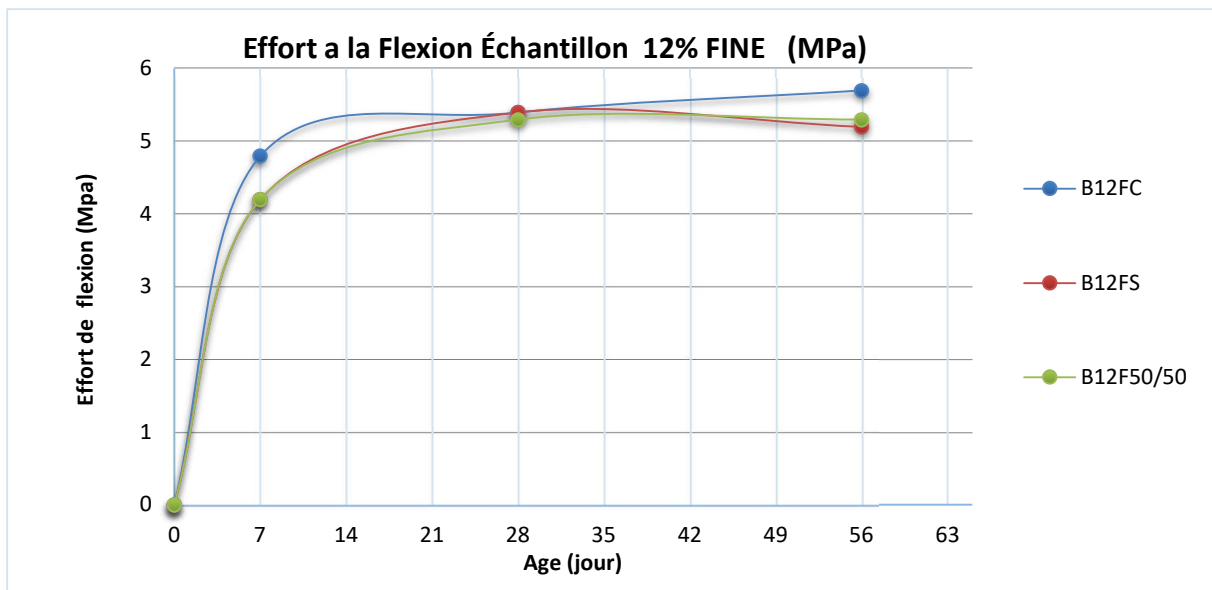
Pour effectuer cet essai, on a préparé trois éprouvettes prismatiques ($7*7*28$) (cm^3)

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



Figure III.6. Essai de flexion

L'influence résultats de résistance à la flexion à base de variation des fines de sable (silico-calcaire) pour le béton de « SC » sont présentés dans le courbe de la figure III.7.



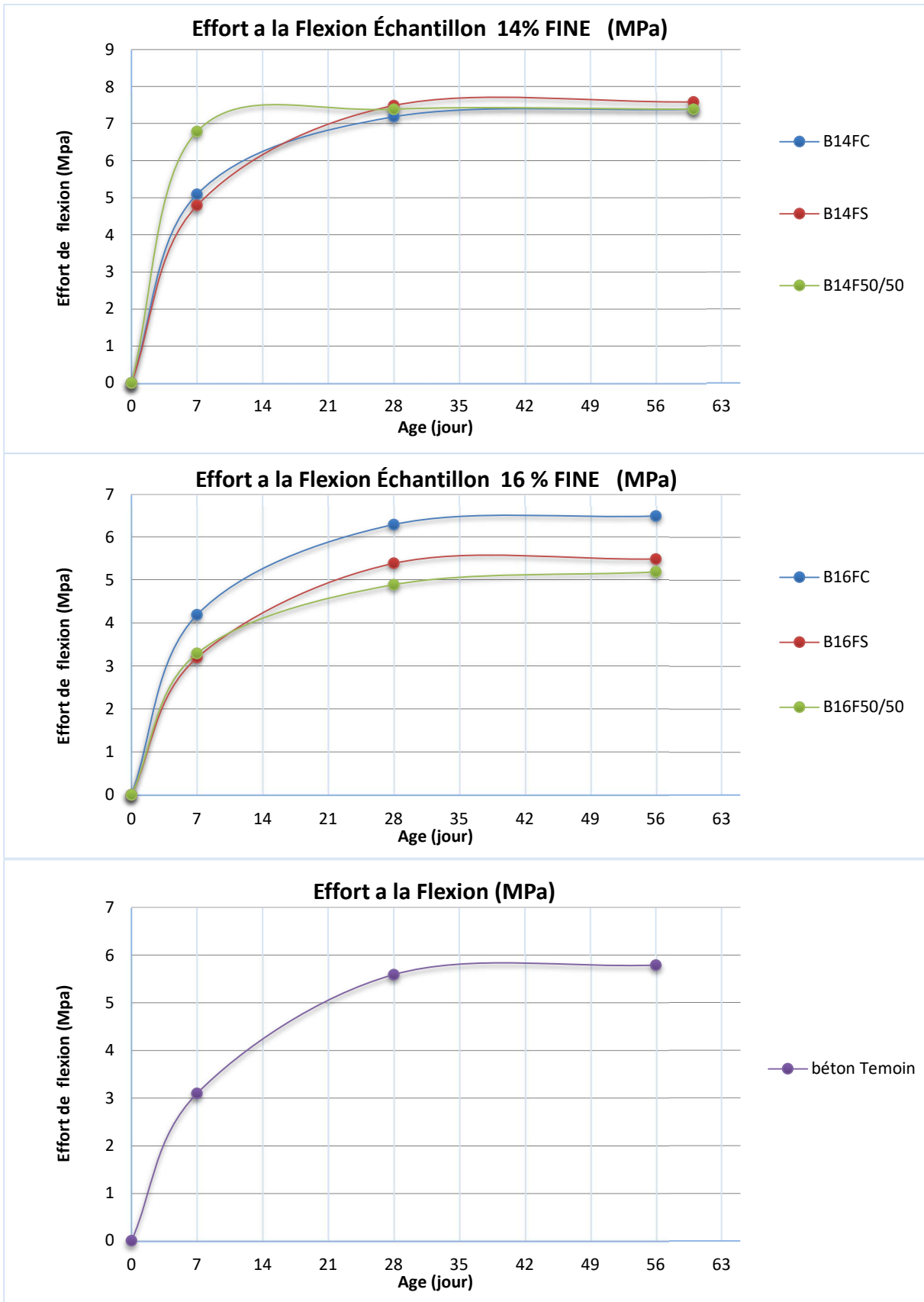


Figure III.7. Variation de la résistance à la flexion du béton en fonction de variation le taux de fines (SSC)

- 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 28ème jour, quand elle commence à se stabiliser partiellement, Cela explique les étapes de l'hydratation la pâte du ciment.

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

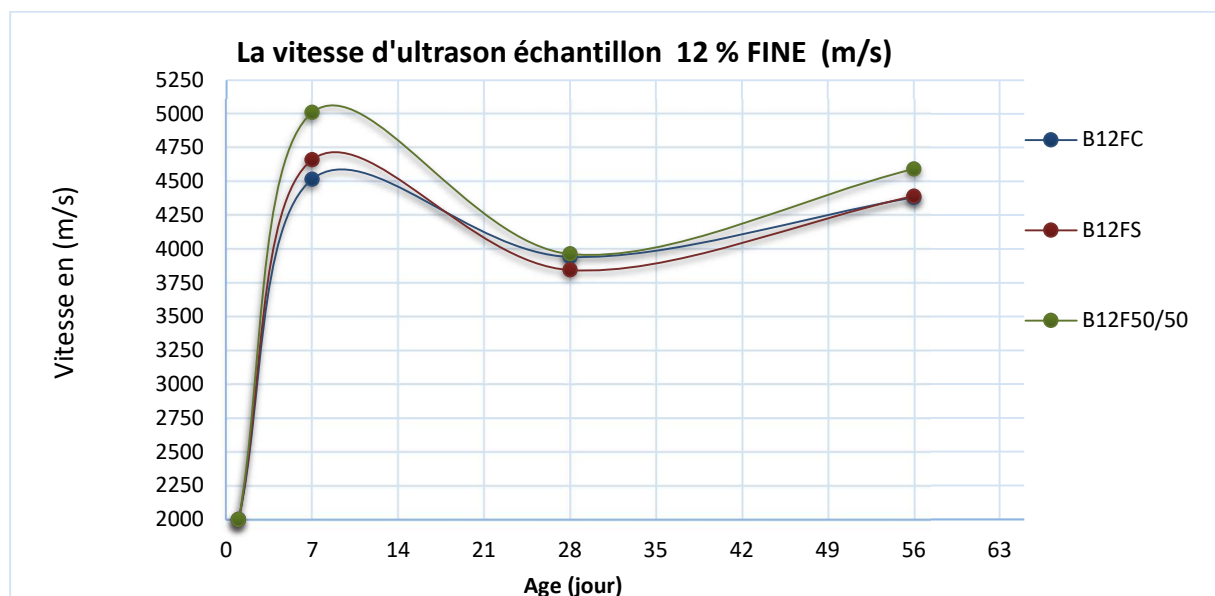
- Nous avons remarqué que les résistances à la flexion pour le béton à base d'un sable silico-calcaire sont supérieures que le béton témoin, en raison de la forme angulaire des grains calcaire Qui en gendre de meilleure cohésion entre les granulats et la pâte.

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 fines de sable avec 14 %.

III.3.3. 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 de l'éprouvette de forme cylindriques (11x22) cm séchés sous test.

On tester chaque type du béton avec l'âge (7, 28 et 56 jours), dans le but de prendre une optimal pourcentage des fines (SC) pour béton à base de (SSC) sont présentés dans la figure III.8



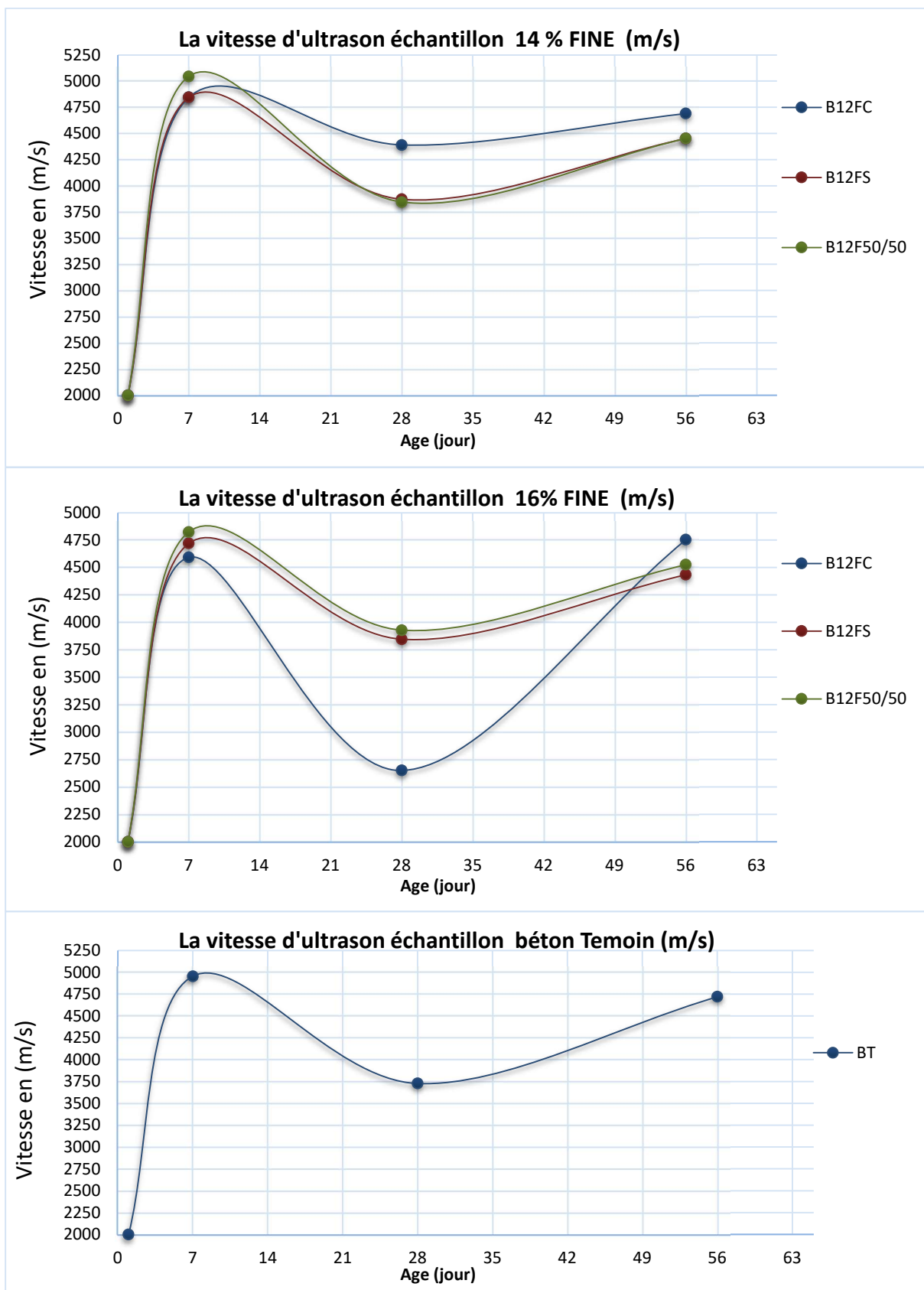
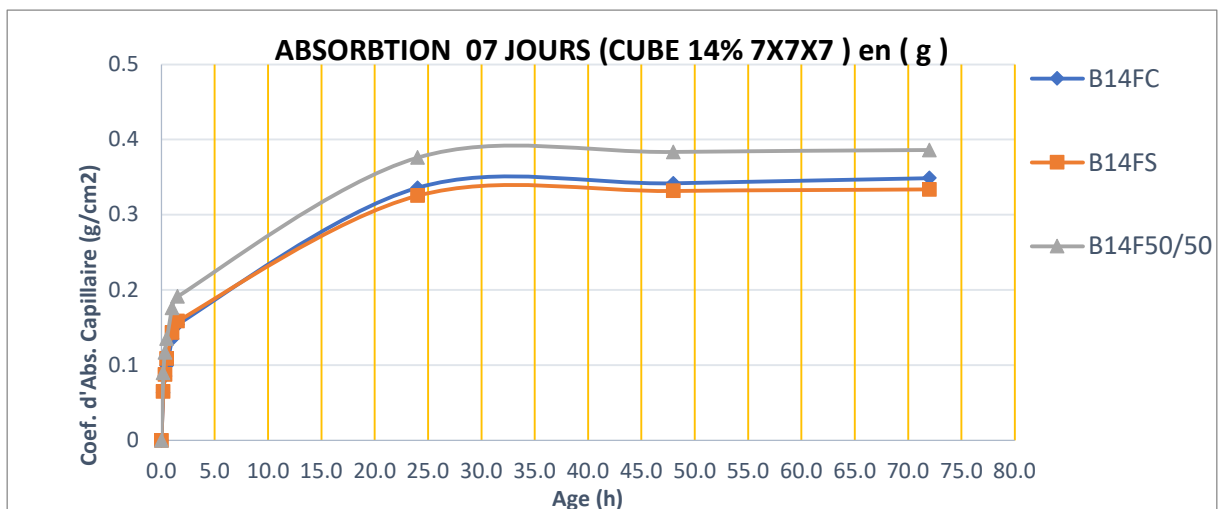
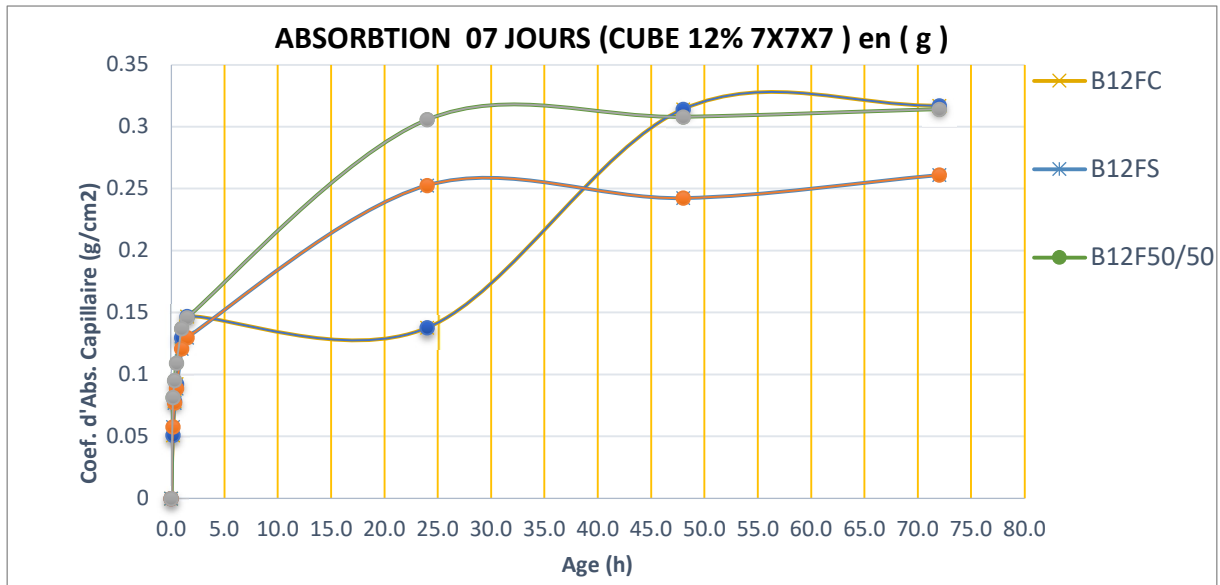
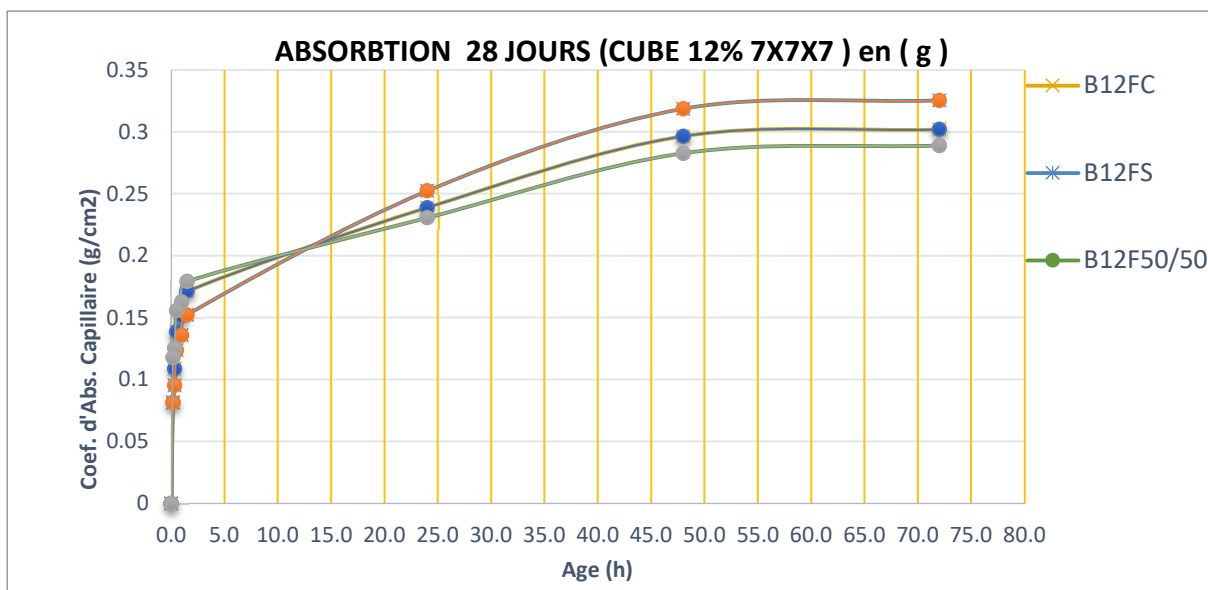
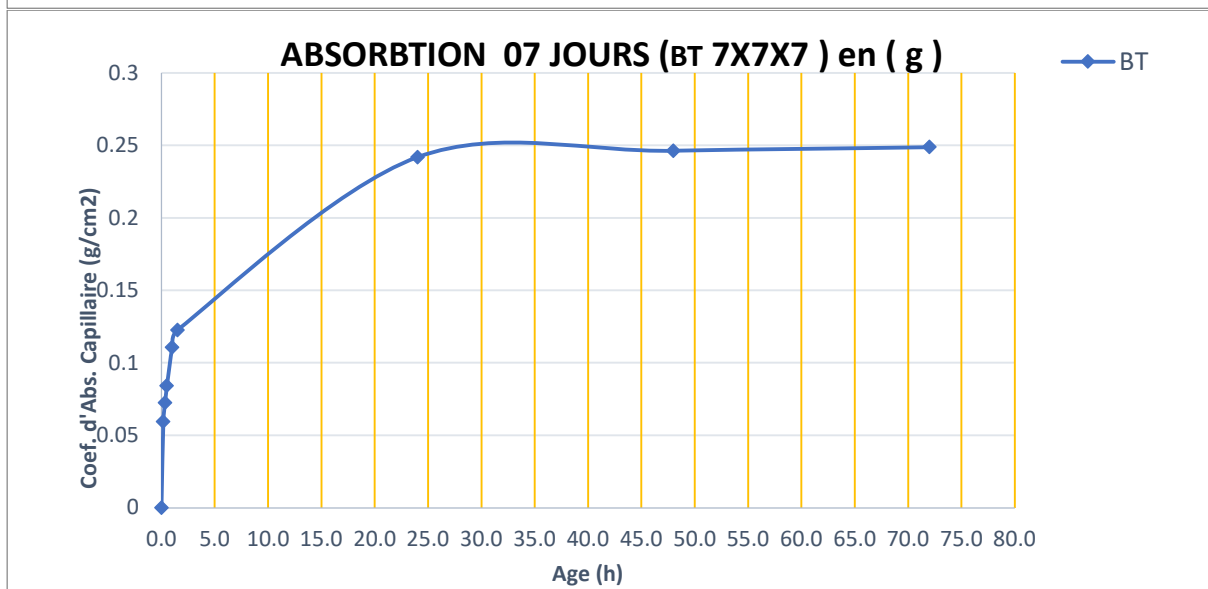
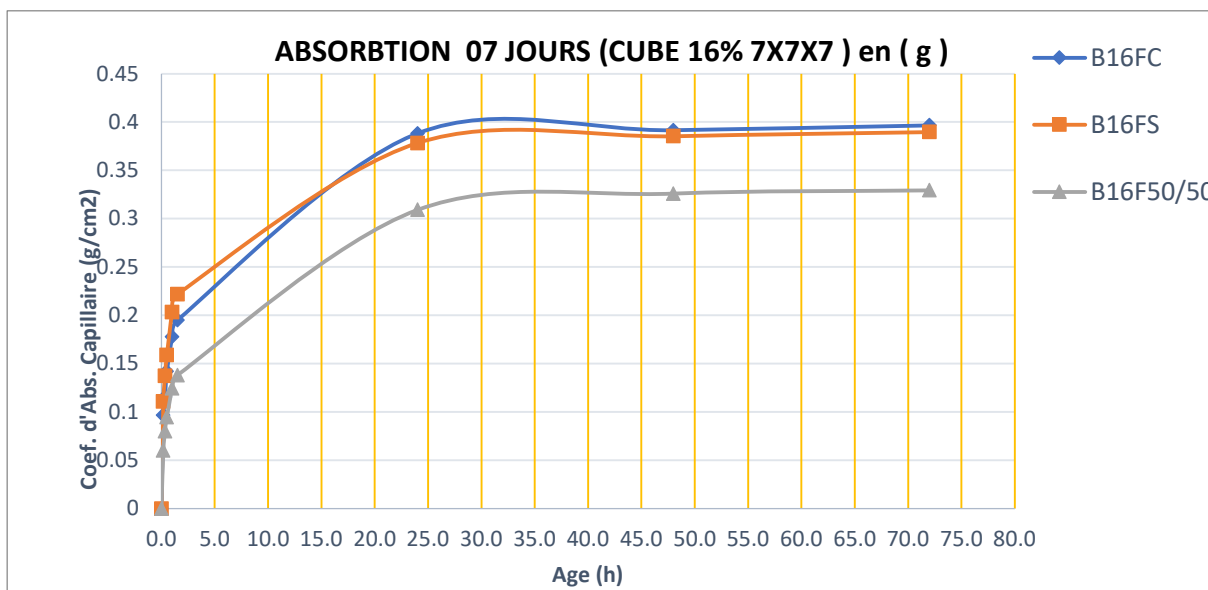


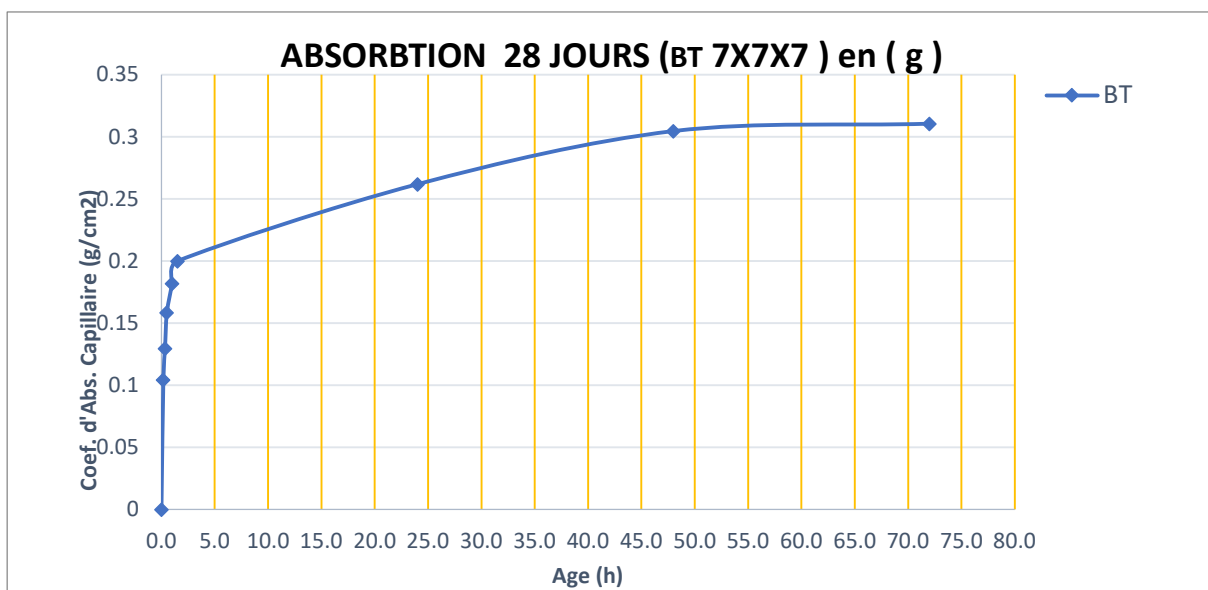
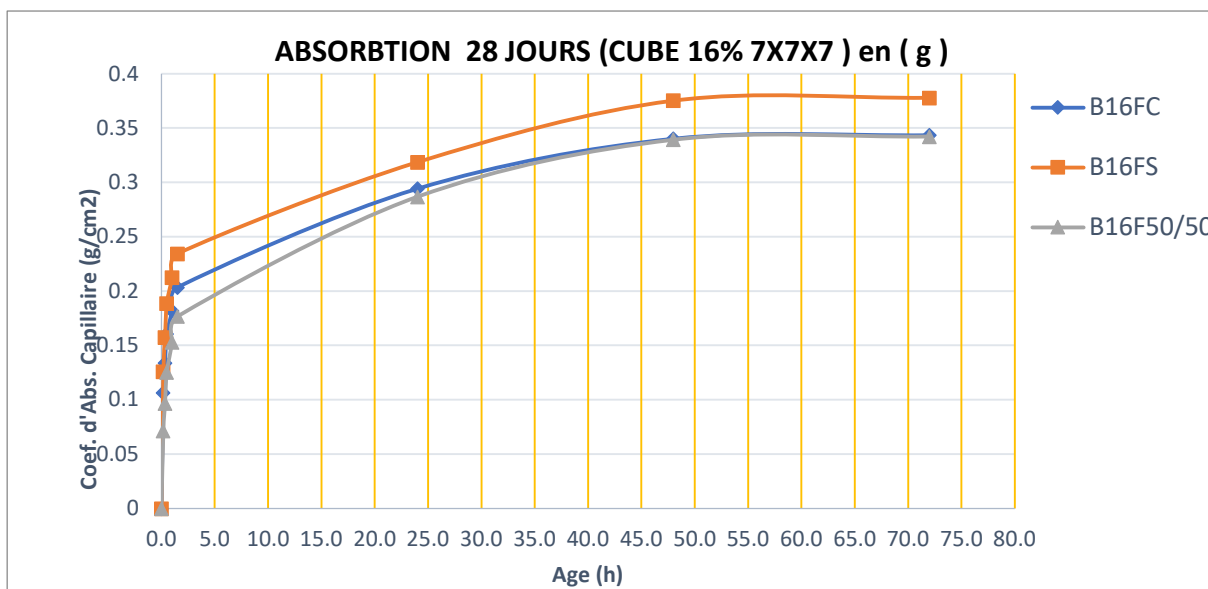
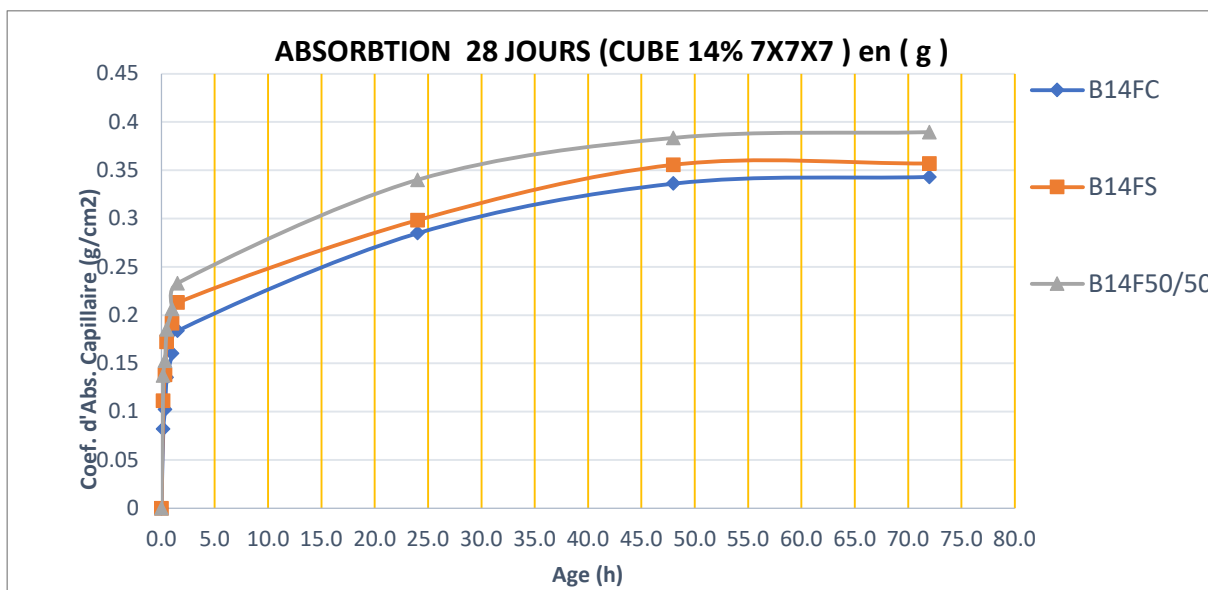
Figure III.8. L'évolution de la vitesse ultrasonique en fonction du pourcentage de fines (SC) pour les différents types de béton à 7, 28 et 56 jours.

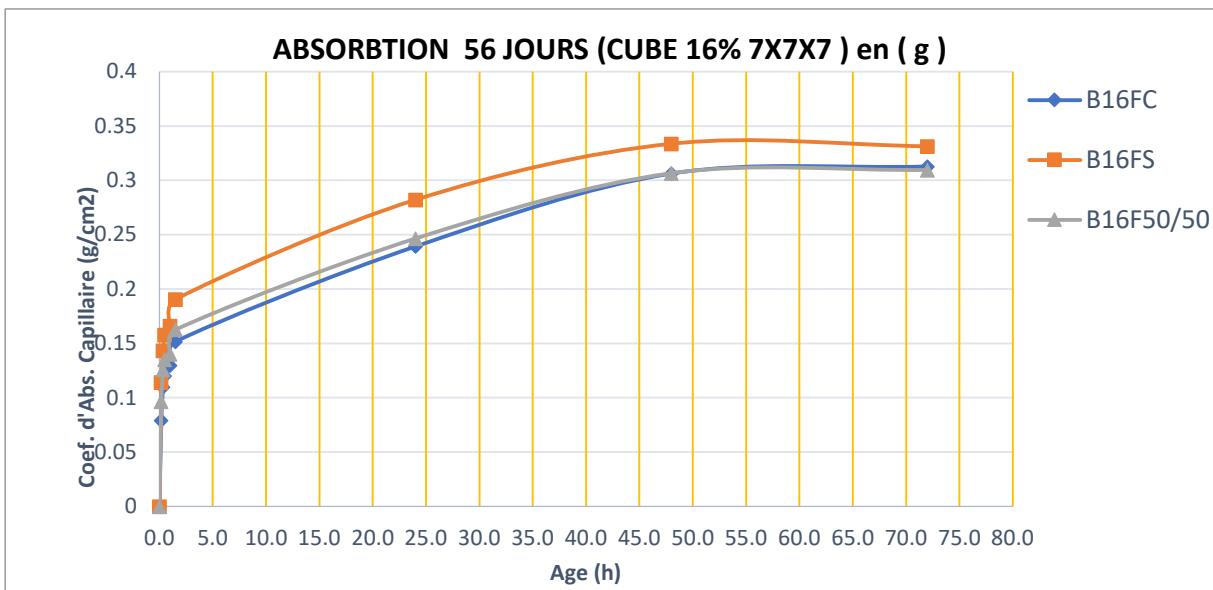
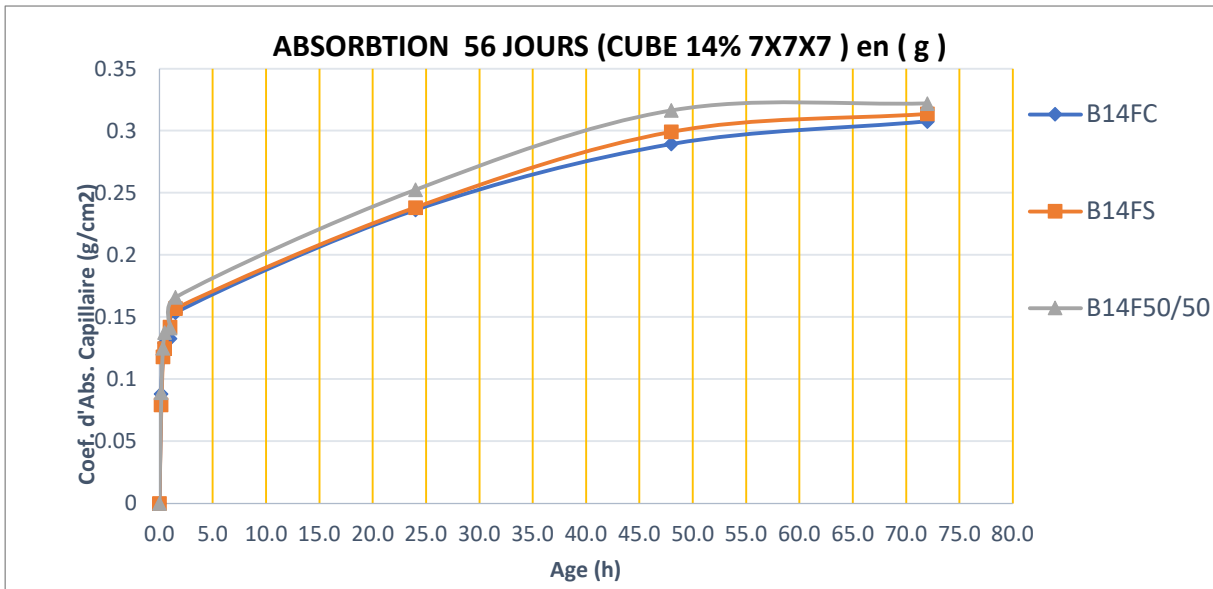
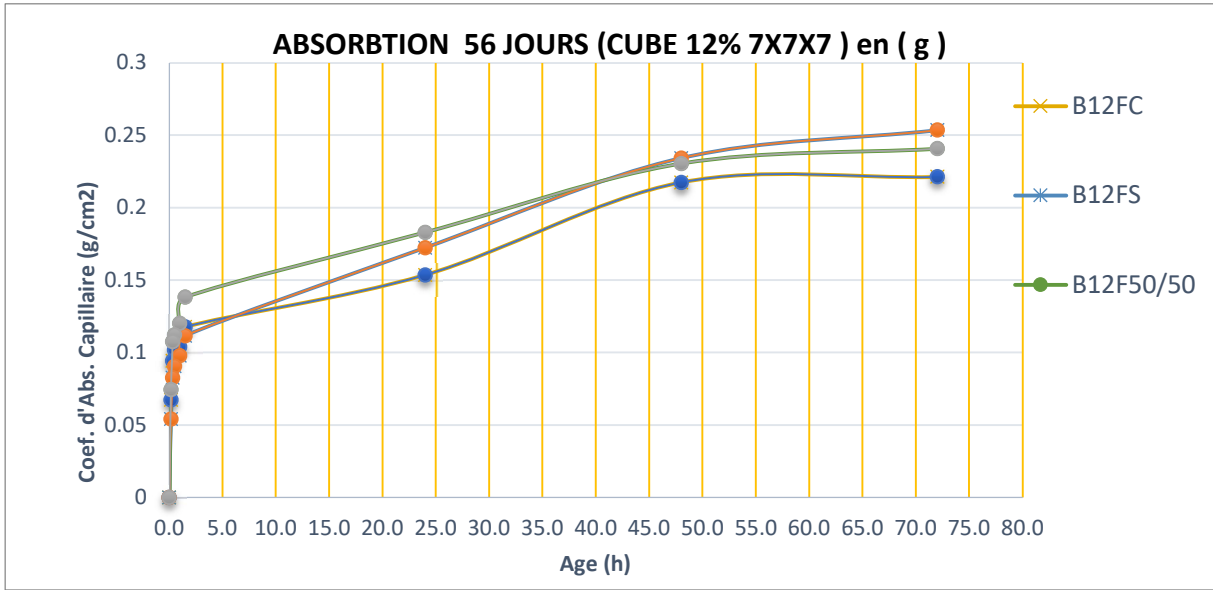
III.3.4. Absorption capillaire :

Le test de l'absorption capillaire a été effectué sur des échantillons des bétons à âges (7, 28 et 56) jours, immergés jusqu'au 5 mm dans l'eau. Ces échantillons ont été sciés à partir des éprouvettes prismatiques 70×70×280 et ont de dimensions 70×70×70 mm. Les résultats d'absorption capillaire pour le béton à différents pourcentages de fines (SC) et, présentés dans la courbe de la figure III.9.









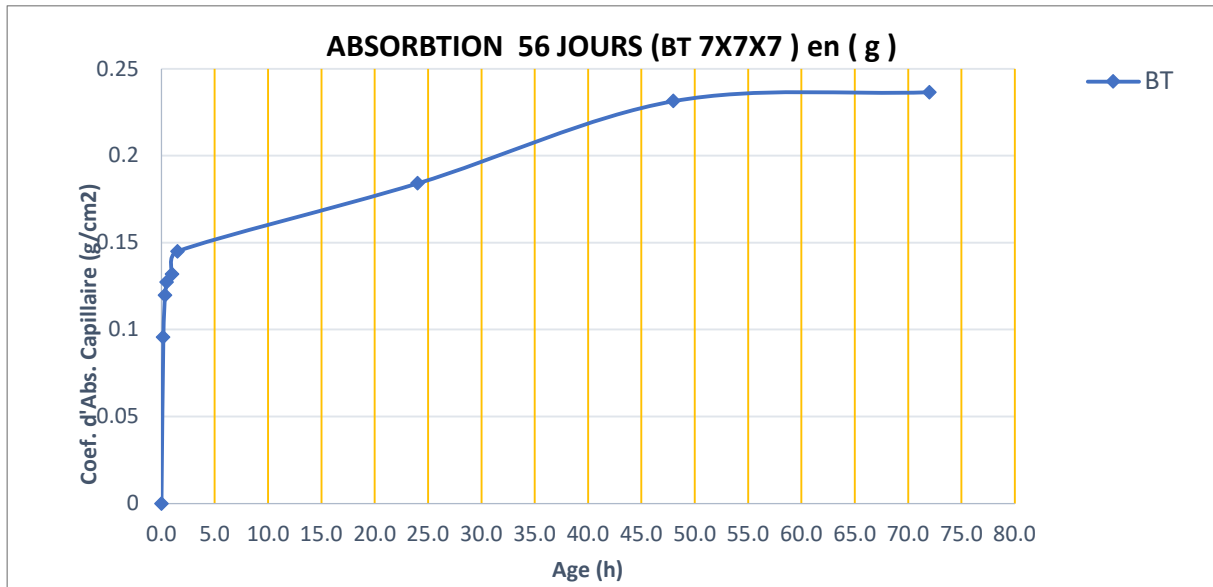


Figure III.9. Variation de l'absorption capillaire du béton en fonction de variation le taux

III.3.5. Corrélation entre la résistance mécanique à la compression des éprouvettes cylindriques et cubique dans un béton à base d'un sable silico-calcaire:

La figure III.10 présente la courbe de corrélation établie d'une part entre la résistance à la compression des éprouvettes cylindriques(11x22) cm et la résistance à la compression des éprouvettes cubiques(10x10x10) cm , la formule linéaire donne une estimation entre les deux résistances .

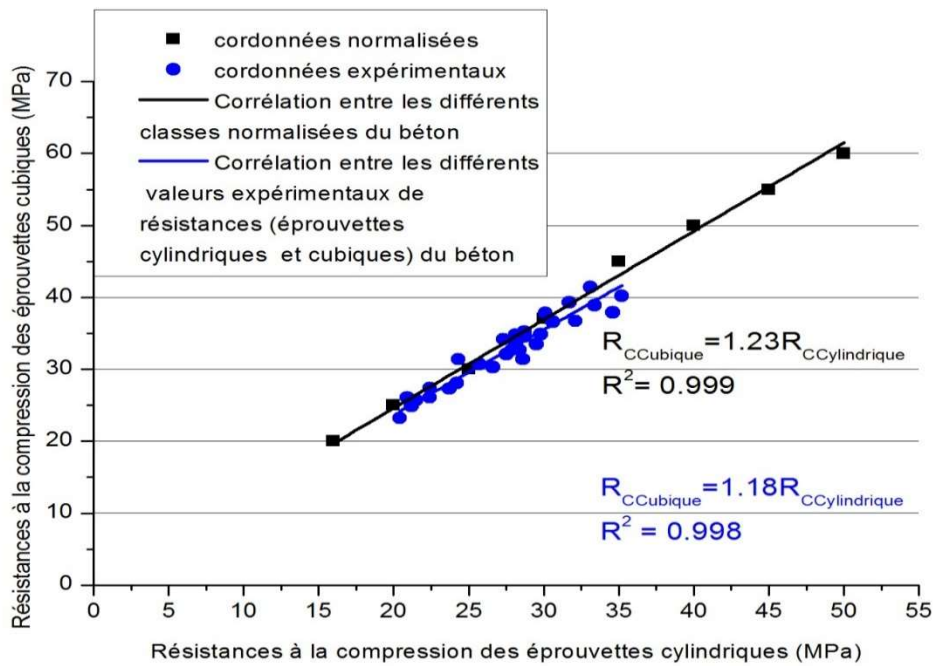


Figure III.10 corrélations entre la résistance mécanique à la compression des éprouvettes cylindriques et cubiques

D'après cette figure, on peut conclure les deux équations corrélatives présentes deux excellentes coefficients des corrélations $R^2 = 0,999$ pour la corrélation entre les différents classes normalisées du béton et $R^2 = 0,998$ pour la corrélation entre les différents valeurs expérimentaux de résistances (éprouvettes cylindriques et cubiques) du béton , pour l'ensemble des mélanges de bétons étudiés.

III.4. Conclusion :

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

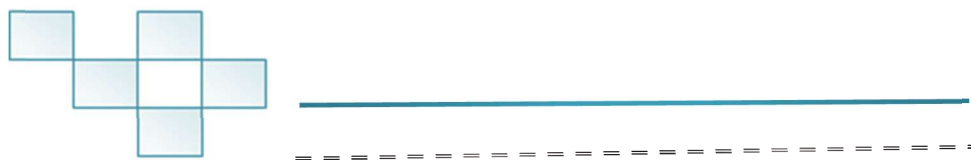
Le résultat trouvé montre qu'il y a une différence entre le béton BT et le béton de sable (SC) même avec le changement des pourcentages des fines de sable de béton (SSC).

Et ces différences sont représentées comme suit :

Le béton (SSC) qui contient de différents pourcentages des fines silico-calcaire (12% à 16 %) influence positivement sur la performance par rapport au béton témoin à la raison des pores colmatés et la cohésion entre les grains de forme angulaire, Et en remarque que le pourcentage 14 est le taux optimum pour remplir les vides notamment pour les fines silices.



Conclusions Générales



Conclusions Générales

Ce travail apporté essentiellement sur étude de 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 expérimental 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 (fine calcaire) à l'état frais est élevée par rapport au béton (fine silice et silico-calcaire) s'explique par le grand parfait remplissage des pores par les fines calcaires.

✓ 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 et B16 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 l'absorption capillaire ; mal utilisation de cire ou la haute chaleur dans le laboratoire, peut-être à cause de ces résultats.

✓ 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 (B12 à B16), malgré que le béton BT (témoin) plus dense, ceci à l'origine du bon arrangement des bétons à la base de sable silico-calcaire avec une bonne précision de taux des fines.

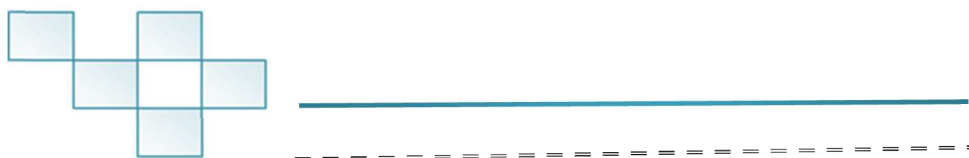
Après ce diagnostic qui a dégagé de nouvelles interrogations concernant l'emploi du sable

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

[18] Chanvillard.G et Laplante.P. « Viser une résistance à court terme pour tenir les délais de fabrication : les bétons bases et donnés pour leur formulation ».

1997.

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

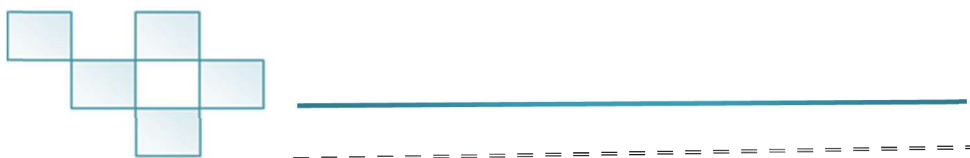
[20] Baron. J et Souterey. R. « Le béton hydraulique connaissance et pratique presses ».

1982.

[21] DJEDID T, 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 khaidr Biska ,Jan 2020.



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

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

Propriétés physiques

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

Temps de prise à 20°C (NA 230)

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

Résistance à la compression (NA 234)

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

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



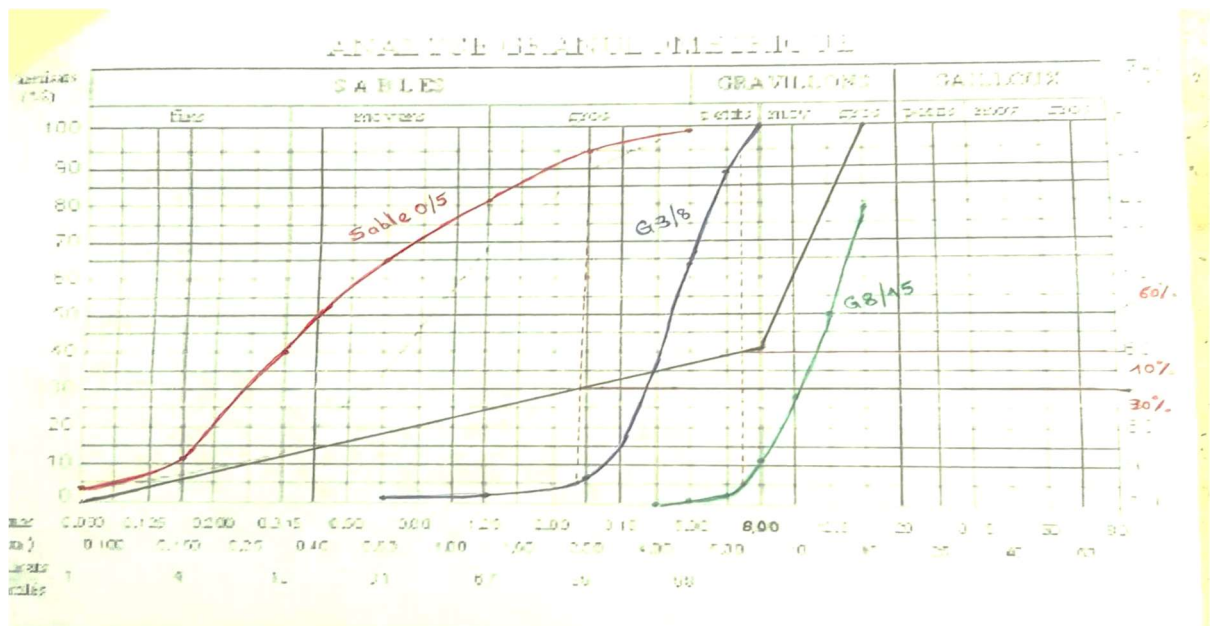
Algerian General Company (SPA)
Hamman, Oasis, M'sila (AGC)
Tel: +213 35 50 78 20
Fax: +213 35 55 79 26

Direction générale
33, Rue des Pins, Hydra, Alger
Tel: +213 (0) 21 43 16 65
Fax: +213 (0) 21 46 10 71

Ciment Blanc Algérie (SPA)
Utina Oggar (CBA)
BP 67, 20566, Mascara
Tel. / Fax: +213 (0) 40 34 66 98



ANNEXE 03



ANNEXE 04

		ABSORPTION 07 JOURS (CUBE 7X7X7) en (g)									
BETON	Poids initial	0.0	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	24.0	48.0	72.0	
B12FC	886.58	0	891.5	894.23	895.55	899.28	900.86	917.1	918.37	918.38	CALCAIRE
	880.82	0	886.1	888.85	890.32	894.12	895.95	911.26	911.88	912.42	
Moyenne	883.7	0	888.8	891.54	892.935	896.7	898.405	897.48	915.125	915.4	
Ct		0	0.051	0.0784	0.09235	0.13	0.14705	0.1378	0.31425	0.317	
B12FS	882.1	0	887.68	889.72	891.14	893.01	893.92	906.97	904.48	907.88	SILICE
	832.82	0	838.78	840.66	841.56	846.1	846.98	858.48	858.94	859.26	
Moyenne	857.46	0	863.23	865.19	866.35	869.555	870.45	882.725	881.71	883.57	
Ct		0	0.0577	0.0773	0.0889	0.12095	0.1299	0.25265	0.2425	0.2611	
B12F50/50	893.22	0	901.32	903.12	904.5	907.52	908.32	925.1	925.23	925.92	50 / 50
	819.84	0	828.04	828.98	830.4	832.96	833.94	849.12	849.43	849.98	
Moyenne	856.53	0	864.68	866.05	867.45	870.24	871.13	887.11	887.33	887.95	
Ct		0	0.0815	0.0952	0.1092	0.1371	0.146	0.3058	0.308	0.3142	
B14FC	855.8	0	861.86	864.04	865.71	869.4	871.33	889.72	889.97	890.93	CALCAIRE
	826.8	0	833.4	835.68	836.84	840.2	842.1	860.1	861.02	861.48	
Moyenne	841.3	0	847.63	849.86	851.275	854.8	856.715	874.91	875.495	876.205	
Ct		0	0.0633	0.0856	0.09975	0.135	0.15415	0.3361	0.34195	0.34905	
B14FS	824.14	0	830.4	832.32	834.1	837.11	838.31	855.05	855.32	855.38	SILICE
	850.84	0	857.58	860.18	862.63	866.56	868.4	885.06	886.04	886.38	
Moyenne	837.49	0	843.99	846.25	848.365	851.835	853.355	870.055	870.68	870.88	
Ct		0	0.065	0.0876	0.10875	0.14345	0.15865	0.32565	0.3319	0.3339	
B14F50/50	826.4	0	836.22	838.76	840.96	845.52	847.1	866.74	866.78	866.96	50 / 50
	866.2	0	874.32	877.26	878.7	882.3	883.8	901.12	902.54	902.88	
Moyenne	846.3	0	855.27	858.01	859.83	863.91	865.45	883.93	884.66	884.92	
Ct		0	0.0897	0.1171	0.1353	0.1761	0.1915	0.3763	0.3836	0.3862	
B16FC	891.78	0	903.28	905.01	907.15	911.42	913.66	932.26	932.59	933.07	
	832.8	0	840.62	842.7	845.8	848.7	849.95	869.97	870.3	870.86	
Moyenne	862.29	0	871.95	873.855	876.475	880.06	881.805	901.115	901.445	901.965	
Ct		0	0.0966	0.11565	0.14185	0.1777	0.19515	0.38825	0.39155	0.39675	
B16FS	859.02	0	870.98	873.58	875.38	879.18	880.52	893.94	894.68	895.36	
	829.88	0	840.12	842.82	845.33	850.38	852.78	870.62	871.32	871.49	
Moyenne	844.45	0	855.55	858.2	860.355	864.78	866.65	882.28	883	883.425	
Ct		0	0.111	0.1375	0.15905	0.2033	0.222	0.3783	0.3855	0.38975	
B16F50/50	888.06	0	894.82	896.8	898.68	901.84	903.5	920.74	922.5	922.66	
	796.18	0	801.48	803.48	804.5	807.28	808.36	825.36	826.92	827.46	
Moyenne	842.12	0	848.15	850.14	851.59	854.56	855.93	873.05	874.71	875.06	
Ct		0	0.0603	0.0802	0.0947	0.1244	0.1381	0.3093	0.3259	0.3294	
BT	740.4	0	747.74	749.3	750.56	753.3	754.2	764.34	764.89	765.32	
	875.76	0	880.3	881.34	882.42	884.99	886.5	900.2	900.54	900.62	
Moyenne	808.08	0	814.02	815.32	816.49	819.145	820.35	832.27	832.715	832.97	
Ct		0	0.0594	0.0724	0.0841	0.11065	0.1227	0.2419	0.24635	0.2489	

ANNEXE 05

		ABSORPTION 28 JOURS (CUBE 7X7X7) en (g)									
BETON	Poids initial	0.0	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	24.0	48.0	72.0	
B12FC	768.22	0	776	779.58	782.62	783.94	785.6	791.84	798.4	798.96	CALCAIRE
	817.08	0	825.64	827.5	830.44	831.66	833.94	840.42	846.2	846.74	
Moyenne	792.65	0	800.82	803.54	806.53	807.8	809.77	816.535	822.3	822.85	
Ct		0	0.0817	0.1089	0.1388	0.1515	0.1712	0.23885	0.2965	0.302	
B12FS	803.4	0	813.44	814.86	817.82	819.48	821.06	831.86	838.6	839.42	SILICE
	840.38	0	846.62	847.97	850.7	851.48	853.16	862.4	868.9	869.44	
Moyenne	821.89	0	830.03	831.415	834.26	835.48	837.11	847.13	853.75	854.43	
Ct		0	0.0814	0.09525	0.1237	0.1359	0.1522	0.2524	0.3186	0.3254	
B12F50/50	810.2	0	821.5	822.12	825.44	826.54	828.2	832.94	838.1	838.98	50 / 50
	806.64	0	818.88	819.8	822.54	822.88	824.48	830.04	835.3	835.66	
Moyenne	808.42	0	820.19	820.96	823.99	824.71	826.34	831.49	836.7	837.32	
Ct		0	0.1177	0.1254	0.1557	0.1629	0.1792	0.2307	0.2828	0.289	
B14FC	793.56	0	804.98	807.12	810.8	813.26	815.42	822.86	827.68	828.74	CALCAIRE
	762.2	0	767.2	769.1	772.1	774.56	777.1	789.9	795.36	795.64	
Moyenne	777.88	0	786.09	788.11	791.45	793.91	796.26	806.38	811.52	812.19	
Ct		0	0.0821	0.1023	0.1357	0.1603	0.1838	0.285	0.3364	0.3431	
B14FS	801.5	0	813.34	815.4	818.88	821.2	823.23	831.86	838.8	838.94	SILICE
	706.24	0	716.7	719.96	723.3	724.86	727.11	735.56	740.1	740.22	
Moyenne	753.87	0	765.02	767.68	771.09	773.03	775.17	783.71	789.45	789.58	
Ct		0	0.1115	0.1381	0.1722	0.1916	0.213	0.2984	0.3558	0.3571	
B14F50/50	731.44	0	737.62	739.84	743.02	744.9	747.66	758.52	763.42	764.04	50 / 50
	756.22	0	777.58	778.4	781.68	784.04	786.62	797.16	800.97	801.52	
Moyenne	743.83	0	757.6	759.12	762.35	764.47	767.14	777.84	782.195	782.78	
Ct		0	0.1377	0.1529	0.1852	0.2064	0.2331	0.3401	0.38365	0.3895	
B16FC	786.32	0	797.44	799.58	802.34	804.64	806.66	815.67	820.4	820.76	
	836.56	0	846.74	850.1	852.7	854.65	856.92	866.08	870.54	870.84	
Moyenne	811.44	0	822.09	824.84	827.52	829.645	831.79	840.875	845.47	845.8	
Ct		0	0.1065	0.134	0.1608	0.18205	0.2035	0.29435	0.3403	0.3436	
B16FS	786.26	0	799.32	801.86	805.22	807.7	809.94	817.08	822.66	823.1	
	793.2	0	805.36	809.08	811.98	814.26	816.42	826.1	831.86	831.94	
Moyenne	789.73	0	802.34	805.47	808.6	810.98	813.18	821.59	827.26	827.52	
Ct		0	0.1261	0.1574	0.1887	0.2125	0.2345	0.3186	0.3753	0.3779	
B16F50/50	798.8	0	805.96	808.34	811.4	814.2	816.92	828.46	833.68	833.76	
	844.86	0	852	854.68	857.36	860.06	862.1	872.56	877.86	878.35	
Moyenne	821.83	0	828.98	831.51	834.38	837.13	839.51	850.51	855.77	856.055	
Ct		0	0.0715	0.0968	0.1255	0.153	0.1768	0.2868	0.3394	0.34225	
BT	762.8	0	774.32	776.68	779.56	782.7	784.2	789.76	794.2	794.64	
	725.96	0	735.32	737.98	740.88	742.44	744.56	751.38	755.48	756.24	
Moyenne	744.38	0	754.82	757.33	760.22	762.57	764.38	770.57	774.84	775.44	
Ct		0	0.1044	0.1295	0.1584	0.1819	0.2	0.2619	0.3046	0.3106	

ANNEXE 06

		ABSORPTION 56 JOURS (CUBE 7X7X7) en (g)									
BETON	Poids initial	0.0	0.2	0.3	0.5	1.0	1.5	24.0	48.0	72.0	
B12FC	847.92	0	854.8	857.56	858.48	858.65	860.56	866.2	871.44	871.54	CALCAIRE
	879.7	0	886.28	888.92	889.52	889.76	890.6	894.52	899.68	900.34	
Moyenne	863.81	0	870.54	873.24	874	874.205	875.58	879.165	885.56	885.94	
Ct		0	0.0673	0.0943	0.1019	0.10395	0.1177	0.15355	0.2175	0.2213	
B12FS	896.62	0	901.74	904.32	905.38	906.4	907.8	915.07	921.42	923.24	SILICE
	800.86	0	806.54	809.7	810.22	810.66	812	816.88	822.92	824.96	
Moyenne	848.74	0	854.14	857.01	857.8	858.53	859.9	865.975	872.17	874.1	
Ct		0	0.054	0.0827	0.0906	0.0979	0.1116	0.17235	0.2343	0.2536	
B12F50/50	805.56	0	813.38	816.76	817.52	818.42	820	825.22	829.24	830.12	50 / 50
	837.32	0	844.38	847.62	847.82	848.5	850.52	854.25	859.74	860.92	
Moyenne	821.44	0	828.88	832.19	832.67	833.46	835.26	839.735	844.49	845.52	
Ct		0	0.0744	0.1075	0.1123	0.1202	0.1382	0.18295	0.2305	0.2408	
B14FC	891.08	0	899.6	902.8	903.56	904.06	905.76	913.64	918.94	920.66	CALCAIRE
	835.78	0	844.88	848.02	849.12	849.34	851.81	860.5	865.82	867.74	
Moyenne	863.43	0	872.24	875.41	876.34	876.7	878.785	887.07	892.38	894.2	
Ct		0	0.0881	0.1198	0.1291	0.1327	0.15355	0.2364	0.2895	0.3077	
B14FS	838	0	845.4	848.48	848.84	850.3	851.2	859.52	865.86	867.58	SILICE
	886.46	0	894.92	899.6	900.58	902.6	904.66	912.6	918.46	919.62	
Moyenne	862.23	0	870.16	874.04	874.71	876.45	877.93	886.06	892.16	893.6	
Ct		0	0.0793	0.1181	0.1248	0.1422	0.157	0.2383	0.2993	0.3137	
B14F50/50	887.28	0	895.96	899.92	901.06	901.6	903.96	912.74	919.6	920.32	50 / 50
	870.64	0	879.8	883	884.4	884.58	887.16	895.7	901.62	902.02	
Moyenne	878.96	0	887.88	891.46	892.73	893.09	895.56	904.22	910.61	911.17	
Ct		0	0.0892	0.125	0.1377	0.1413	0.166	0.2526	0.3165	0.3221	
B16FC	819.44	0	826.78	829.66	830.78	831.98	834.44	843.28	849.16	850.1	
	810.56	0	819.08	822.28	823.24	823.98	825.92	834.58	842.1	842.46	
Moyenne	815	0	822.93	825.97	827.01	827.98	830.18	838.93	845.63	846.28	
Ct		0	0.0793	0.1097	0.1201	0.1298	0.1518	0.2393	0.3063	0.3128	
B16FS	828.3	0	838.58	842.14	843.96	844.94	848.06	857.72	863.14	862.58	
	853.62	0	866.22	868.44	869.52	870.18	871.99	880.64	885.54	885.62	
Moyenne	840.96	0	852.4	855.29	856.74	857.56	860.025	869.18	874.34	874.1	
Ct		0	0.1144	0.1433	0.1578	0.166	0.19065	0.2822	0.3338	0.3314	
B16F50/50	806.96	0	816.54	819.54	820.58	820.74	823.1	831.32	836.96	837.22	
	887.38	0	897.14	899.96	900.78	901.65	903.8	912.32	918.72	919.04	
Moyenne	847.17	0	856.84	859.75	860.68	861.195	863.45	871.82	877.84	878.13	
Ct		0	0.0967	0.1258	0.1351	0.14025	0.1628	0.2465	0.3067	0.3096	
BT	845.16	0	854.14	856.46	857.08	857.82	858.3	862.63	869.32	870.02	
	812.86	0	823	825.5	826.4	826.58	828.72	832.21	834.98	835.3	
Moyenne	829.01	0	838.57	840.98	841.74	842.2	843.51	847.42	852.15	852.66	
Ct		0	0.0956	0.1197	0.1273	0.1319	0.145	0.1841	0.2314	0.2365	