



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE

MINISTRE DE L' ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET

DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR -EL OUED

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET DE GÉNIE CIVIL



MÉMOIRE DE FIN D'ETUDE

Master en Génie Civil

Filière Génie Civil:

Spécialité: Matériaux en Génie Civil

Effet de la Granulométrie des Agrégats et des Ajouts Minéraux sur l'évaluation des Qualités Mécaniques du Béton par Essais Destructifs et par Ultrason

Dirigé par :

– Masmoudi fouzi

Présenté Par :

– Tliba Mohammed el farouk
– Zine Abdelbaki
– Zouari ahmed ali
– mostefaoui Elhadi

– Devant le jury composé de :

Président : Labyad Bachir

, Université d'El Oued.

Examinatrice : Khlayfa hmed

, Université d'El Oued.

Promoteur : Masmoudi fouzi

M.A.A, Université d'El Oued.

Année universitaire 2021/2022



Dédicace

*Louange à Dieu et c'est assez, et que la prière soit sur le bien-aimé, l'élú, sa
famille et les fidèles.*

*Dieu soit loué, qui nous a permis d'apprécier cette étape de notre cheminement
académique avec ce mémoire, fruit d'efforts et de réussite, par sa grâce.*

*À toute la famille honorable qui m'a soutenu et continué de me soutenir des
frères et sœurs et aux compagnons de voyage qui ont partagé ses moments avec
moi, que Dieu les bénisse et leur accorde le succès:*

Ali, Elhadi, Abdel Baqi

Et à tout département génie civil et tout lot 2022

*En fin de compte, nous ne pouvons que prier Dieu Tout-Puissant de nous
accorder le paiement et les conseils* Tout la promotion 2021/2022*

FAROUK



Dédicace

Tout d'abord, je remercie Allah et le loue pour m'avoir permis d'accomplir cet humble travail, et je le remercie de m'avoir donné la force. Avec tout mon respect, ma reconnaissance et ma gratitude, je dédie ce mémo à : Mes chers parents, que

Allah leur fasse miséricorde

Et à mes chers frères et sœurs, mon soutien dans cette vie Et à mes amis : Muhammad, Osama, Misbah, Issa, Iqbal, Hajj Ali et Al-Habib Et à ma famille :

Zouari Ahmed

Et à tous mes

distingués professeurs du Département de génie civil qui ont contribué à la construction de ce simple ingénieur avec ses aspects négatifs et positifs, je tiens à vous exprimer ma gratitude et mon appréciation

ALI



Dédicace

Nous remercions Dieu Tout-Puissant qui nous a permis de mener à bien cette recherche scientifique et qui m'a inspiré la santé, le bien-être et la détermination.

Dieu merci, merci beaucoup.

A mes parents, mes frères, ma fiancée et mes amis

Nous adressons nos sincères remerciements et notre gratitude au professeur superviseur, le Dr Masmoudi Fawzi, pour tous les conseils et précieuses informations qu'il nous a fournis, qui ont contribué à compléter le sujet de notre étude dans ses différents aspects. membres du comité de discussion estimé.

Et n'oubliez pas de présenter le formulaire généreux à tous les professeurs et professeurs respectés de l'Université,...

Nous vous disons merci beaucoup pour tous vos efforts

ABDEL BAQI



Dédicace

*Louange à Dieu et c'est assez, et que la prière soit sur le bien-aimé, l'élú, sa
famille et les fidèles.*

*Dieu soit loué, qui nous a permis d'apprécier cette étape de notre cheminement
académique avec ce mémoire, fruit d'efforts et de réussite, par sa grâce.*

*À toute la famille honorable qui m'a soutenu et continué de me soutenir des
frères et sœurs et aux compagnons de voyage qui ont partagé ses moments avec
moi, que Dieu les bénisse et leur accorde le succès:*

Ali, farouk, Abdel Baqi

Et à tout département génie civil et tout lot 2022

*En fin de compte, nous ne pouvons que prier Dieu Tout-Puissant de nous
accorder le paiement et les conseils* Tout la promotion 2021/2022*

ELHADI



Remerciements

En préambule à ce mémoire

*Nous remerciant ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage
durant ces longues années d'étude.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui
nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire
ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.*

*Nous tenant à remercier sincèrement **Mr : MASMOUDI FOUZI**, en tant que
Encadreur, qui à toujours montré à l'écoute et très disponible tout au long de la
réalisation de ce mémoire.*

*Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et
amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de
ce mémoire*



Résumé

La méthode normalisée utilisée, pour évaluer la qualité du béton dans les ouvrages en béton comprend, les essais de résistance à la compression, effectués sur des éprouvettes coulées au même moment.

Mais cette méthode a beaucoup d'inconvénients qui proviennent du fait que :

- les résultats ne sont pas immédiatement disponibles
- le béton des éprouvettes peut être différent de celui de l'ouvrage, les conditions de cure ou le compactage peuvent être différents
- les propriétés de résistance d'une éprouvette dépendent de sa grosseur et de sa forme

Le développement de méthodes fiables d'évaluation non destructives des propriétés du béton in situ s'avèrent alors d'une importance particulière. Ces méthodes sont basées sur le fait que certaines propriétés physiques du béton peuvent être reliées à la résistance et peuvent être mesurées par des moyens non destructifs.

Parmi les méthodes non destructives les plus populaires et habituellement utilisées du fait de leur simplicité et de leur moindre coût, pour évaluer la résistance du béton sur site sont :

- Les ultrasons UPV (ultrasonique pulse velocity).

Cependant, leur sensibilité à beaucoup de paramètres d'influence parmi ces dernières :

- La composition du béton (gravier, sable,...).

Donc il est nécessaire de faire une comparaison entre les caractéristiques mécaniques du béton, tel que la résistance à la compression, la traction et la flexion, par les essais destructifs et non destructifs. Et de bien comprendre le phénomène de la propagation de l'onde ultrasonore dans le milieu béton et de cerner les paramètres d'influence sur la propagation qui sont dus à la granulométrie du gravier et du sable, ainsi que les Ajouts Minéraux entrant dans la composition du béton.

Mots-clés :

Contrôle non destructif – ultrason - résistance à la compression - éprouvette –régressions-granulométrie.

ملخص

تتضمن الطريقة المعيارية المستخدمة لتقييم جودة الخرسانة في الهياكل الخرسانية اختبارات مقاومة الانضغاط، والتي يتم إجراؤها على العينات المصبوبة في نفس الوقت.

لكن هذه الطريقة لها عيوب كثيرة تأتي من حقيقة:

- النتائج غير متوفرة على الفور
 - قد تختلف خرسانة العينات عن تلك الخاصة بالهيكل ، وقد تختلف ظروف المعالجة أو الضغط
 - تعتمد خصائص قوة العينة على حجمها وشكلها
- لذلك فإن تطوير طرق موثوقة للتقييم غير المدمر لخصائص الخرسانة في الموقع له أهمية خاصة. تعتمد هذه الطرق على حقيقة أن بعض الخصائص الفيزيائية للخرسانة يمكن أن تكون مرتبطة بالقوة ويمكن قياسها بوسائل غير مدمرة.
- من بين الطرق غير المدمرة الأكثر شيوعاً والتي تُستخدم عادةً بسبب بساطتها وانخفاض تكلفتها، لتقييم قوة الخرسانة في الموقع:

- (الموجات فوق الصوتية) UPV سرعة النبض بالموجات فوق الصوتية.

ومع ذلك، فإن حساسيتهم للعديد من العوامل المؤثرة من بينها:

- تركيب الخرسانة (حصى ، رمل ، إلخ).

لذلك من الضروري إجراء مقارنة بين الخصائص الميكانيكية للخرسانة، مثل مقاومة الانضغاط والجر والانحناء، عن طريق الاختبارات التدميرية وغير المدمرة. وللفهم الكامل لظاهرة انتشار الموجات فوق الصوتية في البيئة الخرسانية وللتعرف على عوامل التأثير على التكاثر التي ترجع إلى حجم حبيبات الحصى والرمل، وكذلك الإضافات المعدنية التي تدخل في تكوين الأسمنت.

الكلمات المفتاحية:

الاختبار غير المتلف - الموجات فوق الصوتية - قوة الانضغاط - العينة - الانحدار - حجم الجسيمات.

TABLE DES MATIERES

Dédicace

Remerciements

Résumé

Sommaire

Liste de tableaux

Liste de figures

Liste des abréviations

Introduction

Chapitre I

étude bibliographique Sur le béton Les Essais béton (E.D/E.N.D)

I -2 Méthodes destructives:.....	3
I-2-1 But :	3
I-3 Méthodes non destructives:.....	3
I-3-1 Pourquoi utiliser ces méthodes de contrôles :.....	3
I-3 -3 Principes généraux :.....	4
I-4 -1 Scléromètre : NF EN 12504-2	5
I-4- 2 méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques :.....	6
I-4- 3 Les méthodes électromagnétiques	7
I-4- 4 Les méthodes électriques.....	7
I-4- 5 Les méthodes thermiques	8
I-4- 6 Les méthodes radiographie	8
I-4-7 Les inspections visuelles	8
I-4- 8 Méthodes combinées	9
I-4-9 Les méthodes optiques.....	10
I-5 Spécialisation en Les ultrasons :	11
I-5-1 Définitions d'ondes acoustiques :.....	11
I-5-2 Les techniques acoustiques :.....	11
I-5-3 Caractéristique des ondes acoustiques :.....	12

I-5-4 Contrôles par les essais non destructifs	12
I-5-5 Définition :	13
I-5-6 de plane et ondes spheriqueon	13
I-5-7 Bloqueur de publicité détecté	14
I-5-9 Pou Production d'ultrasons	15
I-5-10 Les ultrasons ou couramment nommée UPV	16
I-5-11 Le Mode Opératoire :	17
I-5-11-1 Travaux préparatoires :	17
I-5-11-2 Points de mesures :	17
I-5-11-3 Distances minimales entre points de mesures :	17
I-5-11-4 Étalonnage de l'appareil :	17
I -5-12 Manières de mesure :	17
I -5-12-1 Mesure en transparence (directe) :	17
I -5-12-2 Mesures en surface (indirecte) :	18
I -5-12-3 Mesures semi directe :	18
I -5-13 Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons :	19
I -5-14 Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance dubéton :	19
I -5-15 Paramètres influents la vitesse des ultrasons :	19
I -5-16 Autres interprétations possibles :	21
I -6 Conclusion:	22

Chapitre II

Etude Expérimentale

II-1 les essais :	24
II-1-1 Module de finesse (Mf) :	24
II-1-2 Équivalent de sable : [NF P18 -598]	24
II-1-3 Masse volumique apparente :	27
II-1-4 Masse volumique absolue : [NF P 18-555]	28
II-1-5 Coefficient d'absorption d'eau :	29
II-1-6 Coefficient d'aplatissement	30
II-1-7 Analyse granulométrique: [NF EN 933-1]	31
II-1-9 Propreté superficielle de gravier :	35
II-1-10 Essai los Angeles [N.F. P18.573] :	36
II-1-11 Essai Micro Deval [NF P 18-572] :	38
II-2 ciment utilisé :	40
II-3 L'eau de gâchage :	42
II-3-1 devant pas être utilisées comprennent :	43

II-3-2 Eaux usées:.....	43
II-4 Formulations du béton :.....	43
II-4-1-1 Les différentes méthodes de composition des bétons :.....	43
II-4-1-2 Méthode de Dreux-Gorisse :.....	44
II-4-2 Formule n°01 (sable 0/3 + gravier 3/8) :.....	48
II-4-3 Formule n°02 (sable 0/3 + gravier 15/25) :.....	50
II-4-4 Formule n°03 (sable 0/3 + gravier 8/15):.....	53
II-4-5 Formule n°04 (sable 0/3 djamaa + gravier 8/15 et gravier 3/8) :.....	56
II-4-6 Formule n°05 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25 et gravier 3/8) :.....	59
II-4-7 Formule n°06 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25, gravier 8/15 et gravier 3/8).....	62
II-4-8 Formule n°07 (sable 0/3 + gravier 15/25 +gravier 8/15) :.....	65
II-5 Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams :	68
II-8 Effet de la forme de l'éprouvette :.....	79
II-9 Les résultats des essais avec correction : (sont le tableau suivants).....	81

Chapitre III

Analyse De Résultat

III-1 Résultat Pour La Formulation N°01 :.....	89
III-2 Résultat Pour La Formulation N°02.....	90
III-3 Résultat Pour La Formulation N°03.....	92
III-4 Résultat Pour La Formulation N°04.....	93
III-5 Résultat Pour La Formulation N°05.....	95
III-6 Résultat Pour La Formulation N°06.....	97
III-7 Résultat Pour La Formulation N°07.....	98
Analyse des résultats.	100
CONCLUSION	103
Références bibliographiques.....	105

Liste de tableaux

N	TITRE	PAGE
II.1	Nature et qualité du sable en fonction de l'ES	27
II.2	résultats Coefficient d'absorption d'eau.	29
II.3	Correspondance entre classes granulaires et largeurs des grilles à fentes	31
II.4	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / Sable djamaa Échantillon de masse: 1000 g	32
II.5	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (3/8) toute Échantillon de masse: 1500 g	33
II.6	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (8/15) toute Échantillon de masse: 1500 g	33
II.7	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (15/25) toute Échantillon de masse: 1500 g	34
II.8	résultats Coefficient d'absorption d'eau .	35
II.9	Classification par le norme [N.F. P18.573].	37
II.10	Classe granulaires, poids d'échantillons et boulets équivalent.	39
II.11	détermination de G (coefficient granulaire) .	47
II.12	Formulation n°01 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 3/8)	74
II.13	Formulation n°02 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 15/25)	75
II.14	Formulation n°03 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 8/15)	76
II.15	Formulation n°04 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15)	77
II.16	Formulation n°05 (sable DJAMAA + gravier 3/8 +gravier 15/25)	77
II.17	Formulation n°06 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)	78
II.18	Formulation n°07 (sable DJAMAA + gravier 8/15 + gravier 15/25)	79
II.19	coefficients correcteurs de forme par rapport à l'éprouvette de référence 16*32	80
II.20	Formulation n°01 / Résultat Ultrason vitesse et BAR	81
II.21	Formulation n°01 avec correction	81
II.22	Formulation n°02 / Résultat Ultrason vitesse et BAR	82
II.23	Formulation n°02 avec correction	82
II.24	Formulation n°03 / Résultat Ultrason vitesse et BAR	83
II.25	Formulation n°03 avec correction	83
II.26	Formulation n°04 / Résultat Ultrason vitesse et BAR	84

II.27	Formulation n°04 avec correction	84
II.28	Formulation n°05 / Résultat Ultrason vitesse et BAR	85
II.29	Formulation n°05 avec correction	85
II.30	Formulation n°06/ Résultat Ultrason vitesse et BAR	86
II.31	Formulation n°06 avec correction	86
II.32	Formulation n°07/ Résultat Ultrason vitesse et BAR	87
II.33	Formulation n°07 avec correction	87
III .1	Formulation n°01 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 3/8)	89
III .2	Formulation n°02 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 15/25)	90
III .3	Formulation n°03 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 8/15)	92
III .4	Formulation n°04 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15)	93
III .5	Formulation n°05 (sable DJAMAA + gravier 3/8 +gravier 15/25)	95
III .6	Formulation n°06 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)	96
III .7	Formulation n°06 (sable DJAMAA + gravier 8/15 + gravier 15/25)	98

Liste de figures

N	TITRE	PAGE
I .1	scléromètre	06
I .2	Appareil de mesure	07
I .3	appareil numérique	09
I .4	Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)	10
I .5	Schématisation d'un milieu élastique	12
I .6	La longueur d'onde λ :	12
I .7	onde sphérique	14
I .8	Onde de plane	15
I .9	Catégorie d'onde acoustique	15
I .10	Mesures en transparence (directe)	18
I .11	Mesures en surface	18
I .12	Mesures semi direct	19
I .13	Courbes de calibrages	20
I .14	Courbe RILEM	21
II .1	Étapes d'un essai d'équivalent du sable	26
II .2	Mesure de la masse volumique du sable jaune (DJAMAA) résultats	27
II .3	forme d'un granulat.	30
II .4	Appareillage Coefficient d'aplatissement .	31
II .5	appareil de tamisage / tamis .	32
II .6	gravier touta .	35
II .7	Appareillage los Angeles .	37
II .8	Appareillage- Micro Deval.	39
II .9	La qualité du ciment utilisé .	41
II.10	dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée .	45
II.11	Le Traçage de la courbe granulaire de référence AOB .	45

II.12	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats. N° 01	49
II.13	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 02 .	52
II.14	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 03 .	55
II.15	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N°04	58
II.16	T Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 05 .	61
II.17	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 06 .	64
II.18	Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 07 .	67
II.19	Matériel requis pour l'essai au cône d'Abrams.	69
II.20	Principe de la mesure d'affaissement du béton	70
II.21	Les différentes classes de consistance du béton (essai affaissement béton	71
II.22	l'éprouvette 15 *15* 15 cm	72
II.23	Appareil utilisateur presse a beton et certificat d'étalonnage	73
II.24	Appareil utilisateur ultrason et certificat d'étalonnage	74
II.25	résistance a la compression des éprouvettes de différentes géométries .	79
III .1	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°01 R(mpa)/T(jour)	90
III .2	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°02 R(mpa)/T(jour)	91
III .3	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°03 R(mpa)/T(jour)	93
III .4	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°04 R(mpa)/T(jour)	94
III .5	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°05 R(mpa)/T(jour)	96
III .6	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°06 R(mpa)/T(jour)	97
III .7	Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°07 R(mpa)/T(jour)	99

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction Générale

Lors de l'expertise des ouvrages en béton, l'expert peut être amené à s'interroger sur la capacité de la structure à remplir ses fonctions à la suite de modification des conditions d'exploitation (augmentation des charges appliquées) ou modifications de fonctionnement de l'ouvrage résultant de transformations structurelles volontaires (aménagement divers, extension...) ou subies des désordres tels que la dégradation du béton ; d'où la nécessité de connaître omni d'autres observations, la qualité du béton formant la structure.

Dans cette perspective, et parmi d'autres techniques, les méthodes d'inspection par les ultrasons sont intéressantes de par leurs aspects non destructifs et pour leurs sensibilités à l'évolution des paramètres mécaniques du matériau béton. Cependant, leurs sensibilité à beaucoup de paramètres d'influence venant de la composition du béton (ciment, agrégats,...) ainsi que l'influence du temps et aussi l'absence de critères d'évaluation généralisé ou de procédures normalisées demeurent un frein à leur généralisation.

Ce mémoire vise à mieux comprendre les méthodes non destructives basées sur la propagation des ondes ultrasonores pour l'évaluation de la qualité du béton des ouvrages et à étudier les paramètres d'influence entrant dans la composition du béton tel que les agrégats, le dosage en ciment ..., ou les effets du temps tel que l'âge du béton, sur l'estimation des caractéristiques mécaniques du matériau béton par l'examen et la comparaison en laboratoire des essais non destructifs utilisant les ondes ultrasonores et les essais destructifs qui sont les essais de compression classiques sur les mêmes éprouvettes tout en variant les paramètres d'influences cités ci-dessus.

-Cette recherche contient un ensemble de chapitres, qui sont les suivants :

Chapitre 1 : Etude bibliographique Sur le béton Les Essais béton (E.D/E.N.D)

Chapitre 2 : Etude Expérimentale

Chapitre 3 : Analyse De Résultat

CHAPITRE I :

***Etude Bibliographique Sur Le
Béton Les Essais Béton (E.D/E.N.D)***

I -2 Méthodes destructives:

La plupart des propriétés des bétons sont en général évaluées par des essais sur des échantillons ayant été confectionnés avec la même gâchée que les ouvrages (éprouvettes normalisées 16/32 par exemple) ou bien ayant été prélevés (carottes) directement sur les ouvrages à ausculter [Bungey and Millard 1996]. Ces essais sont destructifs. Les mesures des résistances R_c et R_t sont par exemple réalisées avec des presses (compression, traction par fendage, par flexion, etc.). L'utilisation de méthodes dites non destructives applicables in situ est primordiale dans les cas où il est impossible de prélever un échantillon sur la structure, ou si l'on souhaite suivre l'évolution d'une caractéristique au cours du temps. Les principales techniques d'auscultation du béton couramment utilisées en génie civil sont présentées dans les ouvrages de Malhotra and Carino [Malhotra and Carino 1991], Bungey and Millard [Bungey and Millard 1996], ou Breysse and Abraham [Breysse and Abraham 2005]. [14]

I-2-1 But :

L'essai permet de déterminer :

- résistances R_c
- résistances R_t
- fendage ; par flexion ... etc

I-3 Méthodes non destructives:

Un CND, contrôle non destructif, est un ensemble de méthodes permettant de contrôler certaines propriétés/caractéristiques du béton sans compromettre son intégralité. Ces contrôles peuvent être effectués lors de la production du béton, sa mise en œuvre et sur le béton durci. De plus, ces essais peuvent être d'ordre acoustique, électromagnétique, électrochimique et thermique.

Les méthodes d'auscultation non destructives sont donc souvent intégrées dans une « stratégie d'auscultation » réfléchie, qui combine les résultats de mesures à d'autres sources d'information.

I-3-1 Pourquoi utiliser ces méthodes de contrôles :

L'essai permet de déterminer :

- Résistance en compression ;
- Corrosion des armatures ;
- Défauts de fabrication ;

- Étendue des fissures ;
- Épaisseur d'une dalle ;
- Localisation des armatures.

I-3-2 Avantages :

L'un des grands avantages de ces types d'essais est le fait qu'ils peuvent être réalisés rapidement et ils sont facile à mettre en œuvre (ne nécessite pas nécessairement de gâchées d'essais et donc de temps d'attente et plus économique).

Ces contrôles peuvent être effectués à la fois sur des ouvrages neufs et sur des ouvrages anciens.

Lors d'une situation d'urgence comme un feu ayant affecté une structure autrefois construite, les CND sont d'autant plus utiles pour testés les matériaux endommagés directement sur le terrain.

Il y a possibilité de suivre la performance du béton et son apparence au fil des ans sans que la structure soit modifiée.

I-3 -3 Principes generaux :

Quelle que soit la nature de la cible (pièce à tester), magnétique ou amagnétique, elle se caractérise par un ensemble de paramètres (R , σ ,...), que l'on va chercher à estimer afin de formuler un diagnostic d'intégrité.

Le système de contrôle non destructif représente la technique (ressuage, ultrason, magnétoscopie, contrôle par courants de Foucault.....) utilisée pour déterminer l'état de la cible, Le système d'adaptation et récupération de l'information est un système d'acquisition, dont le rôle est de concrétiser les résultats du contrôle. Les moyens utilisés dans cette étape diffèrent suivant le type de procédé utilisé, on peut trouver une impédance mètre, un microscope, un caméscope ou l'œil nu.

I-3 -4 les domaines d'application :

Les essais non destructifs permettent de contrôler la qualité de la construction et mesurer de façon indirecte les caractéristiques des matériaux à savoir :

- La résistance ;
- l'homogénéité ;
- La porosité ;

- La durabilité.

I-4 les Méthodes D'essais :

Il existe deux types de méthodes pour l'estimation de la résistance de compression du béton. Les premiers, englobent les méthodes qui ne mesurent pas directement la résistance mais d'autres propriétés du béton, à partir desquelles, une estimation de la résistance peut être obtenue. Ces méthodes incluent les tests suivants :

- ❖ **I-4-1** Essai au scléromètre
- ❖ **I-4-2** Les méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques.
- ❖ **I-4-3** Les méthodes électromagnétiques.
- ❖ **I-4-4** Les méthodes électriques
- ❖ **I-4-5** Les méthodes thermiques
- ❖ **I-4-6** Les méthodes radiographiques
- ❖ **I-4-7** Les méthodes optiques
- ❖ **I-4-8** Les inspections visuelles
- ❖ **I-4-9** Méthodes combinées

I-4 -1 Scléromètre : NF EN 12504-2

C'est l'instrument le plus utilisé dans le diagnostic des ouvrages déjà bâti. Le scléromètre est composé d'une tige en acier, sortant d'un cylindre, qui est appuyée sur le béton et comprime un ressort. En fin de course, ce ressort projette une masse sur la tige, sur laquelle elle rebondit ; ce rebondissement, d'autant plus important que le béton est dur, est mesuré la dureté.

C'est la méthode de dureté superficielle consiste essentiellement à une auscultation du béton par une manière standard, en utilisant une masse donnée activée par une certaine énergie puis mesurer ensuite le rebondissement. [9]

- **Principe**

La méthode d'essai du marteau de rebond est basée sur le principe que le rebond d'un bloc élastique dépend de la dureté de la surface de béton sur laquelle le bloc frappe.

Ainsi, la dureté du marteau et la lecture du béton peuvent être liées à la résistance à la compression du béton, la valeur de rebond est lue sur une échelle graduée et définie comme un

nombre de rebond ou un indicateur de rebond, la résistance à la compression peut être lue directement à partir du graphique sur le corps du marteau.

- **Appareillage**

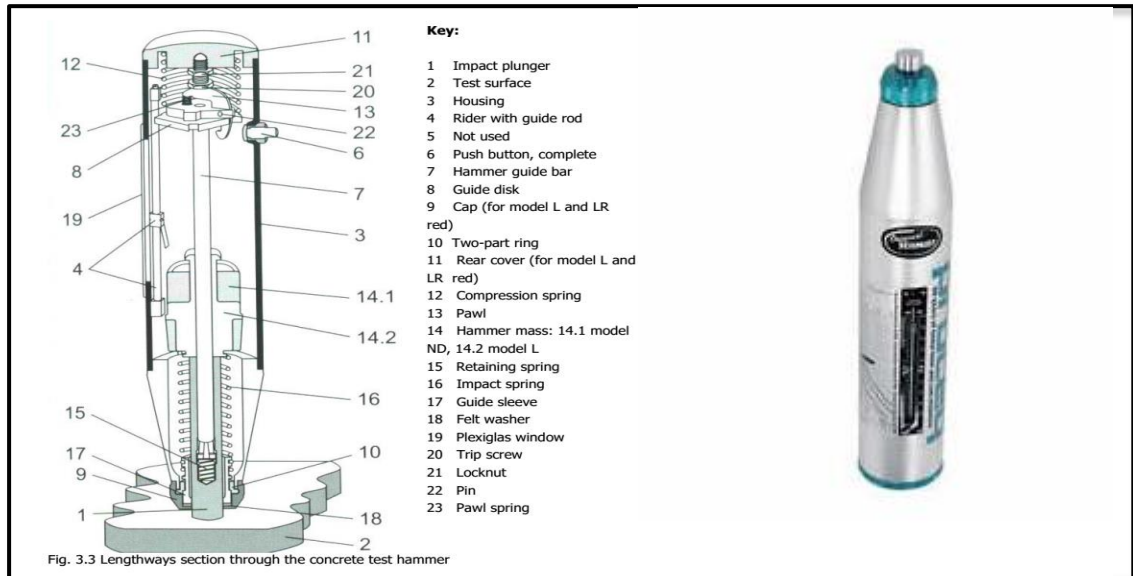


Figure (1): scléromètre

I-4- 2 méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques :

La méthode qui consiste à mesurer la vitesse de propagation des impulsions ultrasoniques est actuellement la seule du genre qui permette d'effectuer des essais de résistance sur le béton coulé sur place. Cette méthode permet de mesurer le temps de propagation d'une impulsion ultrasonique traversant le béton. Les principales caractéristiques de tous les appareils disponibles sur le marché sont très semblables. Ces appareils comprennent un générateur et un récepteur d'impulsions. Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc. Des cristaux semblables sont utilisés dans le récepteur. Le temps de propagation de l'impulsion dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques. [24]

Les essais consistant à mesurer la vitesse de propagation des impulsions peuvent être effectués sur des éprouvettes de laboratoire comme sur des ouvrages en béton réalisés. Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

1. La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, et une substance de contact telle une mince couche de paraffine est indispensable.

2. Le parcours doit être préférablement d'au moins 30 cm de façon à prévenir toute erreur occasionnée par l'hétérogénéité du béton.
3. Une augmentation de la vitesse des impulsions se produit à des températures sous le point de congélation à cause du gel de l'eau. En revanche, entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température.
4. La présence d'acier d'armature dans le béton a un effet appréciable sur la vitesse des impulsions. Il est par conséquent souhaitable et souvent indispensable de choisir des parcours d'impulsions qui ne sont pas influencés par la présence d'acier d'armature ou d'effectuer des corrections si de l'acier se trouve sur le parcours de l'impulsion.

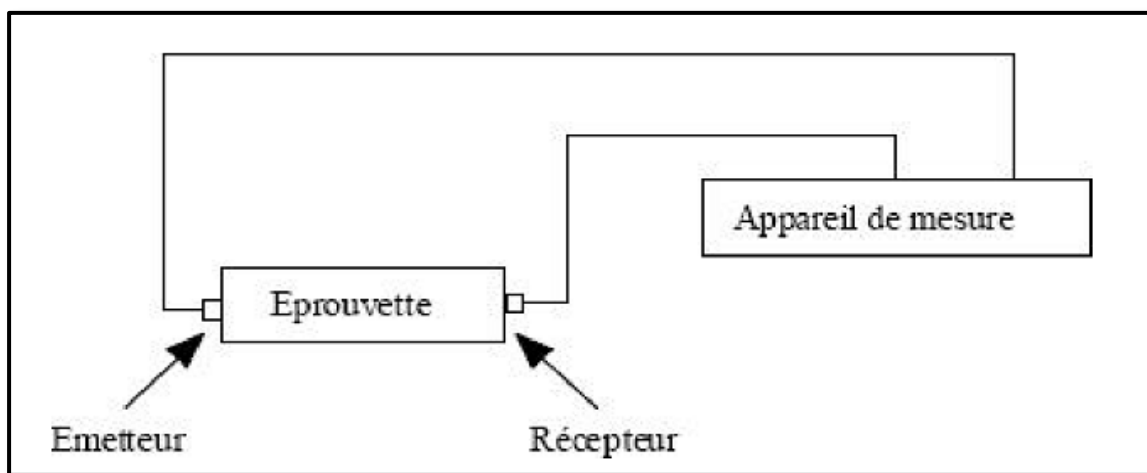


Figure (2) : Appareil de mesure

I-4- 3 Les méthodes électromagnétiques

Le principe repose sur l'émission d'une onde électromagnétique, et de l'analyse du signal induit. Ce sont les développements des antennes à hautes et très hautes fréquences qui ont permis la transposition de ces méthodes au génie civil. Ce sont des méthodes particulièrement bien adaptées aux mesures de géométrie (épaisseur, enrobage, détection d'interface, ...)

I-4- 4 Les méthodes électriques

Elles reposent sur la mesure des différences de potentiel, des intensités des courants ou de la capacité au sein du matériau, dus soit à des réactions électrochimiques dans le matériau, soit à des sollicitations artificielles. Cette famille regroupe les méthodes suivantes : mesure de la résistivité électrique, mesure du potentiel de corrosion (potentiel d'armature), mesure de la résistance de polarisation. Beaucoup d'application dans le domaine de la corrosion des aciers.

I-4- 5 Les méthodes thermiques

Il s'agit de mesurer la réponse d'un ouvrage aux variations de températures (naturelles ou artificielles). Les mesures sont effectuées dans le domaine de l'infrarouge. Ce sont des méthodes sans contact, adaptée à la détection.

I-4- 6 Les méthodes radiographie

Avec les rayons X qui sont projetés sur une structure de béton, il est possible d'en voir sa composition interne. Le phénomène est exactement le même que ce qui se produit lorsque quelqu'un subit des radiographies d'une partie de son corps. Les éléments le plus denses (exemple les armatures dans le béton) sont facilement visible sur une image de radiographie car ce sont les éléments qui sont les plus claires. On peut voir cette réalité sur la photo suivante.

L'appareil qui permet d'effectuer cet essai en est un qui est très portatif et qui permet une utilisation facile dans des endroits restreints comme des conduites de béton. De plus, les rayons qui sont projetés au béton pénètrent profondément dans la structure ce qui permet de repérer et d'identifier des armatures dans des éléments larges ou profonds. Pour pouvoir atteindre différentes profondeurs, il suffit de changer l'intensité des rayons X. Une autre utilisation de l'essai par radiographie est de détecter les éventuels défauts des gaines de précontrainte dans un béton précontraint par post-tension.

I-4-7 Les inspections visuelles

La plus simple et la plus immédiate des méthodes, l'inspection visuelle n'en est pas moins une auscultation non destructrice d'une surface. Les pathologies les plus courantes ont été décrites afin d'aider à la reconnaissance et au diagnostic [2]. La technologie est aussi venue soutenir cette méthode, en offrant des capteurs complémentaires de l'œil (caméras et appareils numériques), des moyens d'enregistrement (pour un suivi dans le temps) ainsi que des procédés d'analyse d'image pour l'interprétation. Le suivi topographique des ouvrages est aussi un moyen d'inspection qui va permettre de suivre déplacements ou déformation d'un ouvrage dans le temps.



Figure (3) : appareil numérique

I-4- 8 Méthodes combinées

Il est possible de combiner deux ou plusieurs méthodes non destructives à la fois et dont les résultats, introduits dans un traitement unique garantissent au résultat final obtenu une précision supérieure. A titre d'exemple MAMILLAN ET BOUINEAU (1980) on déduit de leur recherche sur ce sujet une méthode combinée qui permet une appréciation de la résistance de béton in situ en relation avec l'indice scléro-métrique et la vitesse de son. Indépendamment du type d'essai non destructif utilisé, les données proportionnées et fiables de corrélation avec des données standard de la résistance à la compression en 28 jours sont habituellement nécessaires pour évaluer l'exactitude de la méthode non destructive. En outre, la corrélation avec des résistances à la compression en place employant des carottes d'un ou deux endroits peut fournir des conseils en interprétant des résultats d'essai non destructifs ; ceux-ci peuvent alors être employés pour examiner de plus grandes parties de la structure. Le soin devrait être pris pour considérer l'influence des tailles et des endroits variables des éléments structuraux. Cette solution est particulièrement avantageuse lorsque des variations des propriétés du béton conduisent à des résultats contradictoires.

Par exemple, lorsqu'une augmentation du taux d'humidité augmente la vitesse de son, mais diminue l'indice de rebondissement enregistré avec l'essai au scléromètre. La RILEM (1993) propose des recommandations sur l'utilisation combinée d'essais non destructifs.

Cette technique est utilisée pour la détermination de la résistance en compression en tenant compte à la fois vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement est la méthode combinée ; elle permet d'attendre une précision accrue. Le principe reste identique et on a recours à un béton standard qui possède une courbe d'étalonnage spécifique.

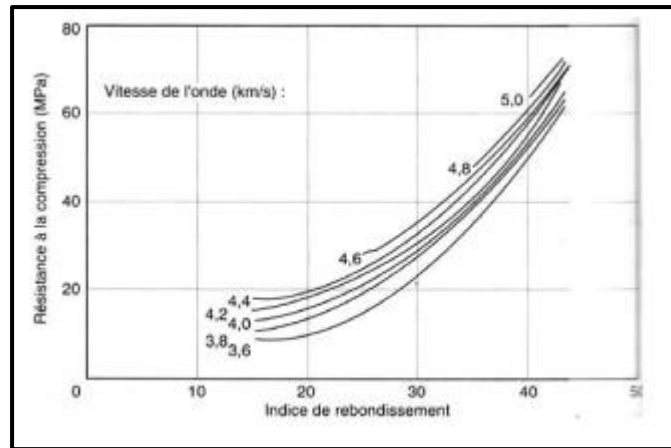


Figure (4) : Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)

I-4-9 Les méthodes optiques

Les méthodes optiques de mesure de champs ont l'avantage de ne pas interagir avec l'objet ausculté. Certaines méthodes, comme la photoélasticimétrie, le moiré et l'holographie ont été employées par le passé (il y a environ une vingtaine d'années) mais se sont confrontées à des difficultés de mise en œuvre sur le terrain. Avec le développement de l'informatique et de la vidéo, ces techniques sont aujourd'hui des méthodes dont l'utilisation est de plus en plus simple. Mais il ne faut pas perdre de vue la difficulté d'interprétation qui demande encore aujourd'hui une très bonne connaissance de la mesure et de la physique des phénomènes mis en jeu.

Parmi cette grande famille, nous pouvons citer trois techniques de mesure optiques :

- la photogrammétrie,
- la projection de franges et
- l'interférométrie.

Ces méthodes sont, de manière générale, de plus en plus courantes dans le monde industriel et notamment en génie civil [Taillade 2005]

I-5 Spécialisation en Les ultrasons :

I-5-1 Définitions d'ondes acoustiques :

Une onde est une déformation ou une vibration qui se propage dans un milieu défini :

- Mécanique : Les ondes mécaniques nécessitent une matière qui se déforme afin de se propager. Ce matériau a la capacité recouvrer son état initial grâce aux forces de restauration qui inversent la déformation.
- Électromagnétique : Les ondes électromagnétiques quant à elles n'ont pas besoin de support pour se déplacer : elles correspondent à des oscillation périodiques de champs électriques et magnétiques qui peuvent alors se déplacer dans le vide.
- Gravitationnelle : Les ondes gravitationnelles n'ont plus de support pour se déplacer puisque ce sont les déformations de la géométrie de l'espace-temps qui se propagent.
- Les corps possèdent une certaine élasticité, ils ont la possibilité de se déformer sous l'action des forces extérieures et reprennent leur forme initiale lorsque celles-ci sont supprimées.
- Un milieu élastique peut être schématisé grossièrement par des petites masses élémentaires (figurant les particules) réparties régulièrement dans l'espace et reliées par des ressorts (figurant les forces de cohésion de la matière)

I-5-2 Les techniques acoustiques :

Il existe trois techniques acoustiques pour évaluer le béton, nous avons: Les ultrasons (auscultation sonique ou ultrasonique pulse vitesse (UPV)) c'est ce que nous avons utilisée dans le cadre de notre étude; L'impact-écho; L'émission acoustique. La méthode de la vitesse d'impulsion (UPV) est une méthode vraiment non destructive, car la technique utilise des ondes mécaniques, ce qui n'entraîne aucun dommage sur l'élément en béton testé. Un échantillon peut être testé à plusieurs reprises au même endroit, ce qui est utile pour surveiller le béton subissant des changements structuraux internes sur une longue période de temps.

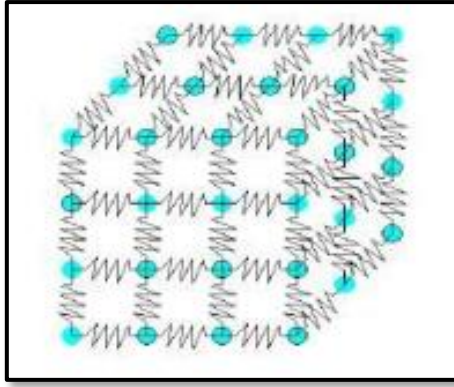


Figure (5).: Schématisation d'un milieu élastique

I-5-3 Caractéristique des ondes acoustiques :

Les ondes ultrasonores présentent toutes les propriétés générales des ondes élastiques. Elles n'ont pas de propriété qui leur soit propre. L'importance des ultrasons réside dans le fait que leur longueur d'onde est très petite et qui est souvent du même ordre de grandeur que les dimensions caractéristiques des milieux qu'ils parcourent (diamètre des grains, hétérogénéités, défauts éventuels), ce qui leur permet de traverser facilement.

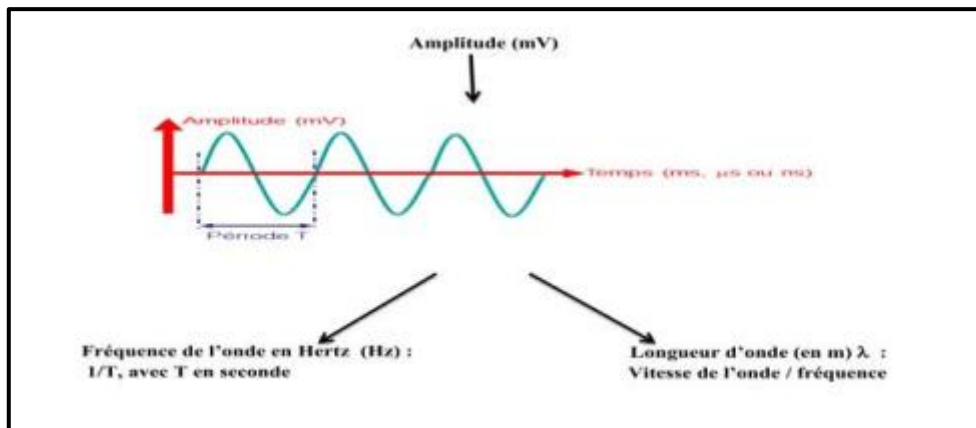


Figure (6) : La longueur d'onde λ :

I-5-4 Contrôles par les essais non destructifs

Les méthodes utilisées pour évaluer la qualité du béton dans les bâtiments ou les ouvrages comprennent les essais de résistance à la compression, à la flexion et à la traction effectués sur des éprouvettes coulées au même moment.

Les principaux désavantages de cette méthode sont que les résultats ne sont pas obtenus immédiatement ; le béton des éprouvettes peut être différent de celui de l'ouvrage car le cure ou le compactage peuvent être différents ; ainsi que les propriétés de résistance d'une éprouvette de béton dépendent de sa grosseur et de sa forme.

I-5-5 Définition :

Les essais non destructifs (END) représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments, ouvrage d'art ou de génie civil. Comme leur nom l'indique il s'agit de mesures n'endommageant pas les constructions. Etant entendu que quelques désordres mineurs peuvent être apportés à la structure sans toutefois modifier ni sa performance ni son apparence. Une importante caractéristique des essais non destructifs est qu'ils peuvent être refaits au même endroit ou presque, ce qui permet de suivre les changements des propriétés du béton dans le temps. Les essais non destructifs peuvent jouer un rôle exceptionnel dans la garantie de la qualité du béton et dans le développement ultérieur de la technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la réduction technologie de construction. La signification de ces essais se développera considérablement à l'avenir, parce que sa technologie de mesure automatisée et la de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles Le besoin d'ausculter un ouvrage :

- Vérifié (la conformité des hypothèses) ;
- Détecter (un défaut, un endommagement) ;
- Caractérisé (un défaut, un endommagement)

• But d'utilisation:

Ces essais sont rapides et légers à mettre en œuvre, et apportent de surcroît une réponse globale à l'échelle d'une structure ou d'un ouvrage, dans le cadre de contrôles d'ouvrages neufs ou en construction comme de diagnostics d'état d'ouvrages anciens.

• Principales méthodes:

Les méthodes le plus couramment utilisées dites non destructives est les techniques d'auscultation sclérométrique et ultrasonique.

I-5-6 de plane et ondes spheriqueon

Les ondes qui se propagent dans un plan s'appellent des ondes bidimensionnelles comme celles de l'image ci-dessous et qui sont produites lorsque la surface de l'eau est perturbée par une goutte d'eau par exemple.

Les ondes sonores produites par un instrument de musique par exemple, sont des ondes tridimensionnelles car elles se propagent dans les trois dimensions de l'espace.

Afin de représenter la propagation des ondes multidimensionnelles on utilise le concept de front d'onde.

On appelle front d'onde la courbe qui unit à chaque instant tous les points qui se trouvent dans le même état de perturbation ou, et c'est la même chose, qui ont la même phase.

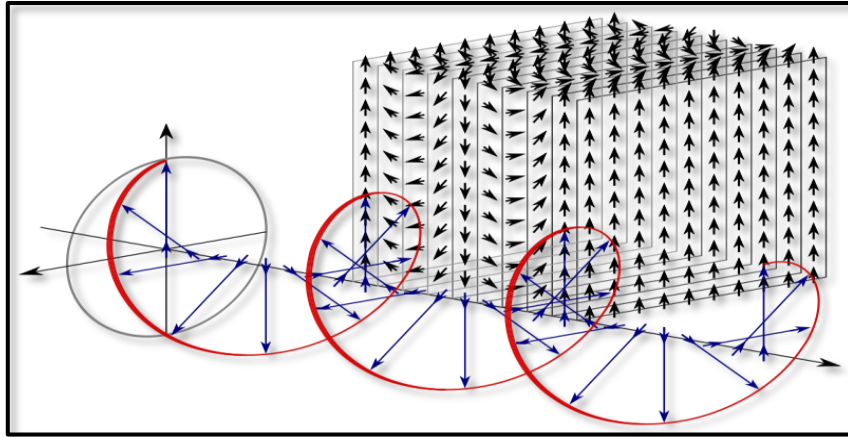


Figure (7) : onde sphérique

I-5-7 Bloqueur de publicité détecté

La connaissance est gratuite, mais les serveurs ne le sont pas. Aidez-nous à maintenir ce site en désactivant votre bloqueur de publicité sur YouPhysics. Merci!

Dans le cas d'une onde unidimensionnelle, le front d'onde est un point unique; pour les ondes bidimensionnelles comme celles de l'image ci-dessus, le front d'onde est circulaire. Le front d'onde d'une onde sonore qui se propage dans un milieu homogène et isotrope est une sphère qui est centrée à la source d'émission, c'est pour cette raison que ces ondes sont appelées des ondes sphériques.

La distance entre deux fronts d'onde consécutifs est la longueur d'onde λ de l'onde. Les rayons (représentés en rouge dans la figure ci-dessous) sont les flèches perpendiculaires aux fronts d'onde qui indiquent la direction et le sens de propagation de l'onde.

I-5-8 Onde plane

À une grande distance de la source, un élément de superficie d'un front d'onde sphérique peut être considéré comme étant un plan; dans ce cas les ondes sont appelées des ondes planes et les rayons sont parallèles entre eux et perpendiculaires aux fronts d'ondes:

- Mathématiquement une onde plane est décrite en utilisant la même fonction que pour les

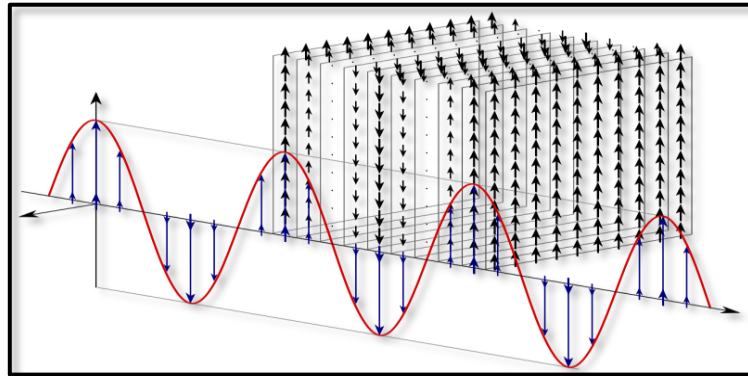


Figure (8) : Onde de plane

Où A est l'amplitude de l'onde, ω sa fréquence angulaire et k est le nombre d'onde

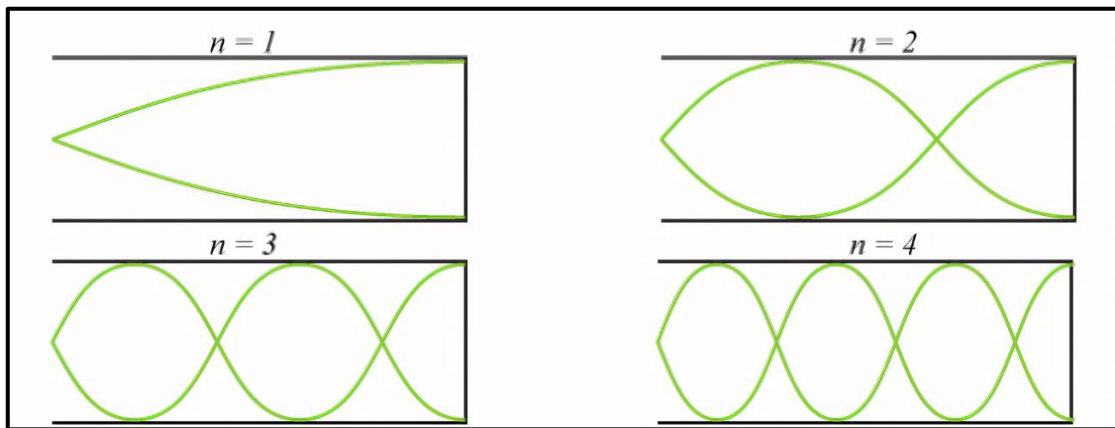


Figure (9) : Catégorie d'onde acoustique

I-5-9 Pou Production d'ultrasons

générer des ultrasons, vous avez besoin d'un générateur à haute fréquence qui convertit la fréquence normale du secteur de 50 à 60 Hz en oscillations à haute fréquence entre 20 et 40 kHz. Les transducteurs ultrasons ou transducteurs, qui peuvent être montés sous la cuve de nettoyage par exemple, convertissent ensuite ces oscillations électromagnétiques en vibrations mécaniques de même fréquence. En termes simples, le transducteur n'est rien de plus qu'un système de résonance, qui est animé par l'apport d'énergie approprié aux oscillations naturelles. Les transducteurs électro-acoustiques connus tels que les téléphones ou les haut-parleurs, qui fonctionnent dans la gamme de fréquences audibles, échouent dans la gamme des ultrasons pour diverses raisons. Par conséquent, on utilise l'effet piézoélectrique indirect. Si une tension électrique est appliquée à un matériau piézoélectrique, le matériau réagit avec un élargissement dans la direction longitudinale, tout en inversant la tension avec un raccourcissement. En

conséquence, une oscillation électrique, dans laquelle la tension est constamment inversée, peut être convertie en un mouvement mécanique alternatif.

Pour la production d'appareils à ultrasons de haute performance, on utilise des céramiques frittées en zirconate de titane (PZT) avec une efficacité de plus de 90%. À de basses fréquences de fonctionnement ultrasonores dans la gamme de 25 kHz, l'effet de nettoyage dû à la cavitation est très efficace. Les bulles de cavitation peuvent devenir importantes (les phases de traction et de pression prennent plus de temps) et donc contenir beaucoup d'énergie ou le libérer lors de l'implosion. Dans des gammes de fréquence relativement plus élevées de 40 kHz, on obtient un champ de bulles de cavitation plus petites mais nombreuses et on obtient un nettoyage particulièrement doux des parties sensibles.

Selon le domaine d'application, on travaille aujourd'hui avec des fréquences de 25 kHz (nettoyage grossier en génie mécanique) et 40 kHz (pièces sensibles, par exemple dans les domaines de la médecine, de l'optique et de l'électronique...).

Les ondes peuvent être classifiées selon la direction dans laquelle elles se propagent. Lorsqu'elles se propagent dans une seule dimension elles s'appellent des ondes unidimensionnelles (par exemple les ondes sonores qui se propagent dans un tube contenant du gaz).

I-5-10 Les ultrasons ou couramment nommée UPV

Les ultrasons sont à l'heure actuelle la méthode reine pour la détection de défaut sur des matériaux composites. Le matériel est constitué d'un générateur couplé à deux transducteurs piézoélectriques (émetteur – récepteur) et d'un oscilloscope numérique en option permettant d'enregistrer des signaux de mesure. Il est possible aujourd'hui de réaliser des mesures sur site à l'aide d'un matériel portable tel que le PUNDIT (Portable Ultrasonic Nondestructive Digital Indicating. Tester).

Le temps de propagation des ondes ultrasonores dans le béton, noté T en μs , s'affiche sur l'écran de l'appareil. À partir du temps mesuré, la vitesse ultrasonore, notée V en m/s , est calculée pour chaque mesure par la relation II.1 [Qasrawi, 2000 ; EN 12504-4,2005]

- **Avec L est la distance considérée entre émetteur et récepteur.**

Le son est un moyen de détecter la présence des vides, fissures. Ainsi les ultrasons permettent de déterminer des caractéristiques mécaniques du milieu ausculté et d'en apprécier l'homogénéité (en détectant des vides, délaminages et micro-fissurations), de caractériser un

béton dont le rapport E/C est incorrect, ou ayant subi une modification structurelle (cas des bétons gelés ou incendiés) [LCPC, 2005]. L'ultrason un moyen fiable, rapide, sûr, peu coûteux et non invasif, permettant l'estimation des propriétés et offre la possibilité de contrôle direct de la qualité, pour des constructions en béton saines ou endommagées par le séisme, la fatigue, l'incendie ou d'autres scénarios catastrophiques. Une vitesse élevée de propagation des impulsions indique généralement un béton de bonne qualité [Feidman, 2005] comme il a été décrit dans le Tableau.

I-5-11 Le Mode Opérateur :

I-5-11-1 Travaux préparatoires :

- Poncer et égaliser la partie de la surface de l'élément à ausculter où le transducteur sera fixé.
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériau d'interposition comme la vaseline, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de glycérol.

I-5-11-2 Points de mesures :

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

I-5-11-3 Distances minimales entre points de mesures :

On recommande une distance minimale de parcours de 400 mm pour les mesures en surface.

I-5-11-4 Étalonnage de l'appareil :

L'ultrason doit toujours être contrôlé par des essais d'étalonnage avant chaque utilisation. L'étalonnage consiste à vérifier le temps de propagation à travers la tige étalon dont le temps est connu à l'avance. Il faut ajuster l'ultrason dans le cas où le temps mesuré ne correspond pas à celui marqué sur la tige étalon.

I -5-12 Manières de mesure :

La vitesse des ultrasons est déterminée par le type d'élément de trois manières :

I -5-12-1 Mesure en transparence (directe) :

Les mesures en transparence sont utilisées dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres. Les transducteurs sont appliqués sur les deux faces de l'élément à tester.



Figure (10) : Mesures en transparence (directe)

I -5-12-2 Mesures en surface (indirecte) :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les dalles et éléments en longueur. L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance.

Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.



Figure (11): Mesures en surface

I -5-12-3 Mesures semi directe :

Ils sont utilisés sur tous les éléments de structure et éprouvettes .

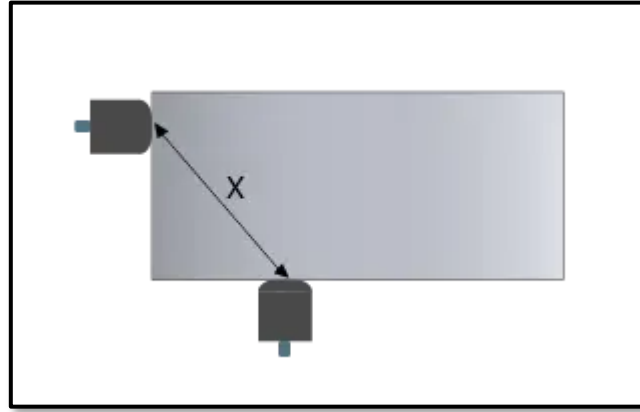


Figure (12) : Mesures semi direct

I -5-13 Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons :

Dans un milieu homogène et isotrope, la vitesse des ondes longitudinales des ultrasons est reliée au module d'élasticité et à la masse volumique. Cette relation donne une base logique pour utiliser des mesures de vitesse des ondes pour estimer la résistance à la compression du béton. Mais il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique unique entre les deux paramètres compte tenu de l'influence des différents constituants entrant dans la composition du béton. Par conséquent une corrélation plus fiable entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance du béton à la compression ne peut être établie que dans des limites strictes données ci –après

I -5-14 Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton :

La corrélation graphique entre de la vitesse de propagation V et la résistance à la compression R doit être établie au préalable pour un projet donné, sur la base du béton formulé pour ce chantier. Il est nécessaire dans ce cas d'effectuer les mesures sur au moins 30 éprouvettes en procédant comme suit :

- Pour un lot de 03 éprouvettes, prendre une valeur moyenne de la vitesse de propagation et de la résistance à la compression obtenue et soumises à des conditions d'essai identique ;
- Faire varier la quantité d'eau de gâchage ou de la compacité du béton pour le reste des lots (E/C variant de 0.40 à 0.8 est généralement pris).
- Il est bien entendu que toutes les autres caractéristiques du béton, doivent être identiques à celles du béton formulé et à mettre en oeuvre in situ.

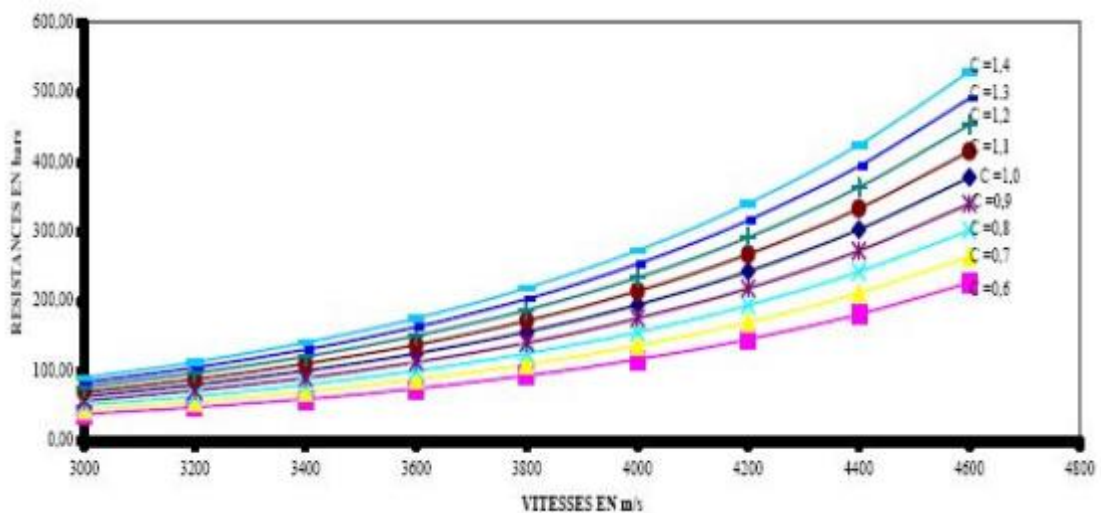
I -5-15 Paramètres influents la vitesse des ultrasons :

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats. Elle dépend énormément du d'élasticité des granulats et de leur quantité dans le béton. Par ailleurs, la résistance du béton ne dépend pas nécessairement du dosage en gros granulats ou de leur module d'élasticité.

Cependant pour un granulat donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, telles qu'un changement du rapport Eau/Ciment qui influe le module d'élasticité de la pâte. De plus d'autres facteurs influencent la propagation des ondes sonores à savoir :

- Le type de ciment ;
- Le dosage en ciment ;
- La nature des granulats ;
- La granulométrie ;
- L'humidité du béton ;
- La maturité du béton ;
- Les adjuvants.

Les résistances des autres bétons qui diffèrent du béton standard pour lequel une courbe de calibrage a été établie, doivent être corrigés en affectant la résistance du béton de référence par des coefficients partiels d'influence correspondants. Exemple de tracés de courbes de calibrage.



Figure(13): Courbes de calibrages

Excepté le cas on l'on dispose de courbes de calibrage telles que rappelées ci avant, des cas peuvent se présenter tels que :

- Composition du béton connue, absence d'éprouvettes ou de carottes ;
 - Composition du béton connue et existence d'un petit nombre d'éprouvettes ou d'une carotte ;
 - Méconnaissance de la composition du béton et existence d'éprouvettes ou de carottes ;
 - Méconnaissance de la composition du béton et inexistence d'éprouvettes et de carottes
- La détermination de la résistance du béton in situ sera étudiée au cas par cas ;

I -5-16 Autres interprétations possibles :

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré comme connu. Les résistances ne correspondent pas toujours à la résistance réelle du béton in situ. C'est pour cette raison que par exemple dans les procès-verbaux du CNERIB, seules les appréciations suivantes sont données :

- **Classements qualitatifs :**

- $2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$ béton de faible résistance ;
- $3200 \text{ m/s} \leq V < 3700 \text{ m/s}$ béton de moyenne résistance ;
- $3700 \text{ m/s} \leq V < 4200 \text{ m/s}$ béton à haute résistance ;
- $V \geq 4200 \text{ m/s}$ béton à très haute résistance.

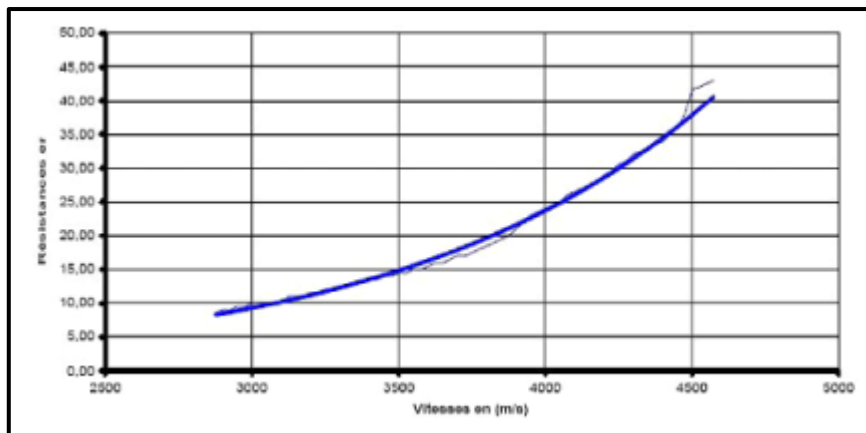


Figure (14): Courbe RILEM

Références normatives :

Les normes P 18-414 de 1993, P 18-418 de 1989, ASTM C 597- 83 ré approuvée en 1991 et BS 1881 : partie 203 : 1986 spécifient les modes opératoires sans pour autant donner d'interprétation des résultats obtenus. 3.6.1.2.9. [14]

I -6 Conclusion:

Dans l'état actuel les habitudes d'évaluation de la qualité du béton dans les domaines de la construction, consistent à faire des essais destructifs à la compression ou la traction sur des éprouvettes (cubiques ou cylindriques) confectionnées lors de la réalisation de l'élément structural ou sur des carottes prises directement de la structure. On a aussi

recours à d'autres méthodes appelées essai non destructifs. Comme leur nom l'indique il s'agit de mesures n'endommageant pas les constructions par exemple le marteau de Schmidt et des méthodes ultrasoniques de vitesse d'impulsion et d'autres qui n'ont pas été décrite dans notre mémoire :

Comme Essai de résistance à la pénétration, Essai d'arrachement , Essai de la fréquence de résonance, Essai pour la mesure de l'adhérence, et méthodes électriques ...etc.

Ainsi il y a un besoin énorme des outils efficaces de méthodes END d'évaluer les éléments en béton dans les structures. On le prévoit souvent dans ce point de technologie qu'un ingénieur devrait pouvoir faire quelques mesures sur le terrain rapides et pouvoir diagnostiquer l'état de la structure. Ceci peut être une réalité dans un proche avenir.

Dans notre étude on a basé sur le essai non destructifs le plus largement répandus; essai de vitesse ultrason.

Le principe de cette méthode consiste à déterminer la résistance en compression du béton à partir des abaques donnant la variation de la résistance du béton en fonction de la vitesse des ultrasons et de l'indice de rebondissement $[R (V, N)]$. Cette résistance est corrigée par des valeurs des coefficients d'influences des différents constituants et de leur nature.

Ou bien à partir des formules d'estimation d'après les résultats des essais au laboratoires. Cette technique est utilisée pour la détermination de la résistance en compression en tenant compte à la fois vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement.

Le principe reste identique et on a recours à un béton standard qui possède une courbe d'étalonnage spécifique.

CHAPITRE II :

ETUDE EXPERIMENTALE

II-1 les essais :

II-1-1 Module de finesse (Mf) :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un sable. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en **pourcentages** sur les tamis **0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5mm**.
 $Mf = 1/100$ Refus cumulés en % des tamis [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5] Classement du sable selon la valeur de Mf : [17]

- De 1,8 à 2.2 : Sable peu fin ;
- De 2.2 à 2.8 : Sable préférentiel ;
- De 2.8 à 3.2 : Sable peu grossier ;

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse Mf compris entre 2,2 et 2,8; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ;au-dessus, le sable manque de fillers et le béton y perd en ouvrabilité.

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables destinés à utilisation en bétons [17]

Module de finesse sable djamaa 2. 23

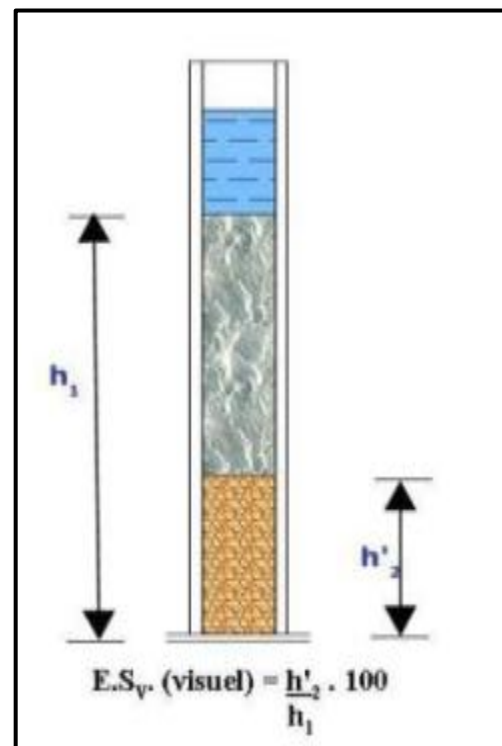
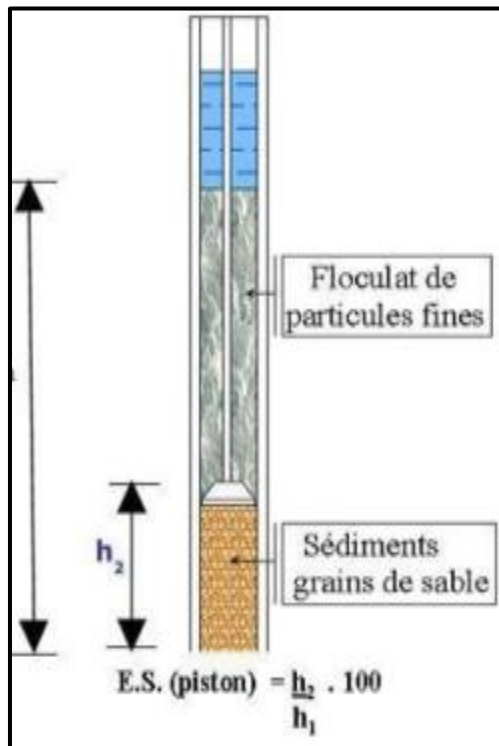
II-1-2 Équivalent de sable : [NF P18 -598]

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

- **But de l'essai :** L'essai a pour but d'évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans un échantillon du sable.
- **Principe de l'essai :** L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :
 - Hauteur h1 : hauteur totale = Partie sédimentée + flocculat ;
 - Hauteur h2 : Hauteur de la partie sédimentée seulement.

• **Mode opératoire :**

- La solution lavante a été versée dans l'éprouvette, jusqu'au trait repère inférieur ;
- Verser soigneusement, une masse sèche de $120 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$ de matériau ;
- Laisser reposer dix minutes ;
- Faire subir à l'éprouvette 90 cycles ± 1 cycle en $30 \text{ s} \pm 1 \text{ s}$. (à l'aide de l'agitateur) ;
- Rincer et compléter l'opération jusqu'à atteint le trait repère supérieur ;
- Laisser reposer pendant $20 \text{ min} \pm 10 \text{ s}$;
- Au bout de ces 20 min, mesurer à l'aide du réglet la hauteur h_1 ;
- Mesurer également la hauteur h_2 du niveau supérieur de la partie sédimentée ;
- Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette ;
- Lire la hauteur du sédiment h_2 au niveau de la face supérieure du manchon ;



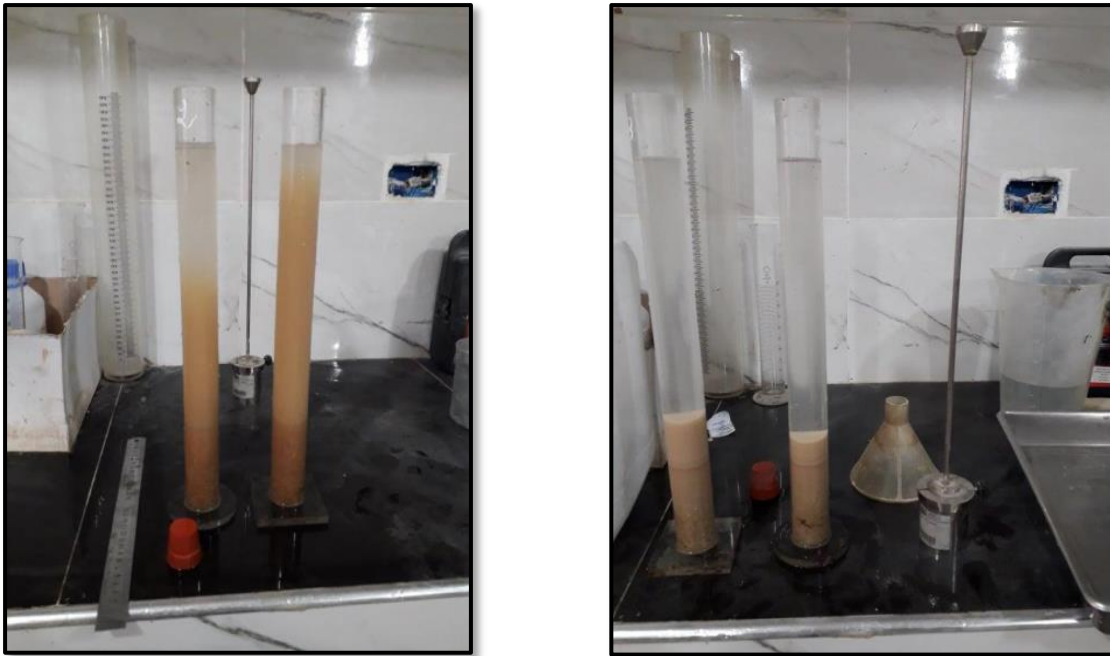


Figure II (1) Étapes d'un essai d'équivalent du sable

- | |
|---|
| a) Agitation de l'éprouvette à 90 cycles en 30s |
| b) Éprouvette au début de période de repos |
| c) Après 20 min de repos (à la fin de l'essai) |

• **Expression des résultats :**

La valeur de l'équivalent de sable, est donnée par la formule :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} \times 100$$

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

$$ES_v = \frac{h'_2}{h_1} \times 100$$

ES : équivalent de sable mesuré au piston ;

ES_v : équivalent de sable mesuré visuellement ;

h₁ : hauteur du sable propre seulement ;

h₁ : hauteur du sable propre seulement au piston ;

h'₂ : hauteur du sable propre et élément fins ;

Tableau II. 1: Nature et qualité du sable en fonction de l'ES [17]

ES à vue	ES au piston	Nature et qualité du sable
ES < 65%	ES < 60%	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement. Sable à rejeter pour des bétons de qualité ou vérification plus précise de la nature des fines par un essai au bleu de Méthylène.
65% ≤ ES < 75%	60% ≤ ES < 70%	Sable légèrement argileux de propreté admissible pour les bétons de qualité courante quand le retrait n'a pas de conséquence notable sur la qualité du béton.
75% ≤ ES < 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable propre à faible proportion de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES ≥ 85%	70% ≤ ES < 80%	Sable très propre. L'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra compenser par une augmentation du dosage en eau.

• Résultats :

Équivalent de sable djamaa = 70.82 %

II-1-3 Masse volumique apparente :

Le détail du processus de l'essai a été décrit au-dessus dans la caractérisation du ciment; que ce soit matériel utilisé ou mode opératoire; Les photos suivantes montre les étapes principales de la mesure masse volumique apparente



Figure II (2) Mesure de la masse volumique du sable jaune (DJAMAA)

- **Expression des résultats :** La masse volumique apparente est donnée par la simple formule:

$$\rho_{app} = \frac{M}{V}$$

Avec :

ρ_{app} : La masse volumique apparente (g/cm³)

M : La masse du sable contenu dans le récipient (g)

V : Le volume du récipient utilisé dans l'essai (cm³)

- sable djamaa 1.61 g/cm³
- gravier tout 3/8 1.73 g/cm³
- gravier tout 8/15 1.70 g/cm³
- gravier tout 15/25 1.75 g/cm³

II-1-4 Masse volumique absolue : [NF P 18-555]

La masse volumique absolue d'un matériau est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons.

résultats :

- Masse de l'eau déplacé correspond au volume du corps : $M_E = M_1 + M_2 - M_3$;
- Volume de l'eau déplacé :

$$V_E = \frac{M_E}{\rho_E} \quad (\rho_E : \text{Masse spécifique de l'eau}).$$

- La masse volumique absolue est donnée par la formule :

$$\rho_{abs} = \frac{M_2}{V_E}$$

- sable djamaa 2.62 g/cm³
- gravier tout 3/8 2.63 g/cm³
- gravier tout 8/15 2.64 g/cm³
- gravier tout 15/25 2.65 g/cm³

II-1-5 Coefficient d'absorption d'eau :

On appelle coefficient d'absorption d'eau d'un échantillon de matériau le volume des vides contenus dans l'unité de volume de cet échantillon

$$A_b = \frac{V_{\text{vides}}}{V_{\text{éch}}}$$

- **But de l'essai :**

Déterminer le coefficient d'absorption d'eau d'un matériau à partir de différentes pesées.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à peser le matériau sec, remplir les vides avec de l'eau et le peser imbibé d'eau.

- **Mode opératoire :**

- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105 °c pendant 24 heures ;
- Prélever un échantillon de matériau sec et le peser : soit M0 ;
- Placer l'échantillon dans l'eau et porter à l'ébullition ;
- Maintenir l'ébullition pendant 2 heures pour chasser l'air des pores ;
- Laisser refroidir dans l'eau pour que celle-ci rentre dans les vides ;
- Retirer de l'eau et essuyer chaque grain ;
- Peser à nouveau l'échantillon : soit M1 ;

Résultats :

Tableau II. 2 : résultats Coefficient d'absorption d'eau.

	Échantillon de masse 1500 g	24 heures dans l'eau	écher l'échantillon à l'étuve à 105 ° c
Sable Djamaa	1500g	1745	1649
Sable concasse touta	1500g	1708	1631
Gravier touta 0/3	1500g	1616	1583
Gravier touta 8/15	1500g	1548	1520
Gravier touta 15/25	1500g	1544	1512

II-1-6 Coefficient d'aplatissement

- **But de l'essai :**

Les granulats plats ne permettent pas de réaliser des bétons très compacts, et en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats.

La forme d'un granulat est définie par trois grandeurs géométriques :

- La longueur L , distance maximale de deux plans parallèles tangents aux extrémités des granulats ;
- L'épaisseur E , distance minimale de deux plans parallèles tangents aux extrémités des granulats ;
- La grosseur G , dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulat.

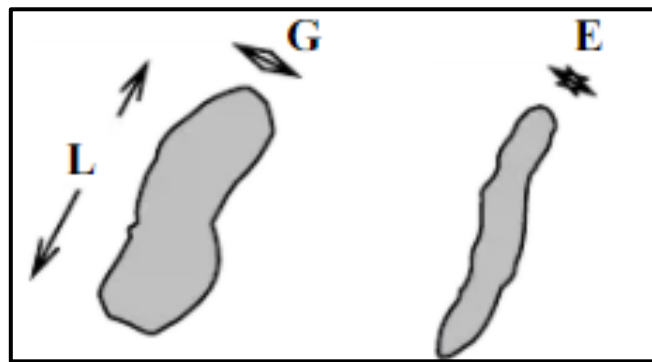


Figure II.3 : forme d'un granulat.

- **Mode opératoire :**

- Le tamisage classique sur une colonne de tamis normalisés à mailles carrées afin de séparer les granulats en une succession de classes granulaires d/D dont les dimensions sont telles que $D = 1.25 d$.
- Les différentes classes granulaires d/D ainsi isolées sont tamisées une à une sur des grilles à fentes parallèles d'écartement $E = d / 1.58$.
- On peut donc associer à chaque classe granulaire d/D un tamis à fente correspondant de largeur E , ce qui permet de définir des coefficients d'aplatissement A_i partiels.
- Ensuite, on détermine un coefficient d'aplatissement global A .

• **Équipements :**

- 1- Une série de tamis normalisés à mailles carrées.
- 2- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées



Figure II.4: Appareillage Coefficient d'aplatissement .

Tableau II.3 : Correspondance entre classes granulaires et largeurs des grilles à fentes

Classe granulaire d/D (mm) .	31.5 /40	25/ 31.5	20/ 25	16/20	12.5/ 16	10/12.5	8/10	6.3/ 8	5/6. 3	4/5
Écartement E des grilles à fentes (mm)	20	16	12.5	10	8	6.3	5	4	3.15	2.5

Résultats:

- gravier toute 3/8 16.82 % ;
- gravier toute 8/15 13.74 % ;
- graviier toute 15/25 11.25 % ;

II-1-7 Analyse granulométrique: [NF EN 933-1]

- **Définition :** La granulométrie c'est la science qui s'intéresse à l'étude de la distribution dimensionnelle du granulat. En d'autres termes elle permet de déterminer les dimensions des grains en fraction élémentaire. L'analyse granulométrique a pour objet :
 - Déterminer les dimensions des granulats d'une classe granulaire.
 - Déterminer les proportions de grains de même dimension (% Pondéral).
- **Principe de l'essai :** L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie

supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par tamisage sur une colonne des tamis Matériel utilisé :

Une série des tamis : **0.08 - 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm.**

Tamiseuse électrique - Une balance de précision

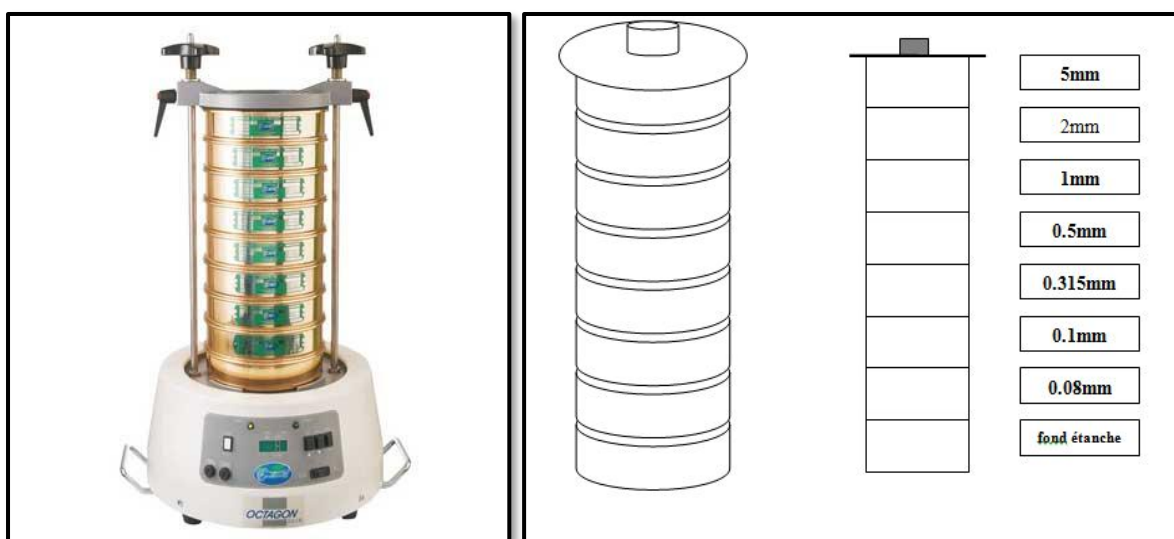


Figure II.5 : appareil de tamisage / tamis .

Résultat le:

Sable :

Le sable utilisé dans notre production de béton est: sable djamaa d'une taille de grains de 0/3 mm

Tableau II.4 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / Sable djamaa Échantillon de masse: 1000 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
5	0	0	0	100
2.5	18.2	18.2	1.82	98.12
1.25	60.2	78.4	7.84	92.16
0.63	205.3	283.7	28.37	71.63
0.315	470.6	754.3	75.43	24.57
0.16	224	978.3	97.83	2.17
0.08	4.2	982.5	98.25	1.75

• **Gravier en provenance de Ain- touta :**

Le gravier utilisé dans notre production de béton est: Gravier de carrière Granules Touta (3/8- 8/15 -15/25)

Tableau II.5 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (3/8) touta Échantillon de masse: 1500 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
10	5	5	0.3	99.7
8	8	13	0.9	99.1
6.3	240	253	16.9	83.1
5	470	723	48.2	51.8
4	305	1028	68.5	31.5
2	432	1460	97.3	2.7
1	28	1488	99.2	0.8
0.5	10	1498	99.9	0.1

Tableau II.6: analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (8/15) touta Échantillon de masse: 1500 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
20	0	0	0.0	100.0
16	251	251	16.7	83.3
12.5	420	671	44.7	55.3
10	382	1053	70.2	29.8
8	325	1378	91.9	8.1
6.3	114	1492	99.5	0.5
5	4	1496	99.7	0.3
4	0	1496	99.7	0.3

Tableau II.7 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (15/25) tout Échantillon de masse: 1500 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
25	0	0	0.0	100.0
20	660	660	44.0	56.0
16	690	1350	90.0	10.00
12.5	130	1480	98.7	1.13
10	18	1498	99.9	0.13

II-1-8 Coefficient d'absorption d'eau : [NT 21-04-1984 , NF 18-554-1990]

On appelle coefficient d'absorption d'eau d'un échantillon de matériau le volume des vides contenus dans l'unité de volume de cet échantillon

$$A_b = \frac{V_{\text{vides}}}{V_{\text{éch}}}$$

- **But de l'essai :**

Déterminer le coefficient d'absorption d'eau d'un matériau à partir de différentes pesées.

- **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à peser le matériau sec, remplir les vides avec de l'eau et le peser imbibé d'eau.

- **Mode opératoire :**

- Sécher l'échantillon à l'étuve à 105 °c pendant 24 heures ;
- Prélever un échantillon de matériau sec et le peser : soit M0 ;
- Placer l'échantillon dans l'eau et porter à l'ébullition ;
- Maintenir l'ébullition pendant 2 heures pour chasser l'air des pores ;
- Laisser refroidir dans l'eau pour que celle-ci rentre dans les vides ;
- Retirer de l'eau et essuyer chaque grain ;
- Peser à nouveau l'échantillon : soit M1 ;

résultats :

Tableau II.8 : résultats Coefficient d'absorption d'eau .

	Échantillon de masse 1500 g	24 heures dans l'eau	écher l'échantillon à l'étuve à 105 ° c
Sable Djamaa	1500g	1745	1649
Sable concasse tout	1500g	1708	1631
Gravier tout 0/3	1500g	1616	1583
Gravier tout 8/15	1500g	1548	1520
Gravier tout 15/25	1500g	1544	1512

II-1-9 Propreté superficielle de gravier :

• **Définition et But de l'essai :**

A l'instar de ce qui se pratique pour les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.



Figure II.6 : gravier tout .

• **Principe:**

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage.

• **Matériel utilisé :**

Tamis de maille 0.5 mm et un seau d'eau.

• **Mode opératoire:**

- Peser un kg de gravier soit M_0 et le placer dans le tamis ;
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse le tamis soit claire, Matériel utilisé. Tamis de maille 0.5 mm et un seau d'eau ;
- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M_1 ;
- Calculer la propreté ;

$$P(\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} * 100$$

Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) $\leq 5\%$.

résultats :

Échantillon de masse : 1500 g

- gravier toute 3/8 0.87 %
- gravier toute 8/15 0.73 %
- gravier toute 15/25 0.60 %

II-1-10 Essai los Angeles [N.F. P18.573] :

• **But de l'essai**

L'essai Los Angeles permet de déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

• **Appareillage :**

- Un jeu de tamis de dimension convenable, leur diamètre ne devra pas être inférieur à 250 mm ;
- Matériel nécessaire pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage ;
- Une machine Los Angeles comprenant ;
- Des charges de boulets (constituées de boules sphériques pesant entre 420 et 445 g en acier Z 30C ($\varnothing = 47 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$) ;
- Un moteur d'au moins 0,75kw assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation régulière comprise entre 30 et 33 tours / mm ;
- Un bac destiné à recueillir les matériaux après essai ;
- Un compte tour de type relatif arrêtant automatiquement le moteur au nombre de tours voulus ;



Figure II.7 : Appareillage los Angeles .

• **Mode opératoire :**

- La quantité envoyée au laboratoire sera au moins égale à 15000g.
- Tamiser l'échantillon à sec sur chacun des tamis de la classe granulaire choisie en commençant par le tamis le plus grand.
- Laver le matériau tamisé et le sécher à 105°C jusqu'à l'obtention de la masse constante.
- La charge utilisée sera fonction de la classe granulaire

Tableau II.9 : Classification par le norme [N.F. P18.573].

Classe granulaire (mm)	Nombre de boulets
4 / 6,3	7
6,3 / 10	9
10 / 14	11
10 / 25	11
16 / 31,5	12
25 / 50	12

- Remplacer le couvercle.
- Faire effectuer à la machine 500 rotations sauf pour la classe 25 / 50 où l'on effectue 1000 rotations à une machine régulière comprise entre 30 et 33 tours / mm.
- Recueillir le granulat dans un bac placé sous l'appareil, en ayant soin d'amener l'ouverture juste au dessus de ce bac sur le tamis de 1,6 mm, le matériau étant pris plusieurs fois afin de faciliter l'opération.

- Laver le refus au tamis de 1,6 mm. Egoutter et sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constant.
- Peser le refus une fois séché. Soit m' le résultat de la pesée.

• **Calculs :**

Le coefficient Los-Angeles (LA) :

$$LA = m * 100M$$

avec m masse du refus à 1.6 mm. M masse initial Plus le pourcentage Los Angelès (noté LA) est bas, plus l'échantillon est résistant à la fragmentation.

Résultats :

- gravier tout 3/8 **16.62 %**
- gravier tout 8/15 **16.12 %**
- gravier tout 15/25 **15.32 %**

II-1-11 Essai Micro Deval [NF P 18-572] :

• **But de l'essai:**

L'essai Micro Deval permet de mesurer la résistance à l'usure des roches. Cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas la même à sec ou en présence d'eau.

• **Appareillage:**

- Un jeu de tamis de 1,6 – 4 – 6,3 – 10 et 14 mm, le diamètre des mouture ne devant pas être inférieur à 200 mm.
- Matériel pour effectuer l'échantillonnage du matériau et une analyse granulométrique par tamisage.
- L'appareil Micro – Deva.
- La charge abscisse (constituée des billes sphériques de $(10 \pm 0,5)$ mm de diamètre en acier INOX Z30 C13 ($\varnothing = 9,5$ mm).
- Un dispositif doit permettre d'arrêter automatiquement le moteur après deux heures d'essai correspondant à 12 000 rotations.

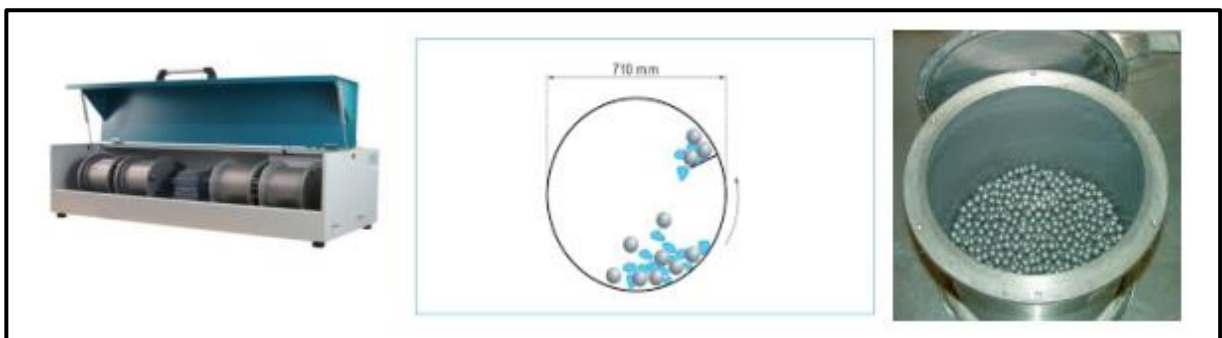


Figure II.8: Appareillage- Micro Deval.

• **Mode opératoire :**

- La masse de l'échantillon envoyée au laboratoire sera de 2000g N.B : La granularité du matériau (de l'échantillon) est choisi parmi les trois classes granulaires 4 / 6,3 – 6,3 / 10 – 10 / 14.
- Laver l'échantillon et le sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à obtention de la masse constante.
- Tamiser à sec sur les tamis de la classe granulaire choisie.
- Pour commencer l'essai, préciser 200 g de l'échantillon.
- La charge à utiliser sera fonction de la classe granulaire Classe granulaire (mm), Charge abrasive (g).

➤ 4 / 6,3, 2000 ± 5.

➤ 6,3 / 10, 4000 ± 5.

➤ 10 / 14, 5000 ± 5.

Tableau II.10 : Classe granulaires, poids d'échantillons et boulets équivalent.

Classes granulaires (mm)	Poids échantillon (g)	Poids de la charge (g)
4 – 6.3	500 ± 2	2000 ± 5
6.3 – 10	500 ± 2	4000 ± 5
10 - 14	500 ± 2	5000 ± 5

- Pour effectuer un essai en présence d'eau, on ajoutera 2,5 l replacer le couvercle.
- Mettre les cylindres en rotation à une vitesse de (100 ± 5) trs / mn pendant 2h ou 12000 tours.
- Après essai, recueillir le granulat et la charge abrasive dans un bac en prenant soin d'éviter les pertes de granulat.
- Laver soigneusement à la pissette l'intérieur du cylindre en recueillant l'eau et les parties minérales entraînées.
- Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm ; le charge abrasive sera retenue sur un tamis de 8 mm.
- Laver l'ensemble sans un jet d'eau et retirer la charge abrasive (à l'aide d'un aimant par exemple). Procéder en plusieurs fois pour faciliter l'opération.
- Sécher le refus à 1,6 mm à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

- Peser ce refus au gramme près, soit m' le résultat de la pesée.

- **Calculs :**

Le coefficient Micro-Deval est par définition égal au rapport :

$$m = M - m'$$
$$Cmd = 100 \times m / M$$

- M : masse de l'échantillon 500 ou 10.000 g selon la classe choisie,
- m : masse du tamisat au tamis de 1,6 mm Le résultat sera arrondi à l'unité.
- Le coefficient mesure le % d'usure, plus il est petit et plus la résistance à l'usure est grande.

Résultats :

Échantillon de masse :500 g.

- gravier toute 3/8 20.20 %.
- gravier toute 8/15 20.80 %.
- gravier toute 15/25 23.07 %.

II-2 ciment utilisé :



Figure II.9 : La qualité du ciment utilisé .

- **CEM II/A-L 42.5R** Ciment portland aux ajouts recommandés pour bétons à performances élevées avec une prise Rapide, destiné à la réalisation des infrastructures, construction dans le bâtiment, le génie civil, ainsi pour le domaine de préfabrication.
- **CEM II/A-L 42.5R :** Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013)

domaine d' application :

Un ciment pour tous vos travaux de constructions, nécessitant une résistance initiale élevée, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes :

- Les grands ouvrages, construction et bétons armés ou non.
- Béton projeté, pompé et béton pour étanchéité.
- Article en béton et préfabrication industrielle.
- Bétonnage par temps froid ou chaud.
- Voiles en béton.

formulation conseillée :

	ciment		Sable		Gravillons ^(sec)		Eau	
			(sec) 0/5		8/15mm	15/25mm	(litres)	
Dosage pour béton	50k X1	+	X7	+	X5	X4	+	25 L
	ciment		Sable		Sable ^(sec)		Eau	
			Correcteur 0/1mm		0/4mm		(litres)	
Mortier de briquetage	50k X1	+	X6	+	X9		+	35 L
Mortier de finitions	50k X1	+	X9	+	X6		+	35 L

Remarque: un bidon = 10 litres .

caractéristiques techniques :

Analyses chimiques (%)	valeur
Perte au feu	6 – 8
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.5 – 2.9
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	< 3.5
Teneur en Chlorures (Cl ⁻)	< 0.08
Résidu insoluble	NA
Composition Potentielle du Clinker (%) (Selon Bogue)	valeur
C ₃ S	60 – 65
C ₃ A	6 – 10
Propriétés physiques	valeur
Consistance normale (%)	25.4 – 26
Expansion à chaud (mm)	< 1 mm
Temps de prise (min)	valeur
Début de prise	150 min
Fin de prise	260 min
Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPa)	23 – 26
28 jours (MPa)	45 – 50

II-3 L'eau de gâchage :

L'eau de gâchage : d'après la norme **NF EN 1008**, il joue deux fonctions principales :

Confère au béton sa maniabilité à l'état frais (ses propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement. Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent)
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs à condition de vérifier aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâche à l'Aure, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation.

- Les eaux de pluie et ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également. A côté, les catégories d'eaux .

II-3-1 devant pas être utilisées comprennent :

- 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.

II-3-2 Eaux usées:

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-4 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.

II-4-1-1 Les différentes méthodes de composition des bétons :

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

La méthode appliquée est donc une méthode de DREUX GORISSE

II-4-1-2 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 a 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

- **Hypothèses de travail**

Caractéristique du béton :

- Résistance moyenne a 28 jours du béton f_c :25mpa
- Affaissement au cone d'abramsA:8cm

Caractéristique du ciment :

- Classe des granulats.....courante
- Diamètre du plus gros granulatd:25mm
- Coefficient granulaire.....g:0.5

Résistance visée :

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

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

- Dosage en ciment et en eau
- $f_{c'} = G \cdot f_{CE} (C/E - 0.5)$
- avec : $f_{c'} = \sigma'_{28j}$ résistance visée à 28 jours
- f_{CE} : classe vraie de ciment en MPa.
- G : coefficient granulaire
- C : dosage en ciment (Kg /m³ de béton)
- E : dosage en eau (Kg d'eau/m³ de béton ou litre d'eau/m³ de béton).

- par la suite d'après le rapport C/E on détermine le volume d'eau comme suit : $E = \text{le rapport } (C/E) \times \text{dosage de ciment}$

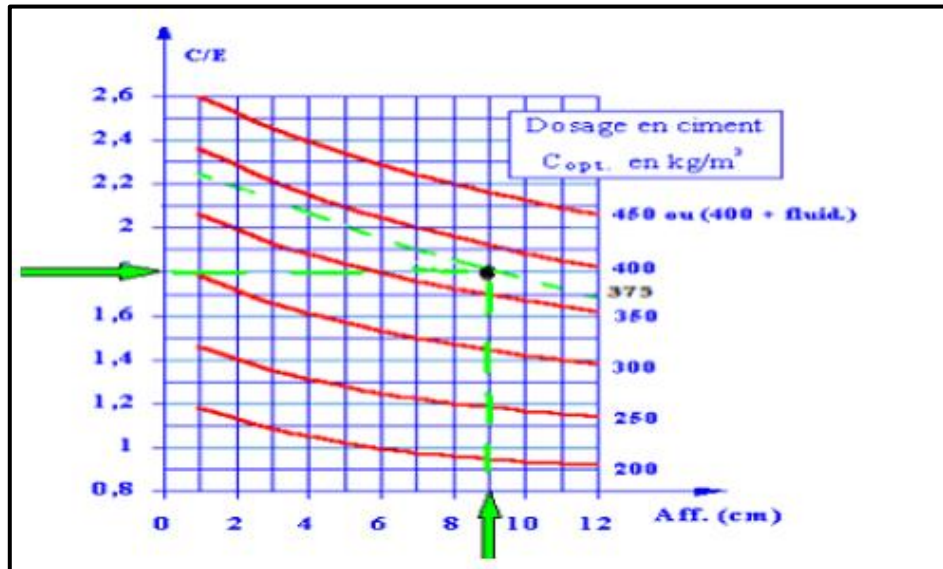


Figure II.10 : dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée .

dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

Le Traçage de la courbe granulaire de référence AOB :

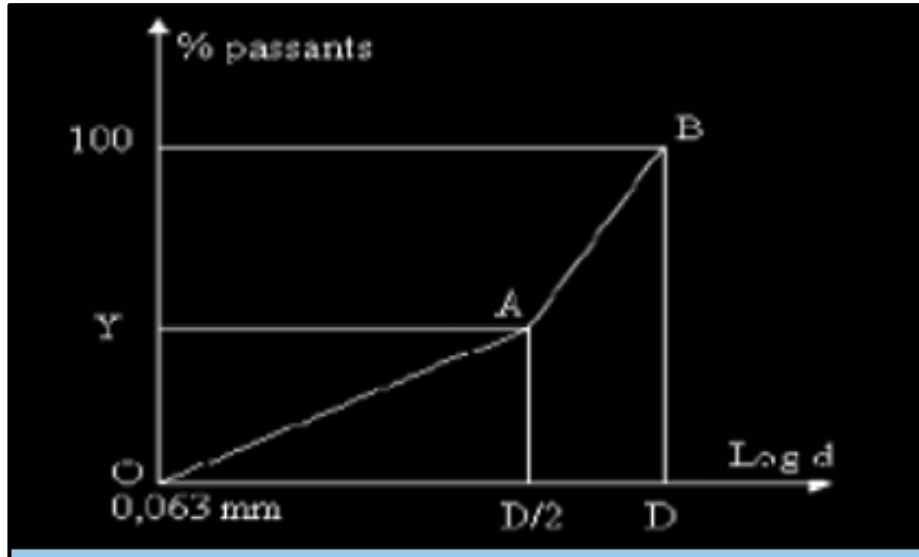


Figure II.11 : Le Traçage de la courbe granulaire de référence AOB .

- 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

- 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

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 1m³

- $V_{abs} = V_s + V_g + V_c = 1 \text{ m}^3$
- V_{abs} : la masse absolue de ciment kg/m³

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

- $V_c = C / V_{abs}$ soit,

C : dosage en ciment (kg/m³)

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

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

Masse de gravier

- $G_{0/3} = V_g \times M_v \text{ abs}$
- $G_{3/8} = V_g \times M_v \text{ abs}$
- $G_{8/15} = V_g \times M_v \text{ abs}$
- $G_{15/25} = V_g \times M_v \text{ abs}$

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

Tableau II.11: détermination de G (coefficient granulaire) .

Qualité des granulats	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

II-4-2 Formule n°01 (sable 0/3 + gravier 3/8) :

Pour $C = 350 \text{ kg/m}^3$

DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times \sqrt{C/E - 0,5}$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m^3 de béton.
- C = masse de ciment par m^3 de béton.
- E = masse d'eau par m^3 de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350 \text{ bar}$.
- M_v = réelle en $\text{g/cm}^3 = 3.1$.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253 \text{ bar}$

$$253 = 0,50 \sqrt{350 (C/E - 0,5)} ;$$

$$253 = 175 \sqrt{C/E - 0,5}$$

$$340.5 = 175 \sqrt{C/E} , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L} .$$

DOSAGE EN GRANULATS :

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X = 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :
- Abscisse = $D/2$ si $D < 5 \text{ mm}$.
- Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D SI $D > 20 \text{ mm}$
- Ordonnée : $Y = 50 + K : D=08 \text{ mm } K = +2$ d'où $Y = 47 \%$.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

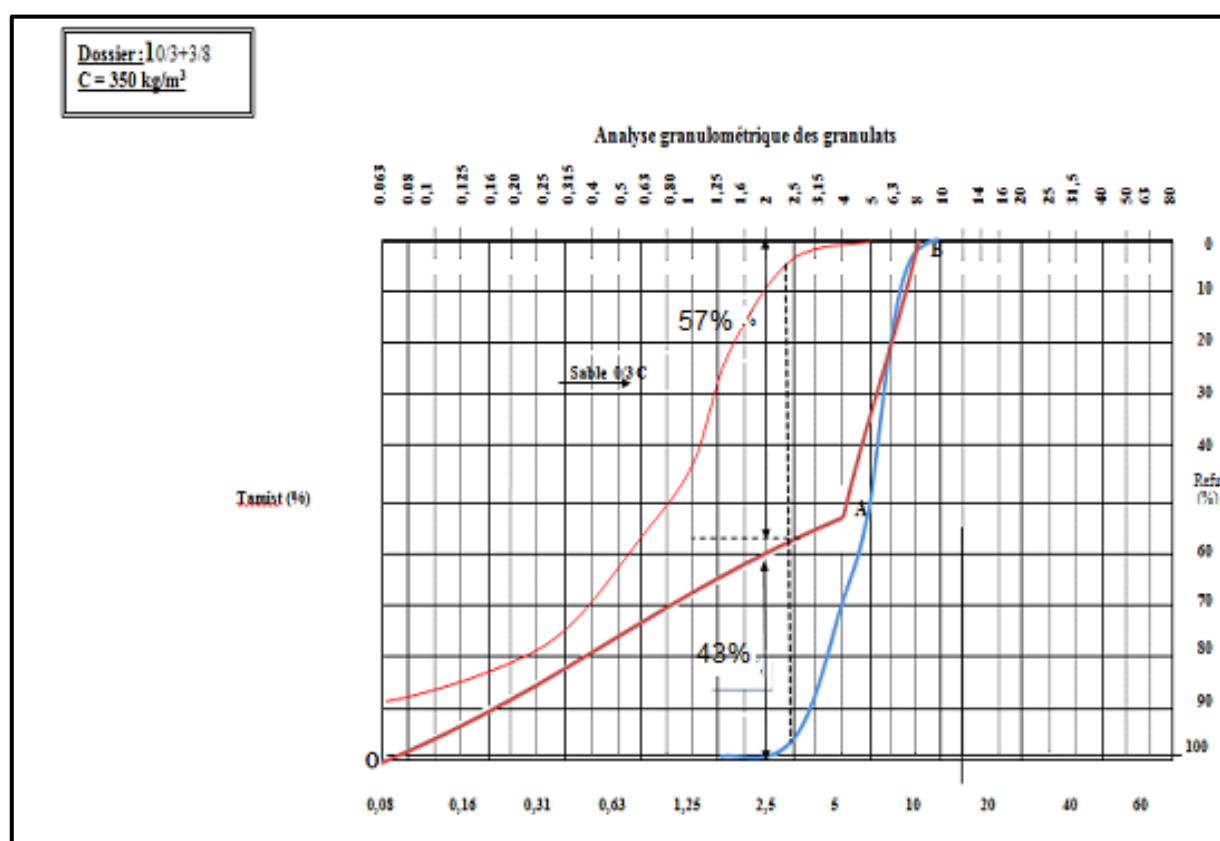


Figure II.12 : Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats. N° 01

– Gravier de classe 3/8.....57 %

- Sable 0/343 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \cdot 0,820 = 820 \text{ l.}$

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L.}$

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L.}$

En déduit :

- Masse sable $0,43 \cdot 707 \cdot 2,620 = 796 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 3/8 $0,57 \cdot 707 \cdot 2,620 = 1055 \text{ kg/m}^3.$
- Masse ciment $= 350 \text{ kg/m}^3.$
- Masse d'eau (hors adjuvant) $= 180 \text{ kg/m}^3$
- Poids total 2382 kg/m^3

Pour C= 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

- Ciment : 350 kg
- Eau : 180 L
- Sable 0/3 796 kg ou bien $796/1,870$ $V_{app} = 425 \text{ L}$
- Gravier 3/8 : 1055 kg $1055/1,680$ $V_{app} = 627 \text{ L}$

II-4-3 Formule n°02 (sable 0/3 + gravier 15/25) :

C= 350 kg/m

• **DOSAGE EN EAU :**

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \cdot x / C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350 \text{ bar.}$
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253 \text{ bar}$

$$253 = 0,50 \cdot 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L} .$$

• **DOSAGE EN GRANULATS :**

– On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X = 11\text{mm}$, son ordonnée est :

– Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0

– Point B : abscisse : D ordonnée : 100

– Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :

– Abscisse = $D/2$ si $D < 20 \text{ mm}$.

– Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D SI $D > 25 \text{ mm}$

– Ordonnée : $Y = 50 + K : D = 25 \text{ mm}$ $K = +2$ d'où $Y = 47 \%$.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

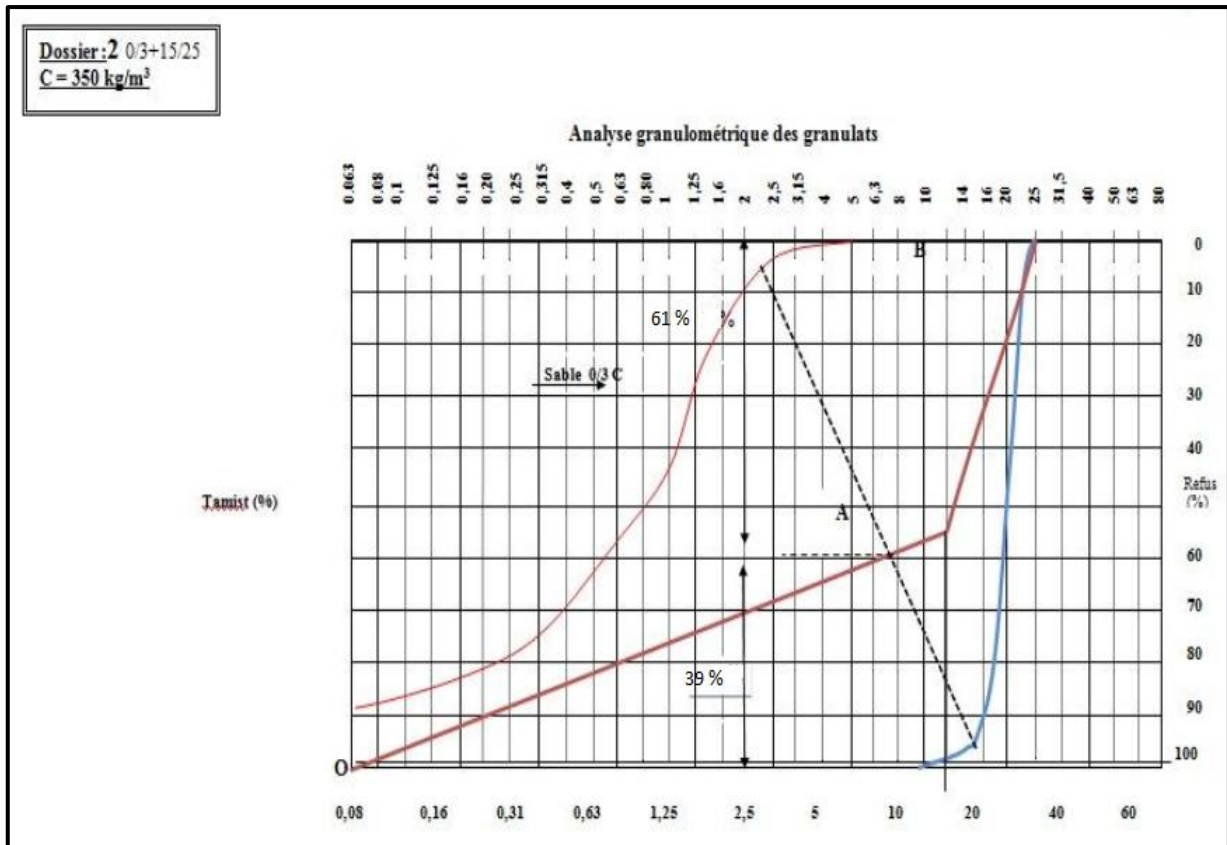


Figure II.13: Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 02 .

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

- Gravier de classe 15/2561 %
- Sable 0/339 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \times 0,820 = 820 \text{ l.}$

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L.}$

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L.}$

En déduit :

- Masse sable $0,39 \times 707 \times 2,620 = 722 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 15/25 $0,61 \times 707 \times 2,630 = 1134 \text{ kg/m}^3.$
- Masse ciment $= 350 \text{ kg/m}^3.$
- Masse d'eau (hors adjuvant) $= 180 \text{ kg/m}^3$
- Poids total 2386 kg/m^3

Pour C= 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

- Ciment : 350 kg
- Eau : 180 L
- Sable 0/3 : 722 kg ou bien 722 /1.870 V_{app} = 386 L
- Gravier 15/25 : 1134 kg 1134/1.700 V_{app} = 667 L

II-4-4 Formule n°03 (sable 0/3 + gravier 8/15) :

C= 350 kg/m³

• DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times /C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350$ bar.
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253$ bar

$$253 = 0,50 \cdot 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94$$

$$E = 180 \text{ L} .$$

• DOSAGE EN GRANULATS :

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X= 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :
- Abscisse = $D/2$ si $D < 20 \text{ mm}$.

– Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à $D_{SI D} > 25 \text{ mm}$

– Ordonnée : $Y = 50 - K : D = 15 \text{ mm}$ $K = +2$ d'où $Y = 48.12 \%$.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats:

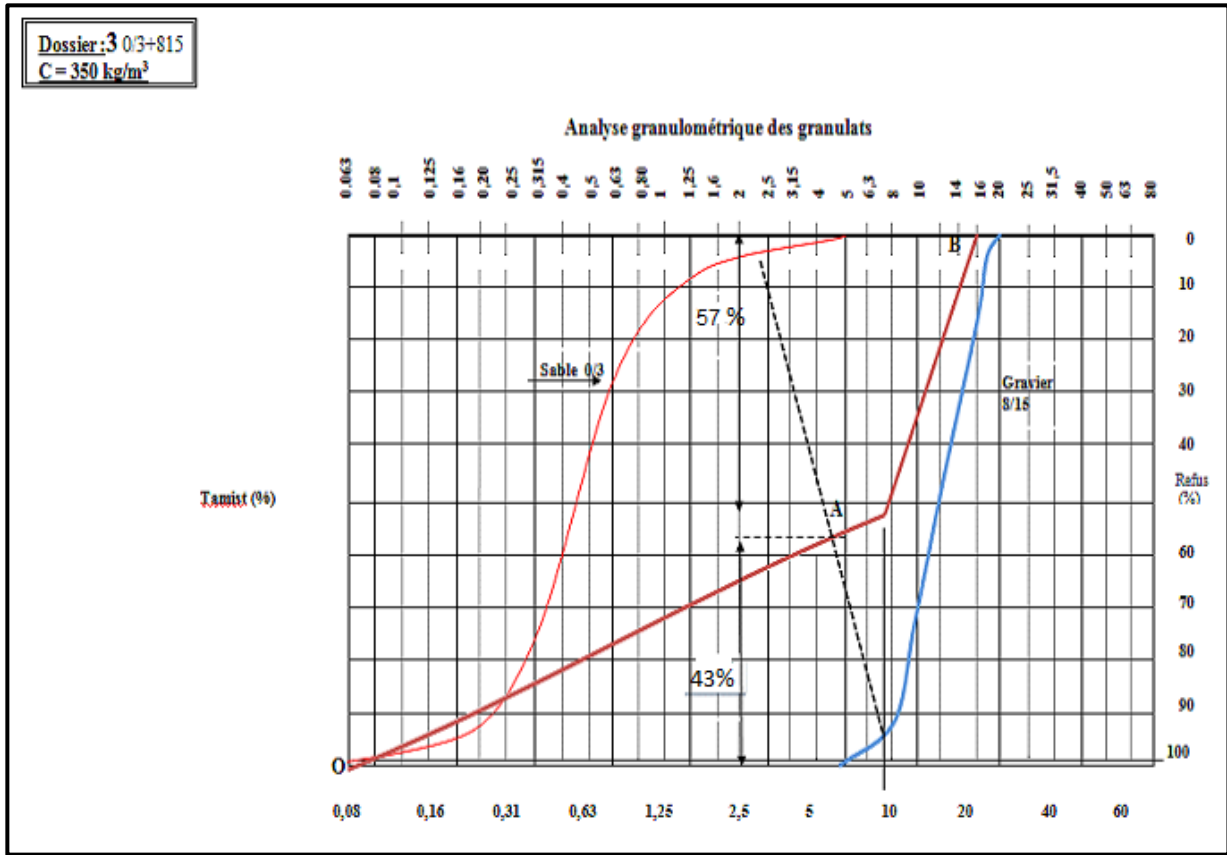


Figure II.14: Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 03 .

- Gravier de classe 8/15.....57 %
- Sable 0/343 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 / 0,820 = 820$ l.

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113$ L.

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707$ L.

En déduit :

- Masse sable $0,43 \cdot 707 \cdot 2,620 = 796$ kg/m³.
- Masse gravier 8/15 $0,57 \cdot 707 \cdot 2,660 = 1071$ kg/m³.
- Masse ciment = 350 kg/m³.
- Masse d'eau (hors adjuvant) = 180 kg/m³.
- Poids total 2397 kg/m³.

C = 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

- Ciment : 350 kg
- Eau : 180 L
- Sable 0/3 : 796 kg ou bien 796/1.920 $V_{app} = 414 \text{ L}$
- Gravier 15/25 : 1071 kg 1071/1.700 $V_{app} = 630 \text{ L}$

II-4-5 Formule n°04 (sable 0/3 djamaa + gravier 8/15 et gravier 3/8) :

Pour C= 350 kg/m³

• DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times /C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350 \text{ bar}$.
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253 \text{ bar}$

$$253 = 0,50 \cdot 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L} .$$

• 6.1.2/ DOSAGE EN GRANULATS :

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X= 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :
- Abscisse = $D/2$ si $D < 20 \text{ mm}$.
- Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D SI $D > 25 \text{ mm}$

– Ordonnée : $Y = 50 - K : D = 15 \text{ mm}$ $K = +2$ d'où $Y = 48.12 \%$.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

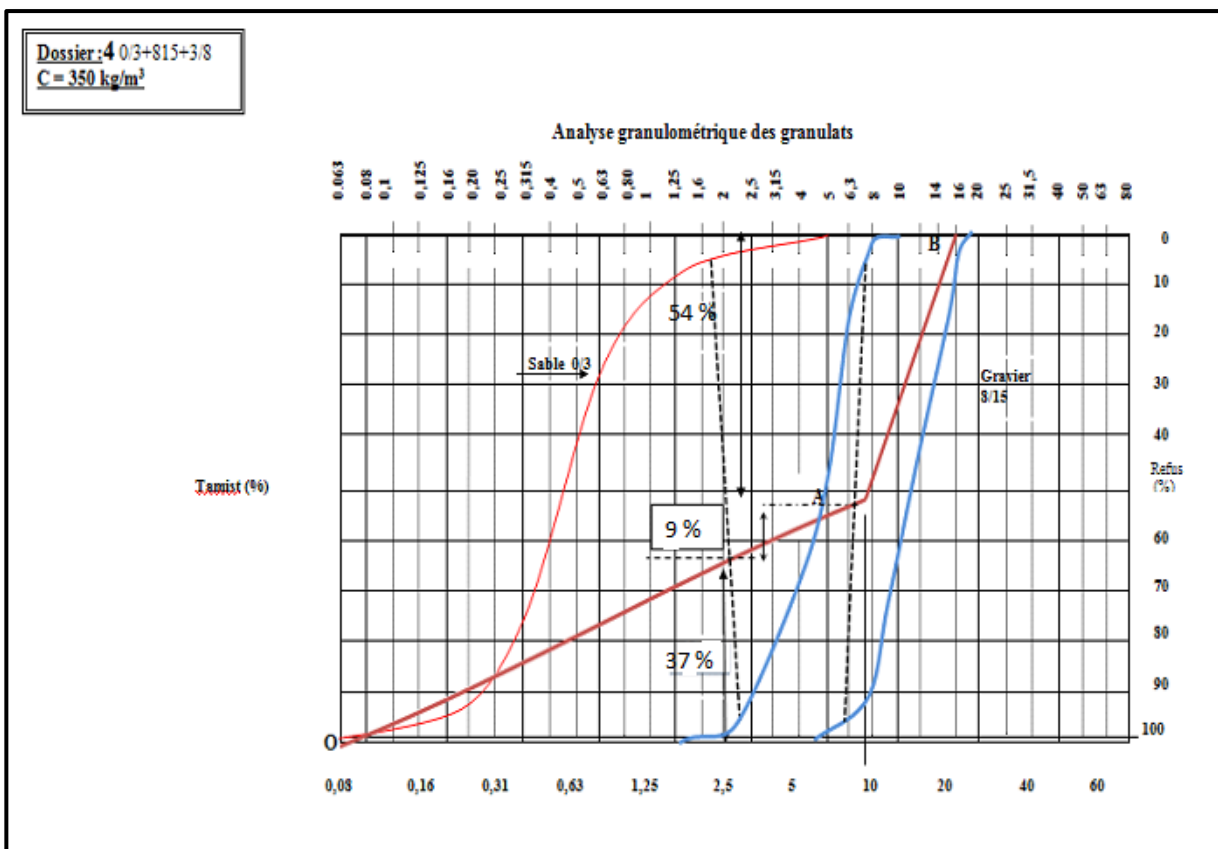


Figure II.15 Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N°04

- Gravier de classe 8/15.....54 %
- Gravier de classe 3/8.....9 %
- Sable 0/3(djamaa)37 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \cdot 0,820 = 820 \text{ l.}$

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L.}$

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L.}$

En déduit :

- Masse sable $0,37 \cdot 707 \cdot 2,620 = 685 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 8/15 $0,54 \cdot 707 \cdot 2,660 = 1015 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 3/8 $0,09 \cdot 707 \cdot 2,630 = 187 \text{ kg/m}^3.$
- Masse ciment $= 350 \text{ kg/m}^3.$
- Masse d'eau (hors adjuvant) $= 180 \text{ kg/m}^3$
- Poids total 2417 kg/m^3

C= 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

- Ciment : 350 kg
- Eau : 180 L
- Sable 0/3 (djamaa) : 685 kg ou bien 685/1.850 V_{app} = 370 L
- Gravier 8/15 : 1015 kg 1015 /1.780 V_{app} = 570 L
- Gravier 3/8 : 187 kg 187 /1.680 V_{app} = 111 L

II-4-6 Formule n°05 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25 et gravier 3/8) :

C = 350 kg/m³

• **DOSAGE EN EAU :**

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times /C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350$ bar.
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253$ bar

$$253 = 0,50 \times 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L .}$$

• **DOSAGE EN GRANULATS :**

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X = 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :

- Abscisse = $D/2$ si $D < 20$ mm.
- Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D si $D > 25$ mm
- Ordonnée : $Y = 50 + K : D = 25$ mm $K = +2$ d'où $Y = 47$ %.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

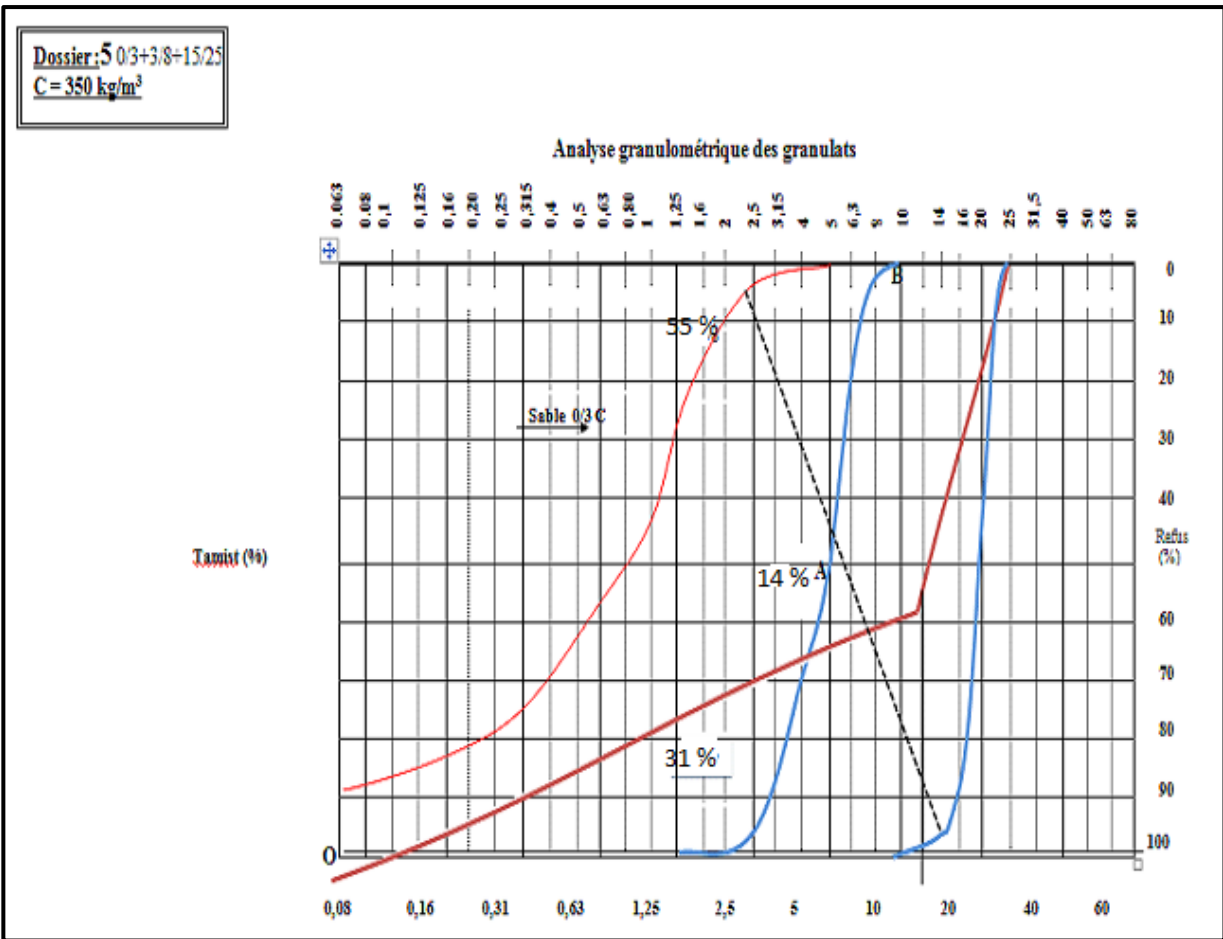


Figure II.16: Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 05 .

- Gravier de classe 15/2555 %
- Gravier de classe 3/8..... 14 %
- Sable 0/3(djamaa)31 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \times 0,820 = 820 \text{ l.}$

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L.}$

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L.}$

En déduit :

- Masse sable $0,31 \times 707 \times 2,620 = 574 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 15/25 $0,55 \times 707 \times 2,630 = 1022 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 3/8 $0,14 \times 707 \times 2,630 = 260 \text{ kg/m}^3.$
- Masse ciment $= 350 \text{ kg/m}^3.$
- Masse d'eau (hors adjuvant) $= 180 \text{ kg/m}^3$

- Poids total 2386 kg/m³

C = 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante

Ciment : 350 kg

- Eau : 180 L
- Sable 0/3 (djamaa) : 574 kg ou bien 574/1.850 V_{app} = 310 L
- Gravier 15/25 : 1022 kg 1022/1.700 V_{app} = 601 L
- Gravier 3/8 : 260 kg 260/1.680 V_{app} = 154 L

II-4-7 Formule n°06 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25, gravier 8/15 et gravier 3/8)

C = 350 kg/m³

• DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times /C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350$ bar.
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253$ bar

$$253 = 0,50 \cdot 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L} .$$

• DOSAGE EN GRANULATS :

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X = 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :
- Abscisse = $D/2$ si $D < 20$ mm.
- Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D SI $D > 25$ mm
- Ordonnée : $Y = 50 - K : D=25$ mm $K = +2$ d'où $Y = 47$ %.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

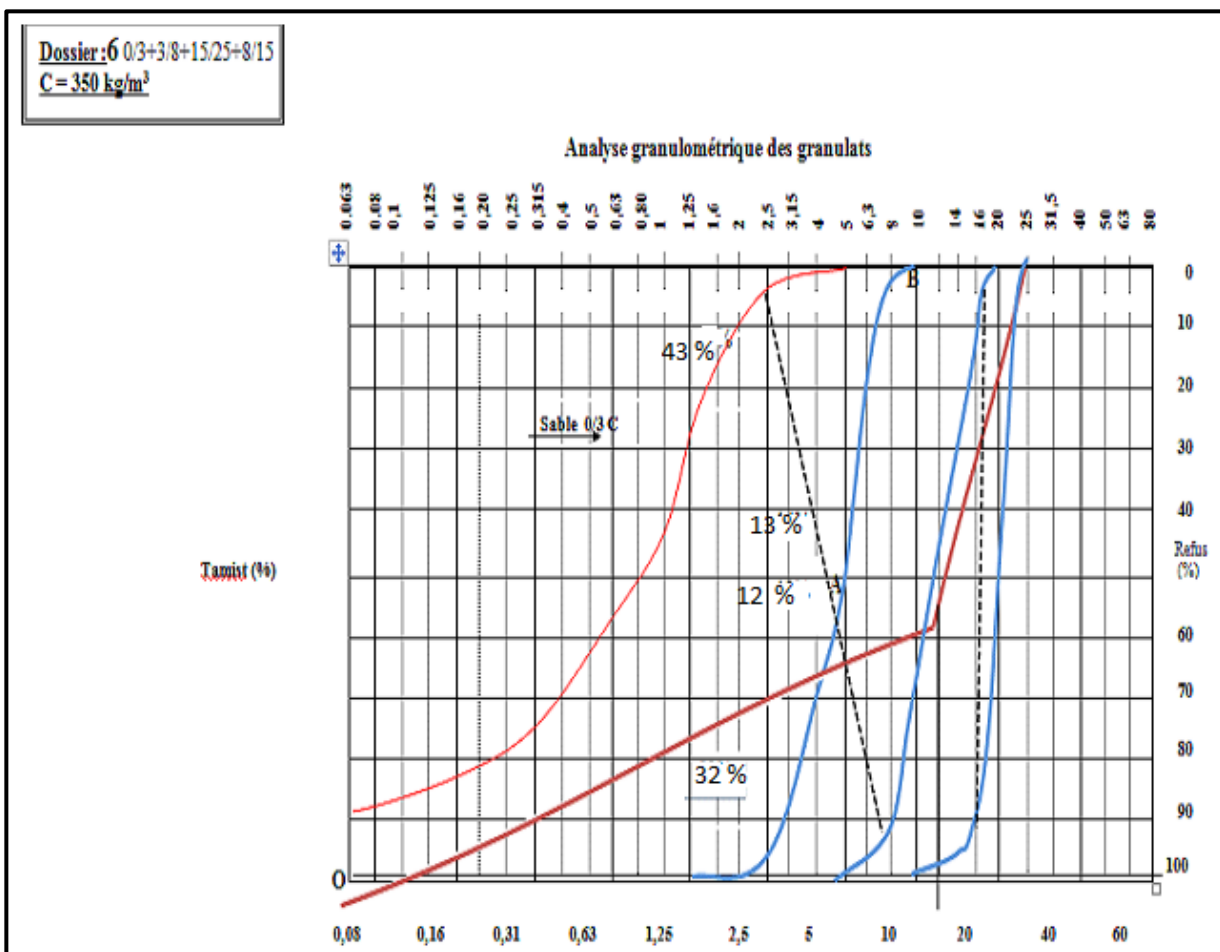


Figure II.17 : Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 06 .

- Gravier de classe 15/2543 %
- Gravier de classe 8/15.....13 %
- Gravier de classe 3/8.....12 %
- Sable 0/3(djamaa)32 %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \cdot 0,820 = 820 \text{ l}$.

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L}$.

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L}$.

En déduit :

- Masse sable $0,32 \cdot 707 \cdot 2,620 = 592 \text{ kg/m}^3$.
- Masse gravier 15/25 $0,43 \cdot 707 \cdot 2,630 = 799 \text{ kg/m}^3$.
- Masse gravier 8/ 15 $0,13 \cdot 707 \cdot 2,660 = 244 \text{ kg/m}^3$.
- Masse gravier 3/8 $0,12 \cdot 707 \cdot 2,630 = 223 \text{ kg/m}^3$.

- Masse ciment = 350 kg/m³.
- Masse d'eau = 180 kg/m³
- Poids total 2388 kg/m³

II-4-8 Formule n°07 (sable 0/3 + gravier 15/25 +gravier 8/15) :

C= 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

Ciment : 350 kg

- Eau : 180 L
- Sable 0/3 (djamaa) : 592 kg ou bien 592/1.850 Vapp = 320 L
- Gravier 15/25 : 799 kg 799/1.700 Vapp = 470 L
- Gravier 8/15 : 244 kg 244/1.780 Vapp = 137 L
- Gravier 3/8 : 223 kg 223/1.680 Vapp = 132 L

Pour C= 350 kg/m³

• DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- $28 = G \times /C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :
- 28 = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- C = résistance moyenne du ciment par m³ de béton.
- C = masse de ciment par m³ de béton.
- E = masse d'eau par m³ de béton.
- Résistance à 28 jour f_{c28} en bar = 220 bar.
- Classe vraie à 28 jour $\sigma_{28} = 350$ bar.
- M_v = réelle en g/cm³ = 3.1.

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 220 \times 1.15 = 253$ bar

$$253 = 0,50 \cdot 350 (C/E - 0,5) ;$$

$$253 = 175 C/E - 87.5$$

$$340.5 = 175 C/E , \text{ D'où } C/E = 1,94 \quad E = 350/1.94$$

$$E = 180 \text{ L .}$$

• **6.1.2/ DOSAGE EN GRANULATS :**

On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit $X = 11\text{mm}$, son ordonnée est :

- Point O : abscisse : 0 ordonnée : 0
- Point B : abscisse : D ordonnée : 100
- Point A : ses coordonnées sont définies de la manière suivante :
- Abscisse = $D/2$ si $D < 20\text{ mm}$.
- Abscisse au milieu du segment gravillon limite par le tamis de 5 mm et le tamis correspondant à D SI $D > 25\text{ mm}$
- Ordonnée : $Y = 50 + K : D = 25\text{ mm}$ $K = +2$ d'où $Y = 45.38\%$.

K : 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 (voir tableau).

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ciment	400	+ 2	0	• 2
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4
	200	+9	+7	+5
	150	+10	+8	+6

Tableau de valeur du terme correcteur K.

Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

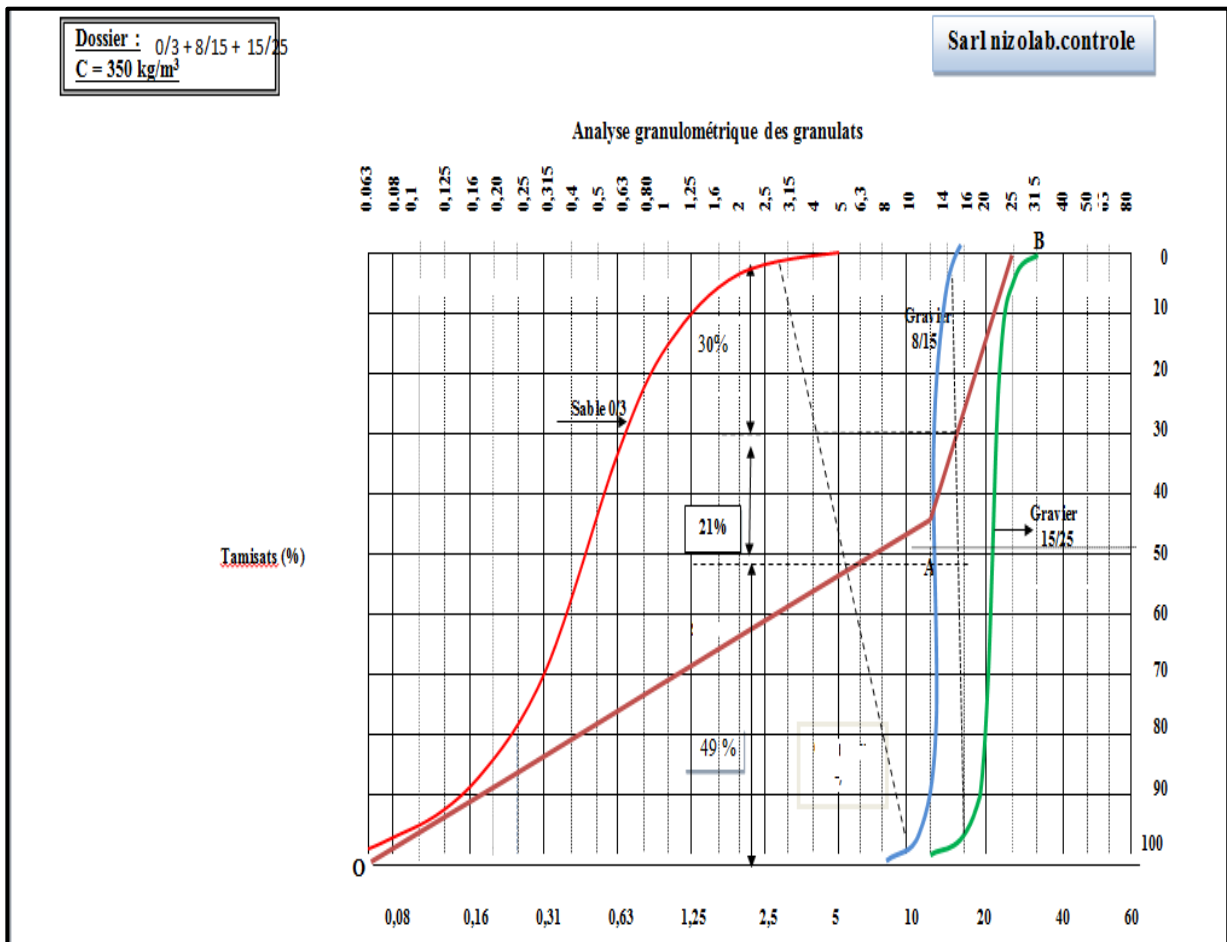


Figure II.18 :Traçons les lignes de partage joignant les points à 5% et 95% des courbes successives les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats N° 07 .

- Gravier de classe 8/15.....49 %
- Gravier de classe 15/25.....30 %
- Sable 0/3(djamaa) 0/321%

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m³ de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides : $1000 \cdot 0,820 = 820 \text{ l.}$

A déduire volume absolu du ciment : $350 / 3,1 = 113 \text{ L.}$

Volume absolu des granulats : $820 - 113 = 707 \text{ L.}$

En déduit :

- Masse sable $0,21 \cdot 707 \cdot 2,620 = 388 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 8/15 $0,49 \cdot 707 \cdot 2,660 = 921 \text{ kg/m}^3.$
- Masse gravier 15/25 $0,30 \cdot 707 \cdot 2,630 = 557 \text{ kg/m}^3.$

- Masse ciment = 350 kg/m³.
- Masse d'eau (hors adjuvant) = 180 kg/m³
- Poids total 2396 kg/m³

C= 350 kg/m³

Pour 01 m³ de béton en œuvre, la composition du béton est la suivante :

- Ciment : 350 kg
- Eau : 180 L
- Sable 0/3 (djamaa) : 388 kg ou bien 388/1.850 Vapp = 209 L
- Gravier 8/15 : 921 kg 921 /1.780 Vapp = 517 L
- Gravier 15/25: 557 kg 557/1.700 Vapp = 327 L

II-5 Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams :

Cet essai est réalisé suivant la recommandation de la norme NFP 18-560 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.

• But de l'essai :

- Le cône d'Abrams permet de contrôler la classe de consistance du béton que l'on s'apprête à utiliser en mesurant l'affaissement d'un échantillon.

Principe de l'essai :

- On réalise cet essai sur chantier, en prélevant un échantillon directement en sortie de la toupie. Cet essai consiste à réaliser un cône de béton frais au moyen d'un moule conique, à démouler et à mesurer l'affaissement du sommet

• Équipement nécessaire L'équipement se compose de :

- Le cône d'Abrams : c'est un moule en métal (acier zingué). Sa forme est tronconique (dimensions : D = 20cm, d = 10cm, h = 30cm) et il est muni de poignées.
- L'entonnoir de remplissage, qui sert à faciliter le remplissage du cône.
- Le plateau support en métal, sur lequel le cône est posé lors du remplissage.

- La tige de piquage : tige d'acier de 16mm de diamètre et de longueur 60 cm dont les extrémités sont arrondies.
- La potence en acier pourvue d'une règle graduée servant à mesurer l'affaissement du béton.

Pour réaliser l'essai il est également nécessaire d'avoir une main écope de largeur au moins 100mm ainsi qu'une truelle.



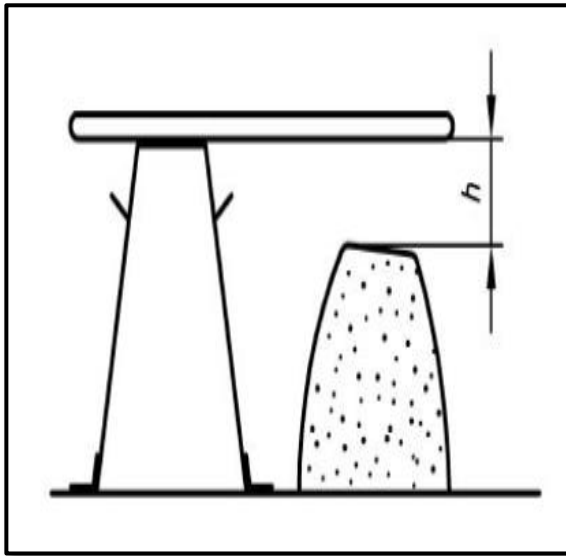
Figure II.19 Matériel requis pour l'essai au cône d'Abrams.

• **Mode opératoire :**

- Humidifier le cône en acier galvanisé et le plateau support.
- Placer le cône sur le plateau et le maintenir fermement en place pendant le remplissage.
- A l'aide de la main écope, remplir de béton le cône d'Abrams en trois couches. Chaque couche correspondant approximativement après piquage au tiers de la hauteur du cône. Piquer chaque couche 25 fois avec la tige de piquage en répartissant les coups uniformément sur la section de chaque couche.
- Lors du piquage de la 2ème et 3ème couche, il est nécessaire que la tige pénètre légèrement la couche sous-jacente.
- Lors du remplissage de la couche supérieure, mettre un excès de béton au-dessus du cône dans l'entonnoir avant de procéder au piquage.

- Après avoir piqué la couche supérieure, retirer l'entonnoir et arraser la surface de béton à l'aide de la truelle.
- Enlever le béton qui s'est écoulé sur le plateau.
- Démouler le béton en soulevant verticalement le cône avec précaution. L'enlèvement du cône doit se faire en 5 à 10 s, par une remontée verticale régulière et sans à-coups.
- Immédiatement après avoir retiré le cône, mesurer l'affaissement (h) en déterminant la différence entre la hauteur du moule et le point le plus haut du béton affaissé.

Figure II.20 Principe de la mesure d'affaissement du béton.



Selon la valeur d'affaissement obtenue, le béton est classé en fonction de sa consistance.

La norme nf en 206-1 indique 5 classes de consistance béton S1 à S5 déterminées par mesure du slump (essai cone d'abrams), leurs valeurs étant

Classe	Affaissement en mm	Désignation de la consistance
S1	10 à 40 mm	Ferme
S2	50 à 90	Plastique
S3	100 à 150	Très plastique
S4	160 à 210	Fluide
S5	≥ 220	Très fluide (béton autoplaçant)

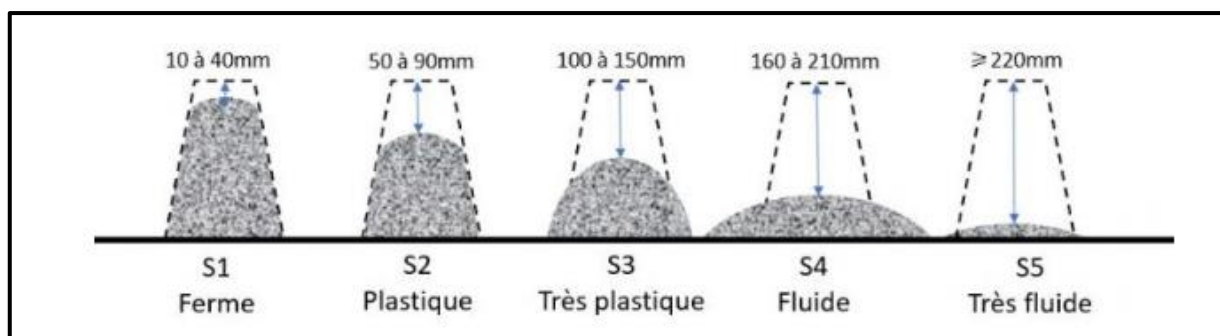


Figure II 21 Les différentes classes de consistance du béton (essai affaissement béton).

Nature de essais (DIS et N D):

Dans ces expériences, nous avons utilisé 7 types de combinaisons

(BinaireTriplerQuadruple) :

Binaire :

- Formule n°01 (sable 0/3 + gravier 3/8).
- Formule n 02 (sable 0/3 + gravier15/25).
- Formule n 03 (sable 0/3 + gravier 8/15)

Tripler:

- Formule n°04 (sable 0/3 djamaa + gravier 8/15 et gravier 3/8).
- Formule n°05 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25 et gravier 3/8).
- Formule n°07 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25 et gravier 8/15).

Quadruple :

Formule n°06 (sable 0/3 djamaa + gravier 15/25, gravier 8/15 et gravier 3/8)

Et chaque formule de ces 07 formulation Nous avons coulé 09 moules Dimensionné (15 15 15 cm) Nous avons 63 Moules



Figure II.22 : l'éprouvette 15 *15* 15 cm

Nous avons coulé 9 moules pour chaque combinaison Nous avons divisé 9 moule par 3 :

1. 3 moule 7 jour.
2. 3 moule 14 jour.
3. 3 moule 28 jour.

Après la fin du temps spécifié pour chaque prouvette Nous faisons presse a beton et ultrason pour chaque brouvette





SOCIÉTÉ DE CONTRÔLE ET DE VÉRIFICATION

Société de Contrôle et de Vérification

CERTIFICAT D'ETALONNAGE

N° 793.MET.ZM.20

Délivré à : SARL NIZOLB.CONTROLE
(El Oued)

Date de l'étalonnage : 04 Juillet 2021
Prochain étalonnage : 04 Juillet 2022

INSTRUMENT ETALONNE :

Désignation : PRESSE A BETON
 Marque : CONTROLS
 Type : C34A2
 Identification interne : /
 Affectation : Laboratoire NIZOLAB - El Oued.

Capacité maximale : 1500 KN
 Résolution : 0,1 KN
 Classe : /

N° de Série : 06031460

METHODE D'ESSAI ET D'ETALONNAGE :

L'étalonnage a été effectué par comparaison à un étalon de référence de métrologie habilité.
 L' (Les) étalon(s) utilisé(s) pour cet étalonnage est (sont) consigné(s) dans un dossier archivé au laboratoire et dont le numéro est identique à celui du présent certificat.

DOCUMENT DE REFERENCE : Recommandation Internationale (R 65)

CONDITIONS D'ETALONNAGE :

EQUIPEMENT ETALON UTILISE :

Température ambiante : (27,9 ± 1)°C
 Humidité relative : (35,5 ± 5)% HR
 Pression atmosphérique : Non contrôlée

CAPTEUR DE FORCE

Marque : AEP
 Type : CLF 2000 KN
 N° de Série : 137102

INDICATEUR

Marque : AEP
 Type : MP 10
 N° de Série : 6384-2013-07

N° du Certificat : 13-0570-01

(La délivrance d'un certificat d'étalonnage SOCOVEC garantit la traçabilité des résultats aux étalons internationaux)

RESULTATS DE L'ETALONNAGE

Force d'Essai	Essai N° 01	Essai N° 02	Essai N° 03	Moyenne des Essais	Répétabilité	Erreur	Incertitude
	en (KN)					en (%)	
200,00	200,613	200,359	200,638	200,537	0,14	-0,27	0,39
400,00	400,911	400,786	400,801	400,826	0,04	-0,21	0,14
600,00	601,315	601,877	601,713	601,635	0,09	-0,27	0,18
800,00	802,322	802,514	802,429	802,422	0,02	-0,30	0,08
1000,00	1004,066	1003,899	1003,906	1003,957	0,02	-0,39	0,06
1200,00	1204,548	1204,412	1204,615	1204,525	0,02	-0,38	0,05
1400,00	1407,111	1406,974	1406,724	1406,936	0,03	-0,49	0,06

Conclusion : Equipement Conforme est de classe 1



P/ Département Métrologie



Figure II.23 : Appareil utilisateur presse a beton et certfcat d'étalonnage



SOCOVEC Société de Contrôle et de Vérification

CERTIFICAT D'ETALONNAGE
N° 794.MET.ZM.20

Dé livré à : SARL NIZOLB.CONTROLE (El Oued) Date de l'étalonnage : 23 Juin 2 021
Prochain étalonnage : 23 Juin 2 022

INSTRUMENT ETALONNE :
Désignation : APPAREIL ULTRA SON
Marque : PROCEQ
Type : PUNDIT LAB
Code Interne : /
Affectation : Laboratoire NIZOLAB - El Oued. N° de Série : PL02-002-0136 B0

METHODE D'ESSAI ET D'ETALONNAGE :
L'étalonnage a été réalisé par une série de mesures effectués avec une cale de Référence.

DOCUMENT DE REFERENCE : Document D6, D11 et ISO 22476 - 2 : 2005

CONDITIONS D'ETALONNAGE : Température ambiante : (27,9 ± 1)°C
Humidité relative : (35,5 ± 5)% HR
Pression atmosphérique : Non contrôlée

EQUIPEMENT ETALON UTILISE : Cale de référence : 25,4 µs

(La délivrance d'un certificat d'étalonnage SOCOVEC garantit la traçabilité des résultats aux étalons internationaux)

RESULTATS DE L'ETALONNAGE

Valeur de Référence	Durée de Transit Lue en (µs)	Valeur Moyenne	Erreur de Répétabilité en (%)
25,4	25,4	25,27	0,40
25,4	25,4		
25,4	25,4		
25,4	25,3		
25,4	25,4		
25,4	25,4		
25,4	25,4		

P/ Département Métrologie

Figure II.24 : Appareil utilisateur ultrason et certificat d'étalonnage

Les résultats des essais : (sont le tableau suivants)

Tableau II.12 : Formulation n°01 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 3/8)

Formulation n°01	temps	Jour de collage	Date eessai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2022	12-04-2022	T= 31.8 V= 4900	26 580.3
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.7 V= 4939	24.8 560.7
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.3 V= 4890	24.9 559
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.7 V= 4682	23.6 608.5
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.9 V= 4603	26.1 672.7
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.3	26.7

				V= 4657	689
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 30.4 V= 4969	28.7 642.5
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 29.6 V= 5105	32.7 741.6
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 27.8 V= 5303	29.5 720.4

Tableau II.13 : Formulation n°02 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 15/25)

Formulation N°02	temps	Jour de collage	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Date eassai (ultrason/ écrasement)
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	23.1 527.4	T= 28.7 V= 5189	14-04-2022
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	25.1 564.7	T= 29.6 V= 5019	14-04-2022
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	23.2 535.6	T= 29.7 V= 5016	14-04-2022
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	23.1 591	T= 30.2 V= 4934	21-04-2022
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	23.5 603	T= 29.5 V= 5051	21-04-2022
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	24.4 551.7	T= 28.6 V= 5282	21-04-2022
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	28.6 641	T= 29.2 V= 5054	05-05-2022
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	34.5 766	T= 30.3 V= 4982	05-05-2022
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	34.6 773.5	T= 30.7 V= 4876	05-05-2022

Tableau II.14: Formulation n°03 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 8/15)

Formulation N°03	temps	Jour de collage	Date eessai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 41.7 V= 3608	27 631.5
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 30.1 V= 4982	30.5 664.6
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 31.2 V= 4775	30.4 681
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 30.4 V= 4965	29.6 750.4
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.1 740.3
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.8 752.5
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 29.6 V= 4552	38.1 854.2
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 30.3 V= 4965	35 756.5
0/3 - 8/15	28 J	05-04-2022	07-05-2022	T= 33.3 V= 4534	37.8 845

Tableau II.15: Formulation n°04 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15)

Formulation N°04	temps	Jour de collage	Date eessai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 29.6 V= 5104	20.1 511
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T=30.9 V=4888	23.7 601.4
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 30.04 V=4975	23.9 601.4
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	-04-202225	T= 30.3 V=2936	32.1 720.8

0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	-04-202225	T= 30.7 V= 4904	31.5 705
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 33.1 V=4961	31.9 711.5
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 29.6 V= 4561	33.8 757.1
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.3 V= 4969	35.6 801
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.5 V= 5006	34.5 782

Tableau II.16: Formulation n°05 (sable DJAMAA + gravier 3/8 +gravier 15/25)

Formulation N°05	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V= 5377	26.9 685.1
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V=5377	28.6 738.2
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 27 V=5244	33.2 855.3
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28.2 V=5280	33.9 759
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28 V=5336	32 698.1
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 27.2 V=5472	37.5 839.3
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 30.1 V=5574	38 863
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.5 V=5701	39.1 878
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.7 V=5658	40.1 896

Tableau II.17 : Formulation n°06 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)

Formulation N°06	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 28.1 V= 5377	22.9 578.6
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.4 V=5139	29.4 742.7
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.3 V=5117	26.5 671.8
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.8 V=5070	36.4 812.6
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 28.3 V=5339	38.7 874.9
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.1 V=5191	31.4 698
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.7 V=5456	38.6 873
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.4 V=5516	40.25 905
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 26.9 V=5436	41.6 915

Tableau II.18 : Formulation n°07 (sable DJAMAA + gravier 8/15 + gravier 15/25)

Formulation N°07	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 27.7 V= 5373	22.1 578.5
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.8 V=5135	28.6 740.5
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.6 V=5117	25.9 670.5
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 29.1 V=5066	36.3 811.2
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 27.8 V=5335	37.8 871.9
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 28.2 V=5187	30.8 704
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 27.1 V=5450	38.3 872
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.8 V=5511	39.2 898
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.1 V=5431	40.7 910

II-8 Effet de la forme de l'éprouvette :

L'histogramme de la figure 1 montre les résistances la compression mesurées par écrasements pour les différentes géométries utilisées. le cylindre comme forme géométrique donne des valeurs de résistance à la compression légèrement inférieure par rapport a celle mesurées sur le prisme ou le cube.

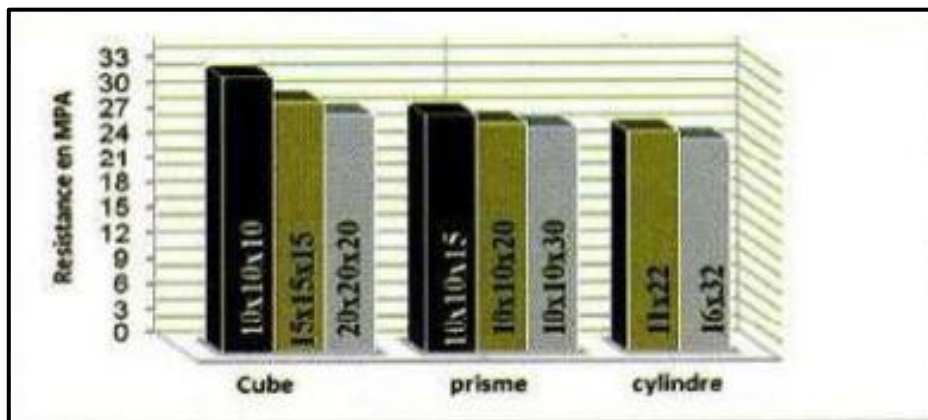


Figure II.25 : résistance a la compression des éprouvettes de différentes géométries .

Le rapport de la résistance mesurée sur le cylindre 16x32 sur la résistance mesurée sur le cube de 20 cm d'arête varie de 0,7 à 0,9 selon les résultats de la littérature données par différentes formules empiriques (10). Ces résultats sont tirés d'une grande investigation basée sur de nombreuses enquêtes internationales auprès de laboratoires de nombreux pays travaillant dans le domaine effectuées par la RILEM. Le comité européen du béton estime à 0,83 une moyenne admissible de ce rapport (10). Dans notre cas ce rapport est évalué à 0,89. Il semble ainsi que les différentes formules empiriques rendent bien compte des résultats de mesure en adoptant des coefficients pour relier les résistances trouvées sur des éprouvettes de formes différentes (10).

Une relation qui relie la résistance des éprouvettes selon leurs dimensions et telle que spécifiée par la littérature, permet d'estimer la résistance à la compression R_{cx} d'une éprouvette par rapport à la résistance sur cube d'arête 200 mm R_{cu200} . Elle est donnée par la relation suivante :

$$\frac{R_{cx}}{R_{cu200}} = 0,65 + \frac{0,7}{\left(1 + \frac{\sqrt{A}}{200}\right) \cdot \left(\frac{h}{A}\right) \cdot 1,05}$$

A et h représentent respectivement la section et la hauteur de l'éprouvette considérée. La relation peut aussi être adaptée aux cas des autres cubes traités d'arêtes 10 cm et 15 cm. Les calculs des rapports des résistances de l'ensemble des spécimens cubiques par rapport à la résistance de référence sur les cylindres 16x32 (R_{c16}) sont rassemblés dans le tableau 25.

épreuve	Cube 10	Cube 15	Cube 20	Cylindre 11*22
$C_{\text{exp}} \text{ expérimental}$	0,77	0,85	0,89	0,96
$C_{\text{calc}} \text{ calculé}$	0,80	0,85	0,90	1,00

Tableau II.19 : coefficients correcteurs de forme par rapport à l'éprouvette de référence 16*32

II-9 Les résultats des essais avec correction : (sont le tableau suivants)
- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.20 : Formulation n°01 / Résultat Ultrason vitesse et BAR

Eprouvette 15*15*15 cm					M V (kg/m3)
RC(bar)	T(μs)	V(m/s)	Ed(MPA)	D(Cm)	2500
256.2	31.8	4900	51919.3	15	2500
261.1	30.7	4939	54336.6	15	2500
258.2	30.3	4890	53284.4	15	2500
250.2	32.7	4682	47847.2	15	2500
248	32.9	4603	47229.1	15	2500
251	32.3	4653	48435.6	15	2500
263	30.4	4969	55063.4	15	2500
270	29.6	5105	58100.8	15	2500
288	27.8	5303	65926.3	15	2500

Tableau II.21: Formulation n°01 avec correction

Formulation N°01	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2022	12-04-2022	T= 31.8 V= 4900	26 580.3	25.62
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.7 V= 4939	24.8 560.7	26.11
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.3 V= 4890	24.9 559	25.82
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.7 V= 4682	23.6 608.5	25.02
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.9 V= 4603	26.1 672.7	24.8
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.3 V= 4657	26.7 689	25.1
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 30.4 V= 4969	28.7 642.5	26.3
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 29.6 V= 5105	32.7 741.6	27
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 27.8 V= 5303	29.5 720.4	28.8

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.22 : Formulation n°02 / Résultat Ultrason vitesse et BAR

Eprouvette 15*15*15 cm					M V (kg/m3)
RC(bar)	T(µs)	V(m/s)	Ed(MPA)	D(Cm)	2500
256.3	T= 28.7	V= 5189	51919.3	15	2500
262.1	T= 29.6	V= 5019	54336.6	15	2500
262.2	T= 29.7	V= 5016	53284.4	15	2500
261	T= 30.	V= 4934	47847.2	15	2500
248	T= 29.5	V= 5051	47229.1	15	2500
250	T= 28.6	V= 5282	48435.6	15	2500
270	T= 29.2	V= 5054	55063.4	15	2500
264	T= 30.3	V= 4982	58100.8	15	2500
260	T= 30.	V= 4876	65926.3	15	2500

Tableau II.23 : Formulation n°02 avec correction

Formulation N°02	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 28.7 V= 5189	23.1 527.4	25.63
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 29.6 V= 5019	25.1 564.7	26.21
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 29.7 V= 5016	23.2 535.6	26.22
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 30.2 V= 4934	23.1 591	26.1
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 29.5 V= 5051	23.5 603	24.8
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 28.6 V= 5282	24.4 551.7	25
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 29.2 V= 5054	28.6 641	27
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 30.3 V= 4982	34.5 766	26.4
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 30.7 V= 4876	34.6 773.5	26

- Résultat ²Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.24 : Formulation n°03 / Résultat Ultrason vitesse et BAR

Eprouvette 15*15*15 cm					M V (kg/m3)
RC(bar)	T(µs)	V(m/s)	Ed(MPA)	D(Cm)	2500
212.6	T= 41.7	V= 3608	51919.3	15	2500
264.4	T= 30.1	V= 4982	54336.6	15	2500
254.2	T= 31.2	V= 4775	53284.4	15	2500
264	T= 30.4	V= 4965	47847.2	15	2500
266	T= 29.7	V= 5015	47229.1	15	2500
266	T= 29.7	V= 5015	48435.6	15	2500
245	T= 29.6	V= 4552	55063.4	15	2500
263	T= 30.3	V= 4965	58100.8	15	2500
244	T= 33.3	V= 4534	65926.3	15	2500

Tableau II.25 : Formulation n°03 avec correction

Formulation N°03	temps	Jour de collage	Date eessai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 41.7 V= 3608	27 631.5	21.26
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 30.1 V= 4982	30.5 664.6	26.44
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 31.2 V= 4775	30.4 681	25.42
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 30.4 V= 4965	29.6 750.4	26.4
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.1 740.3	26.6
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.8 752.5	26.6
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 29.6 V= 4552	38.1 854.2	24.5
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 30.3 V= 4965	35 756.5	26.3
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 33.3 V= 4534	37.8 845	24.4

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.26 : Formulation n°04 / Résultat Ultrason vitesse et BAR

Eprouvette 15*15*15 cm					M V (kg/m3)
RC(bar)	T(µs)	V(m/s)	Ed(MPA)	D(Cm)	2500
269.4	T= 29.6	V= 5104	51919.3	15	2500
260	T=30.9	V=4888	54336.6	15	2500
260	T= 30.04	V=4975	53284.4	15	2500
262	T= 30.3	V=2936	47847.2	15	2500
261	T= 30.7	V= 4904	47229.1	15	2500
245	T= 33.1	V=4961	48435.6	15	2500
245	T= 29.6	V= 4561	55063.4	15	2500
264	T= 30.3	V= 4969	58100.8	15	2500
267	T= 30.5	V= 5006	65926.3	15	2500

Tableau II.27 : Formulation n°04 avec correction

Formulation N°04	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 29.6 V= 5104	20.1 511	26.9
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T=30.9 V=4888	23.7 601.4	26
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 30.04 V=4975	23.9 601.4	26.2
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 30.3 V=2936	32.1 720.8	26.1
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 30.7 V= 4904	31.5 705	24.5
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 33.1 V=4961	31.9 711.5	24.5
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 29.6 V= 4561	33.8 757.1	24.5
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.3 V= 4969	35.6 801	26.4
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.5 V= 5006	34.5 782	26.7

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.28 : Formulation n°05 / Résultat Ultrason vitesse et BAR

M V (kg/m³)	Eprouvette 15*15*15 cm				
2500	D(Cm)	Ed(MPA)	V(m/s)	T(μs)	RC(bar)
2500	15	51919.3	V= 5377	T= 28.1	283.7
2500	15	54336.6	V=5377	T= 28.1	283.7
2500	15	53284.4	V=5244	T= 27	277.1
2500	15	47847.2	V=5280	T= 28.2	275
2500	15	47229.1	V=5336	T= 28	280
2500	15	48435.6	V=5472	T= 27.2	290
2500	15	55063.4	V=5574	T= 30.1	270
2500	15	58100.8	V=5701	T= 26.5	304
2500	15	65926.3	V=5658	T= 26.7	300

Tableau II.29 : Formulation n°05 avec correction

Formulation N°05	temps	Jour de collage	Date eessai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V= 5377	26.9 685.1	28.37
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V=5377	28.6 738.2	28.37
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 27 V=5244	33.2 855.3	27.71
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28.2 V=5280	33.9 759	27.5
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28 V=5336	32 698.1	28
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 27.2 V=5472	37.5 839.3	29
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 30.1 V=5574	38 863	27
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.5 V=5701	39.1 878	30.4
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.7 V=5658	40.1 896	30

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.30 : Formulation n°06/ Résultat Ultrason vitesse et BAR

M V (kg/m3)	Eprouvette 15*15*15 cm				
2500	D(Cm)	Ed(MPA)	V(m/s)	T(μs)	RC(bar)
2500	15	51919.3	V= 5377	T= 28.1	283.7
2500	15	54336.6	V=5139	T= 29.4	271.4
2500	15	53284.4	V=5117	T= 29.3	270.2
2500	15	47847.2	V=5070	T= 29.8	275
2500	15	47229.1	V=5339	T= 28.3	280
2500	15	48435.6	V=5191	T= 29.1	274
2500	15	55063.4	V=5456	T= 27.7	286
2500	15	58100.8	V=5516	T= 27.4	292
2500	15	65926.3	V=5436	T= 26.9	299

Tableau II.31 : Formulation n°06 avec correction

Formulation N°06	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 28.1 V= 5377	22.9 578.6	28.37
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.4 V=5139	29.4 742.7	27.14
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.3 V=5117	26.5 671.8	27.2
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.8 V=5070	36.4 812.6	27.5
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 28.3 V=5339	38.7 874.9	28
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.1 V=5191	31.4 698	27.4
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.7 V=5456	38.6 873	28.6
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.4 V=5516	40.25 905	29.2
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 26.9 V=5436	41.6 915	29.9

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

Tableau II.32 : Formulation n°07/ Résultat Ultrason vitesse et BAR

M V (kg/m3)	Eprouvette 15*15*15 cm				
2500	D(Cm)	Ed(MPA)	V(m/s)	T(µs)	RC(bar)
2500	15	51919.3	V= 5373	T= 27.7	284.1
2500	15	54336.6	V=5135	T= 28.8	283.2
2500	15	53284.4	V=5117	T= 28.6	276.8
2500	15	47847.2	V=5066	T= 29.1	276
2500	15	47229.1	V=5335	T= 27.8	279
2500	15	48435.6	V=5187	T= 28.2	289
2500	15	55063.4	V=5450	T= 27.1	267
2500	15	58100.8	V=5511	T= 26.8	300
2500	15	65926.3	V=5431	T= 26.1	298

Tableau II.33 : Formulation n°07 avec correction

Formulation N°06	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 27.7 V= 5373	22.1 578.5	28.41
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.8 V=5135	28.6 740.5	28.32
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.6 V=5117	25.9 670.5	27.68
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 29.1 V=5066	36.3 811.2	27.6
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 27.8 V=5335	37.8 871.9	27.9
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 28.2 V=5187	30.8 704	28.9
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 27.1 V=5450	38.3 872	26.7
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.8 V=5511	39.2 898	30
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.1 V=5431	40.7 910	29.8

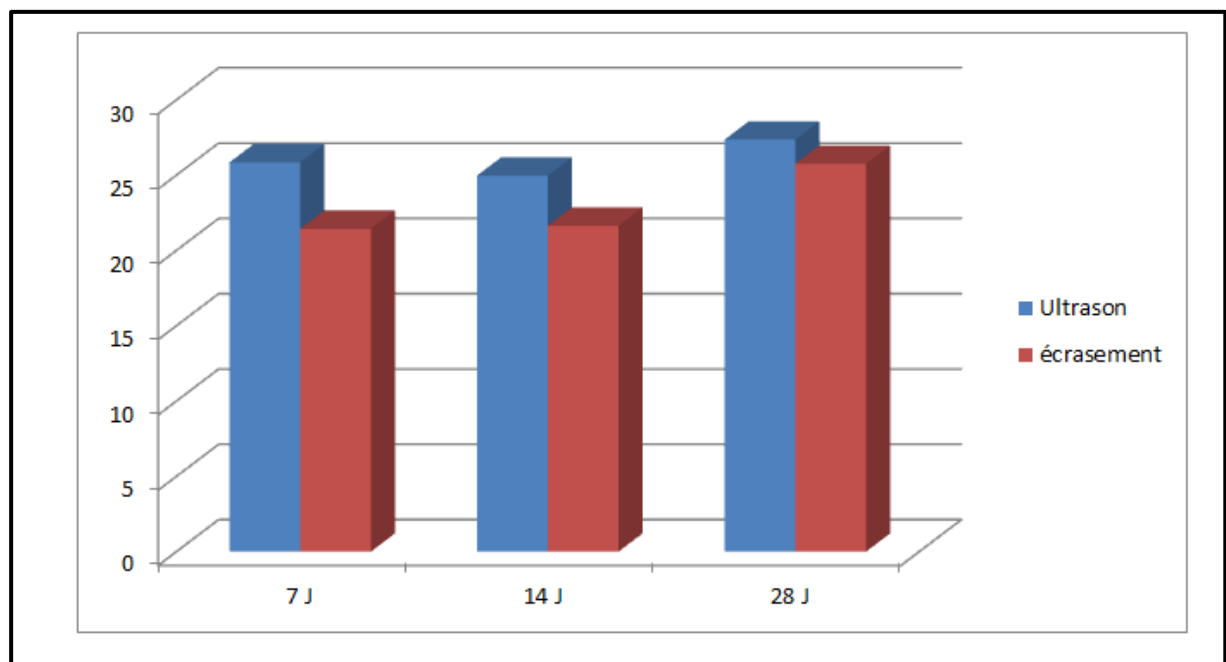
CHAPITRE III :

ANALYSE DE RESULTAT

III-1 Résultat Pour La Formulation N°01 :

Tableau III.1: Formulation n°01 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 3/8)

Formulation n°01	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
0/3 - 3/8	7J	05-04-2022	12-04-2022	T= 31.8 V= 4900	26 580.3	25.62	22.1
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.7 V= 4939	24.8 560.7	26.11	21.08
0/3 - 3/8	7 J	05-04-2021	12-04-2022	T= 30.3 V= 4890	24.9 559	25.82	21.16
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.7 V= 4682	23.6 608.5	25.02	20.06
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.9 V= 4603	26.1 672.7	24.8	22.18
0/3 - 3/8	14 J	05-04-2021	19-04-2022	T= 32.3 V= 4657	26.7 689	25.1	22.69
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 30.4 V= 4969	28.7 642.5	26.3	24.39
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 29.6 V= 5105	32.7 741.6	27	27.79
0/3 - 3/8	28 J	05-04-2021	03-05-2022	T= 27.8 V= 5303	29.5 720.4	28.8	25.07



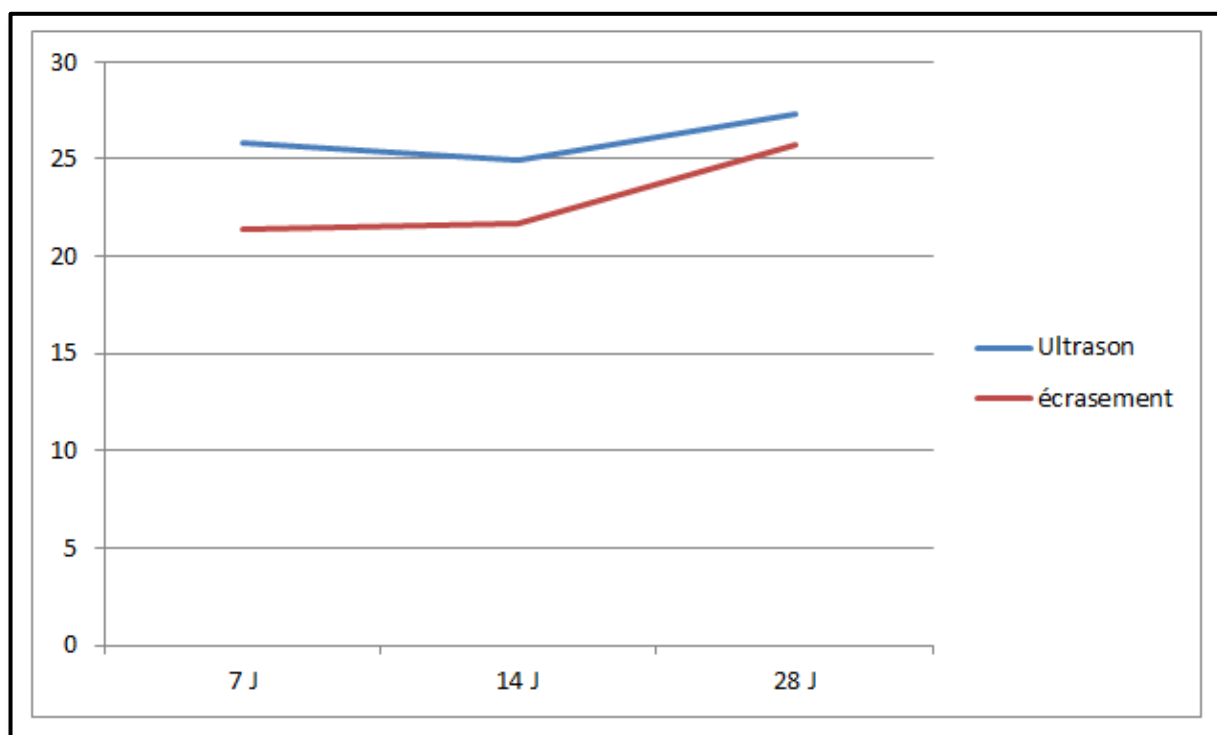


Figure III.1 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°01 R(mpa)/T(jour)

III-2 Résultat Pour La Formulation N°02

Tableau III.2 : Formulation n°02 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 15/25)

Formulation n°02	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 28.7 V= 5189	23.1 527.4	25.63	19.63
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 29.6 V= 5019	25.1 564.7	26.21	21.33
3/0 - 25/15	7 J	07-04-2022	14-04-2022	T= 29.7 V= 5016	23.2 535.6	26.22	19.72
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 30.2 V= 4934	23.1 591	26.1	19.63
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 29.5 V= 5051	23.5 603	24.8	19.97
3/0 - 25/15	14 J	07-04-2022	21-04-2022	T= 28.6 V= 5282	24.4 551.7	25	20.74
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 29.2 V= 5054	28.6 641	27	24.31
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 30.3 V= 4982	34.5 766	26.4	29.32
3/0 - 25/15	28 J	07-04-2022	05-05-2022	T= 30.7 V= 4876	34.6 773.5	26	29.41

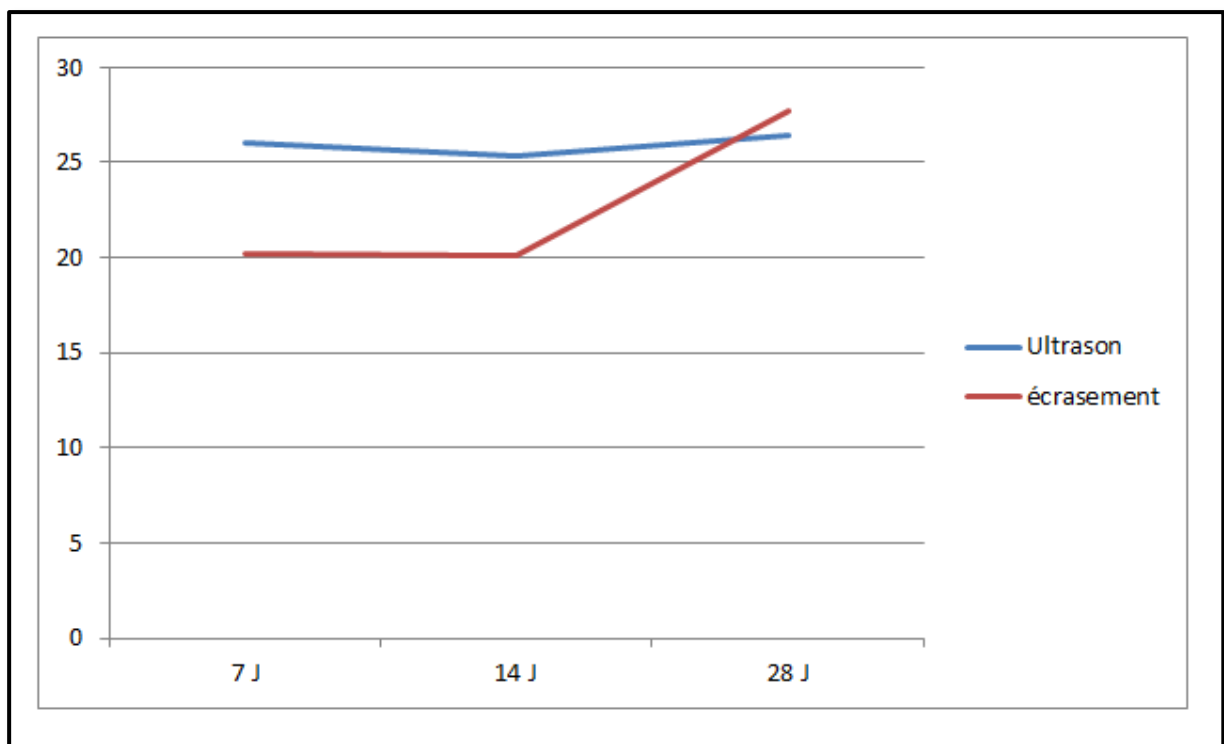
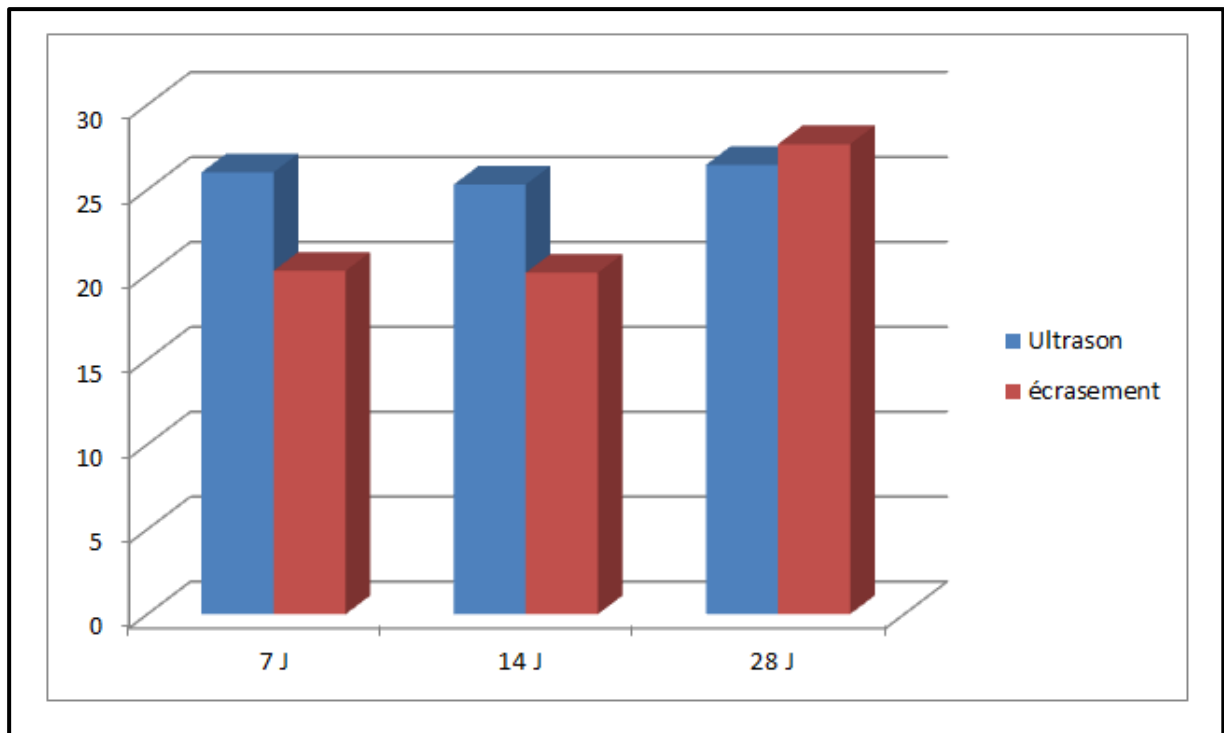
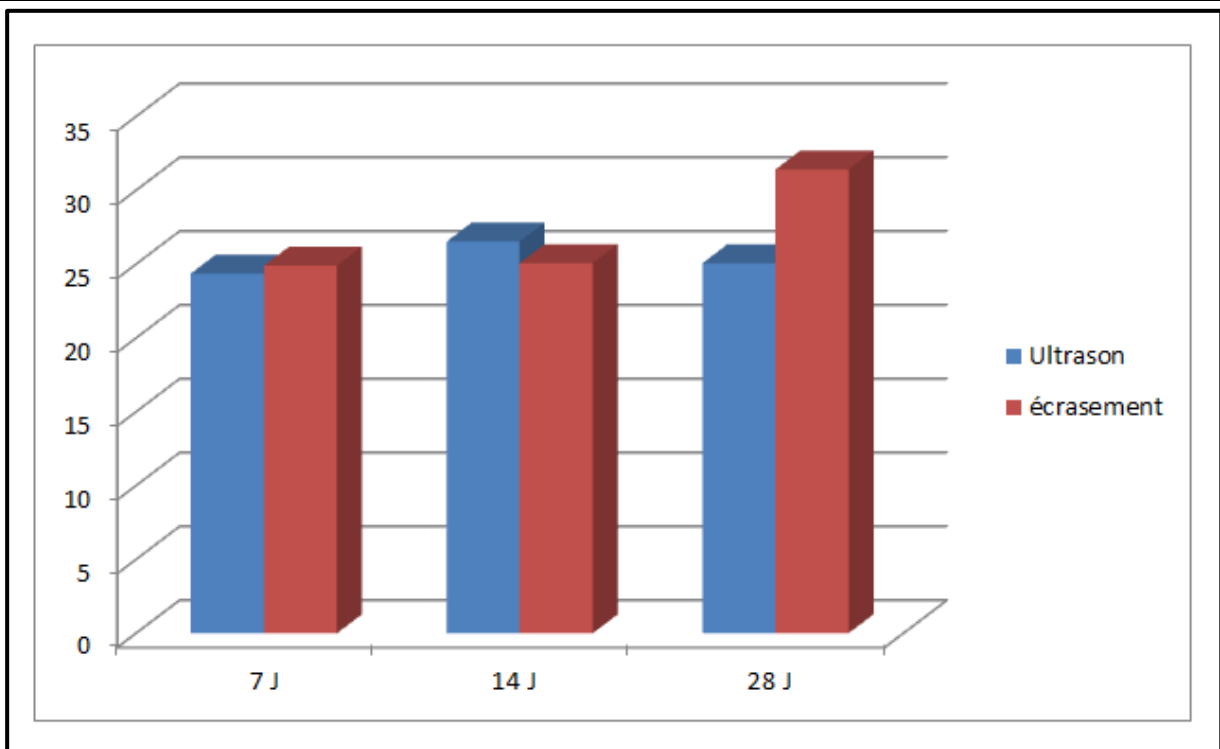


Figure III.2 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°02 R(mpa)/T(jour)

III-3 Résultat Pour La Formulation N°03

Tableau III.3: Formulation n°03 (sable 0/3 DJAMAA + gravier 8/15)

Formulation n°03	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 41.7 V= 3608	27 631.5	21.26	22.95
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 30.1 V= 4982	30.5 664.6	26.44	25.92
0/3 - 8/15	7 J	09-04-2022	16-04-2022	T= 31.2 V= 4775	30.4 681	25.42	25.84
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 30.4 V= 4965	29.6 750.4	26.4	25.16
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.1 740.3	26.6	24.73
0/3 - 8/15	14 J	09-04-2022	23-04-2022	T= 29.7 V= 5015	29.8 752.5	26.6	25.33
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 29.6 V= 4552	38.1 854.2	24.5	32.38
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 30.3 V= 4965	35 756.5	26.3	29.75
0/3 - 8/15	28 J	09-04-2022	07-05-2022	T= 33.3 V= 4534	37.8 845	24.4	32.13



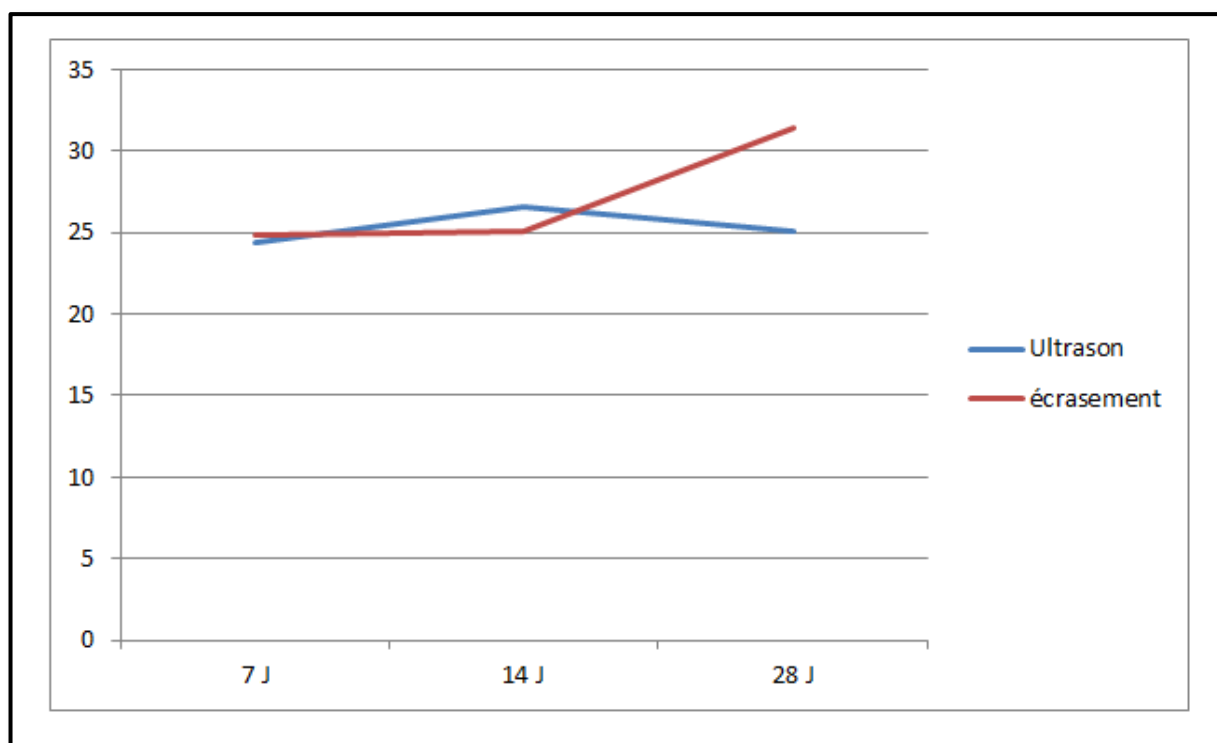


Figure III.3 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°03 R(mpa)/T(jour)

III-4 Résultat Pour La Formulation N°04

Tableau III.4 : Formulation n°04 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15)

Formulation n°04	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 29.6 V= 5104	20.1 511	26.9	17.08
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T=30.9 V=4888	23.7 601.4	26	20.14
0/3 – 8/15 – 3/8	7 J	11-04-2022	18-04-2022	T= 30.04 V=4975	23.9 601.4	26.2	20.31
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 30.3 V=2936	32.1 720.8	26.1	27.28
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 30.7 V= 4904	31.5 705	24.5	26.77
0/3 – 8/15 – 3/8	14 J	11-04-2022	25-04-2022	T= 33.1 V=4961	31.9 711.5	24.5	27.11
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 29.6 V= 4561	33.8 757.1	24.5	28.73
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.3 V= 4969	35.6 801	26.4	30.26
0/3 – 8/15 – 3/8	28 J	11-04-2022	09-05-2022	T= 30.5 V= 5006	34.5 782	26.7	29.32

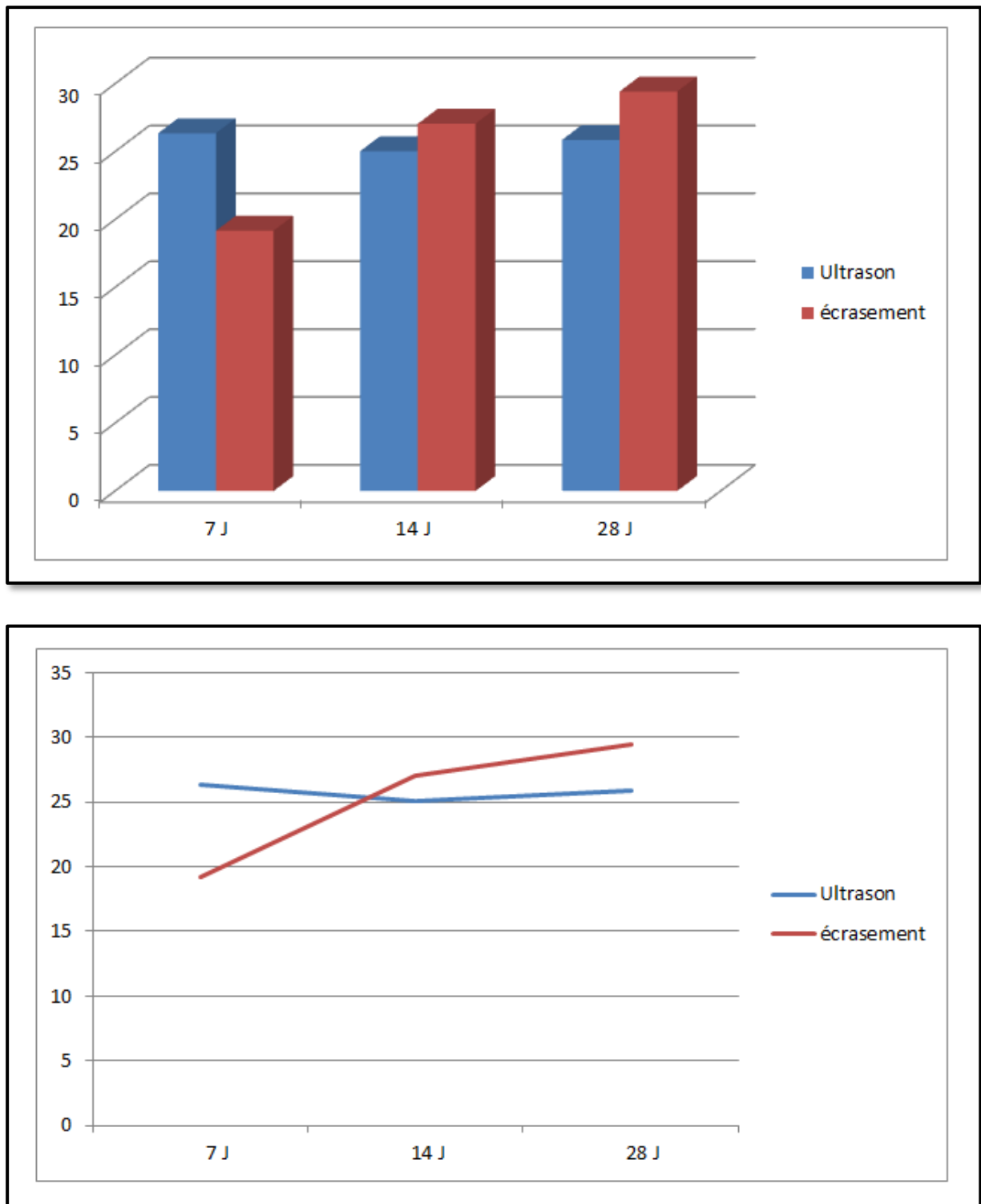


Figure III.4 : Comparaison des résultats de **Ecrasement** et Ultrason N°04 R(mpa)/T(jour)

III-5 Résultat Pour La Formulation N°05

Tableau III.5 : Formulation n°05 (sable DJAMAA + gravier 3/8 +gravier 15/25)

Formulation n°05	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V= 5377	26.9 685.1	28.37	22.86
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 28.1 V=5377	28.6 738.2	28.37	24.31
8/3 - 3/0 25/15	7 J	13-04-2022	20-04-2022	T= 27 V=5244	33.2 855.3	27.71	28.22
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28.2 V=5280	33.9 759	27.5	28.81
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 28 V=5336	32 698.1	28	27.2
8/3 - 3/0 25/15	14 J	13-04-2022	27-04-2022	T= 27.2 V=5472	37.5 839.3	29	31.87
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 30.1 V=5574	38 863	27	32.3
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.5 V=5701	39.1 878	30.4	33.23
8/3 - 3/0 25/15	28 J	13-04-2022	11-05-2022	T= 26.7 V=5658	40.1 896	30	31.08

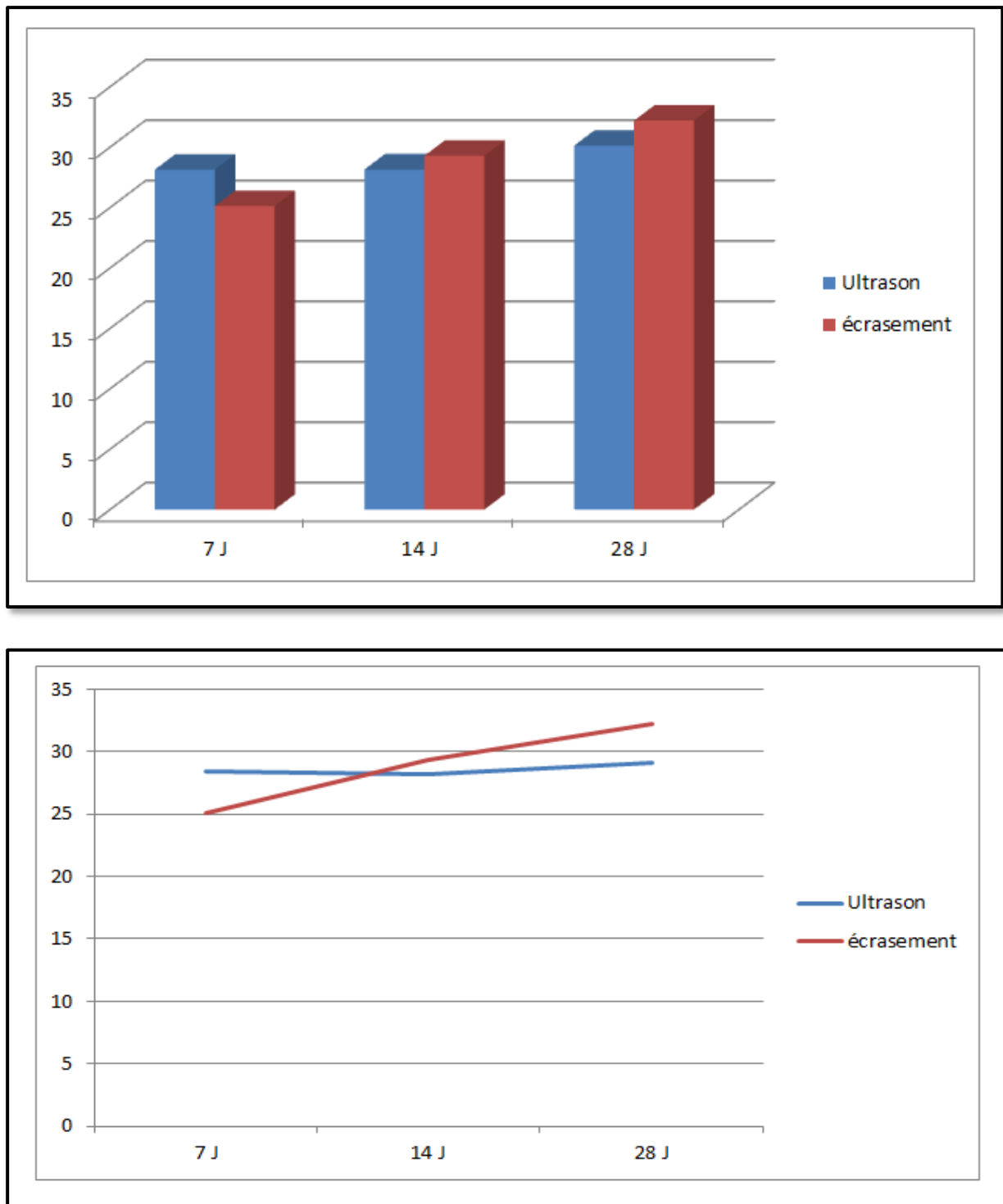
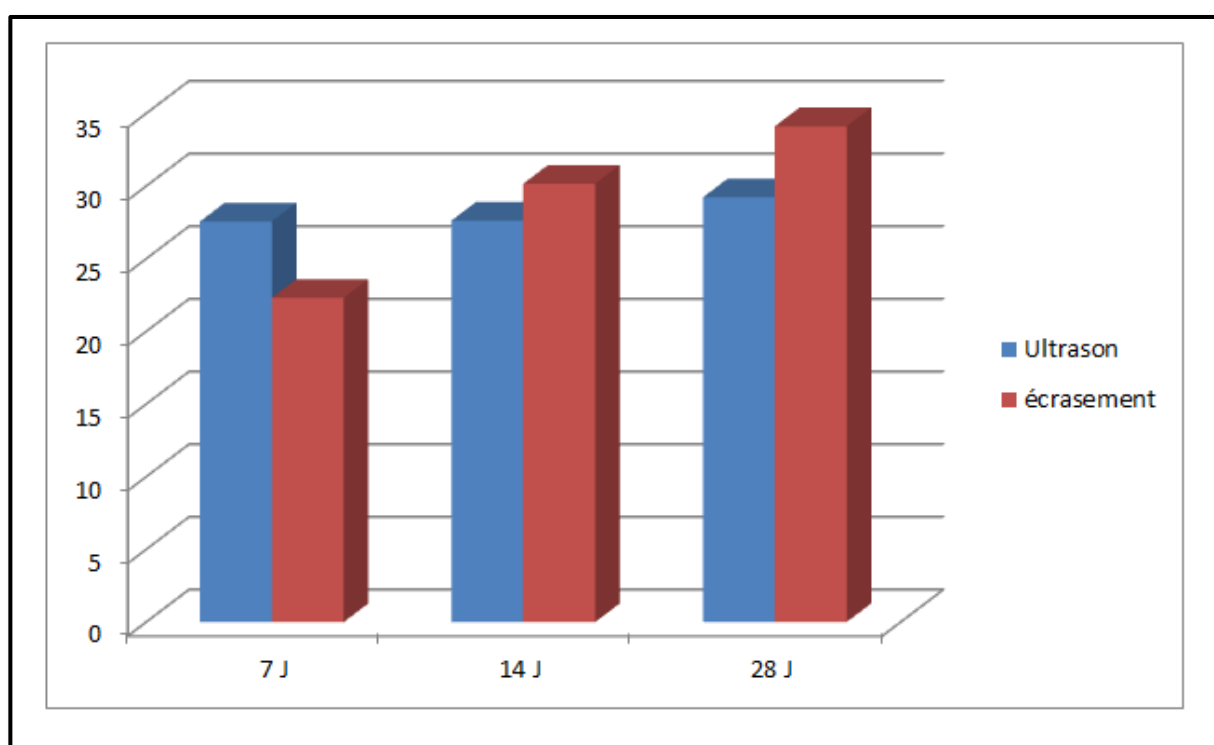


Figure III.5 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°05 R(mpa)/T(jour)

III-6 Résultat Pour La Formulation N°06

Tableau III.6 : Formulation n°06 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)

Formulation n°06	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 28.1 V= 5377	22.9 578.6	28.37	19.46
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.4 V=5139	29.4 742.7	27.14	24.99
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	7 J	15-04-2022	22-04-2022	T= 29.3 V=5117	26.5 671.8	27.2	22.52
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.8 V=5070	36.4 812.6	27.5	30.94
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 28.3 V=5339	38.7 874.9	28	32.89
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	14 J	15-04-2022	29-04-2022	T= 29.1 V=5191	31.4 698	27.4	26.69
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.7 V=5456	38.6 873	28.6	32.81
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 27.4 V=5516	40.25 905	29.2	34.21
0/3 – 8/15 – 15/25 – 3/8	28 J	15-04-2022	13-05-2022	T= 26.9 V=5436	41.6 915	29.9	35.36



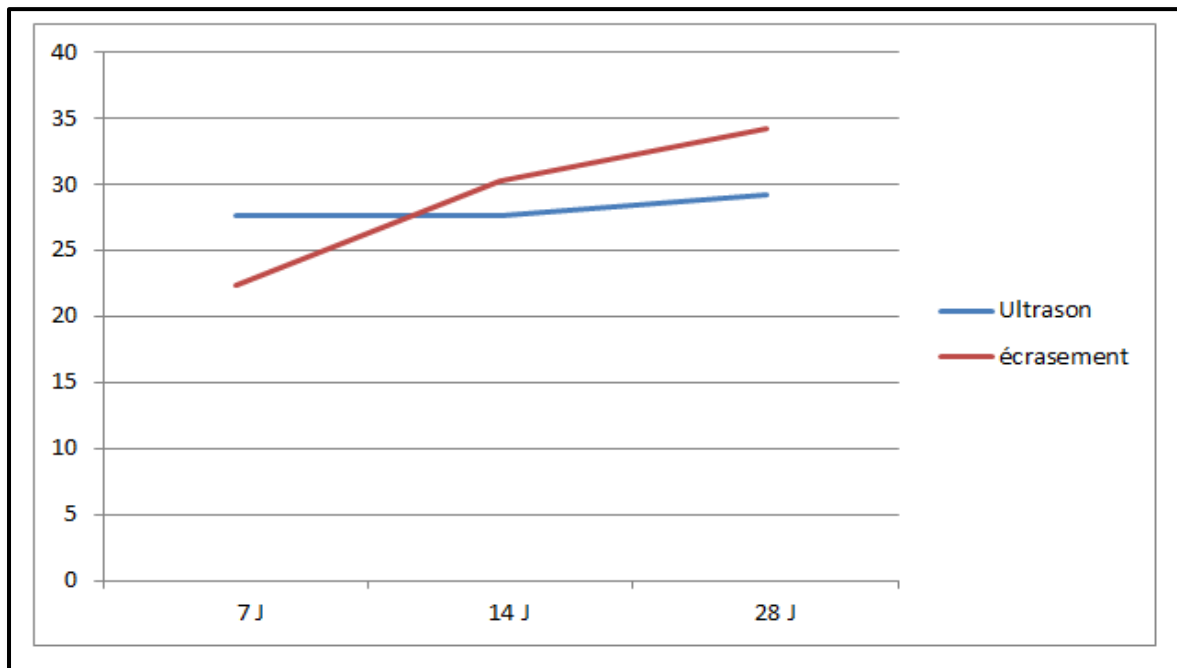


Figure III.6 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°06 R(mpa)/T(jour)

III-7 Résultat Pour La Formulation N°07

Tableau III.7 : Formulation n°07 (sable DJAMAA + gravier 8/15 + gravier 15/25)

Formulation n°07	temps	Jour de collage	Date eassai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason (T =us/ V=m/s)	Résultats de écrasement (MPA) / (KN)	Résistance par ultrason (MPA)	Résistance Ecrasement C / 16*32 (mpa)
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 27.7 V= 5373	22.1 578.5	28.41	18.78
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.8 V=5135	28.6 740.5	28.32	24.31
0/3 – 8/15 – 15/25	7 J	16-04-2022	23-04-2022	T= 28.6 V=5117	25.9 670.5	27.68	22.01
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 29.1 V=5066	36.3 811.2	27.6	30.85
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 27.8 V=5335	37.8 871.9	27.9	32.13
0/3 – 8/15 – 15/25	14 J	16-04-2022	30-04-2022	T= 28.2 V=5187	30.8 704	28.9	26.18
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 27.1 V=5450	38.3 872	26.7	32.55
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.8 V=5511	39.2 898	30	33.32
0/3 – 8/15 – 15/25	28 J	16-04-2022	14-05-2022	T= 26.1 V=5431	40.7 910	29.8	34.59

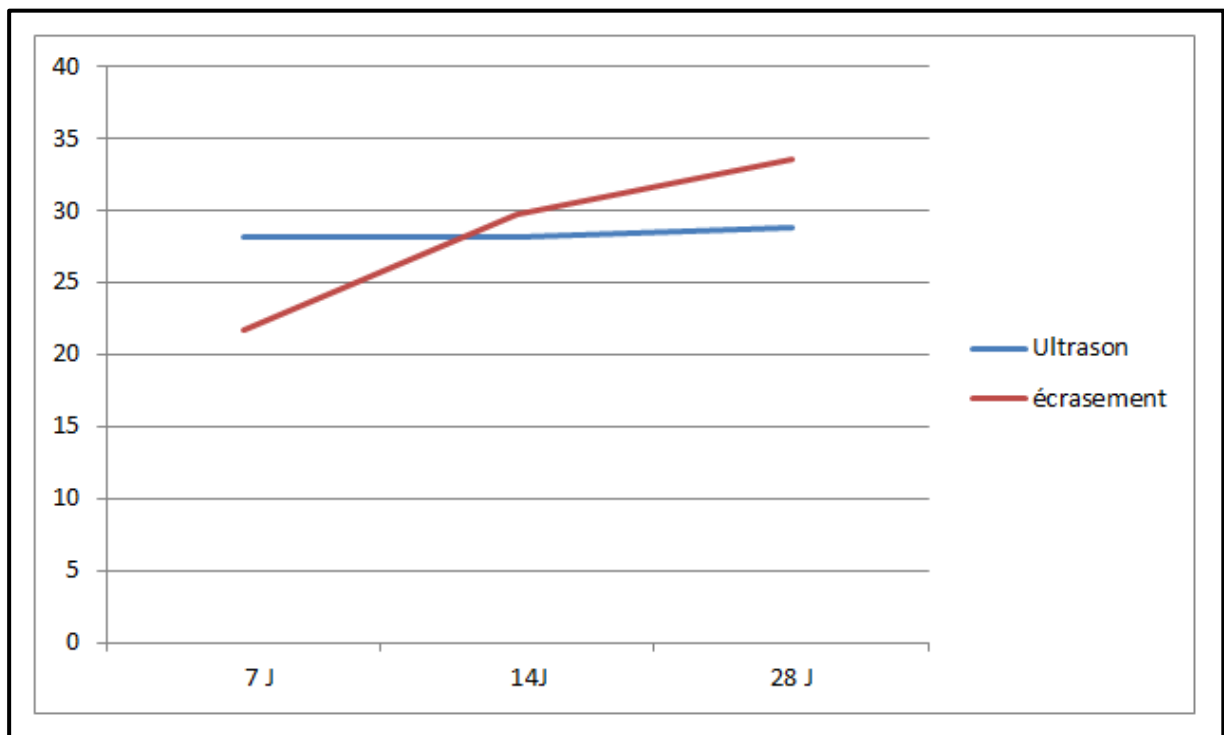
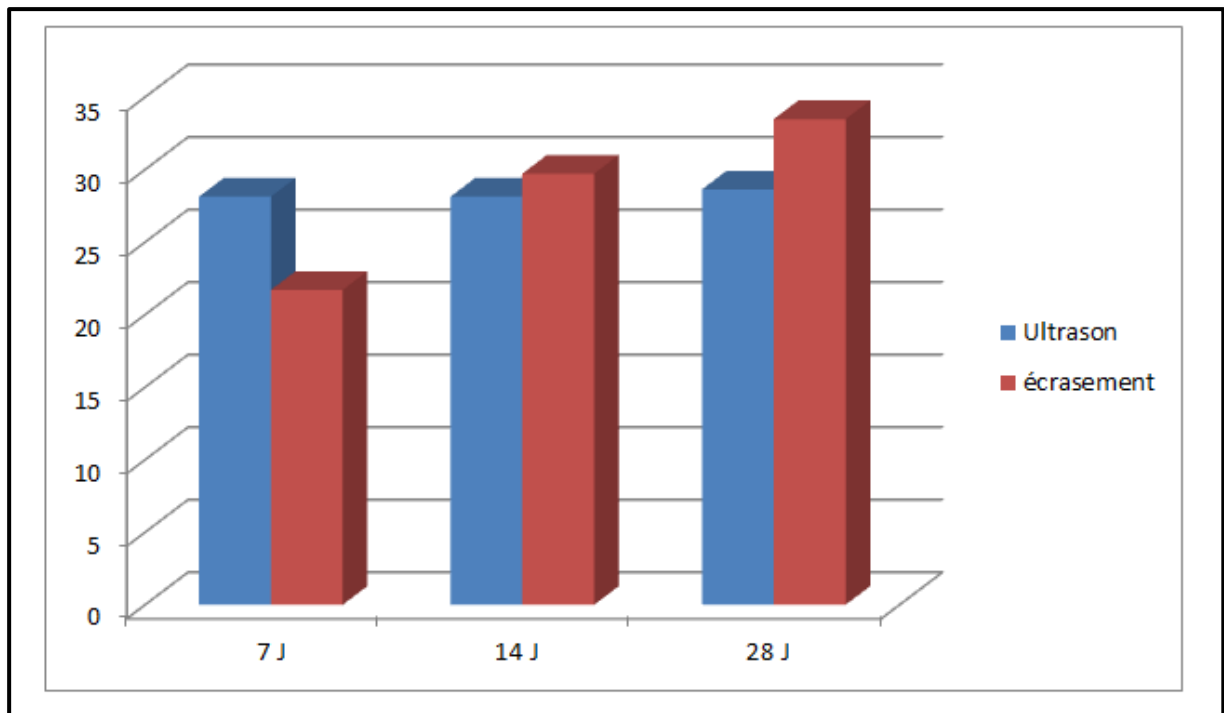


Figure III.7 : Comparaison des résultats de Ecrasement et Ultrason N°07 R(mpa)/T(jour)

Analyse des résultats:

1- Variation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse ultrasonore.

La vitesse des ondes ultrasoniques à travers le béton résulte du temps mis par les ondes pour traverser la pâte de ciment durci et les granulats.

Les Résultats Ultrason (Vitesse Et Résistance) présentent l'ensemble des valeurs de chaque éprouvette de la résistance mécanique en compression à 28 jours et des vitesses des ultrasons associées. Il est à noter que la résistance à la compression varie d'une formulation à une autre. En effet, la vitesse des ondes dépend du module d'élasticité du granulat utilisé et de la quantité qu'en contient le béton. Il n'existe donc pas de relation unique entre la résistance à la compression et la vitesse des ondes sonores. Cependant, pour un granulat donné et une composition donnée, la vitesse de propagation des ondes dépend des modifications de la pâte de ciment durci, tel qu'un changement du rapport eau/ciment influe sur le module d'élasticité de la pâte. Aussi les ondes se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Par conséquent, les conditions d'humidité du béton influencent la vitesse des ondes. On peut conclure que c'est difficile de trouver une relation entre la vitesse ultrason et la résistance à la compression car la vitesse est influencée par plusieurs paramètres rentrant dans la composition du béton.

2- Variation de la résistance à la compression par écrasement et par ultrason en fonction du temps.

Les Résultats Pour Les Formulations montrent la variation de la résistance à la compression par écrasement et par ultrason en fonction du temps pour les formulations du béton. L'évolution des résistances en fonction de l'accroissement de la durée de durcissement pour toutes les compositions est bien constatée mais avec des cinétiques différentes. Nous remarquons que les résistances augmentent au cours d'âge jusqu'à ce que le béton atteigne sa résistance normale après environ 28 jours. Cette valeur est atteinte après la stabilisation des réactions entre les différents constituants du béton. Cela signifie qu'il a fini de durcir. Le béton continue certes à durcir après 28 jours, mais de manière si faible que presque rien ne change à sa résistance. La poursuite de son durcissement n'a donc aucun impact sur les propriétés du béton et sa résistance normale atteinte après 28 jours est totalement suffisante sur le chantier.

Chacun des formulations atteint un pourcentage de la résistance normale par écrasement dans le septième et le quatorzième jour. Ceci est dû à la variation de la composition du béton qui influe sur plusieurs paramètres.

Les figures (courbes) montre la variation de la résistance à la compression par écrasement et un par ultrason au cours du temps jusqu'à ce que le béton atteigne sa résistance normale après environ 28 jours. Nous constatons que la résistance par écrasement augmente avec temps. En effet, l'augmentation de la résistance par écrasement est due à l'instabilité des réactions entre les différents constituants du béton. Pour la résistance par ultrason, on observe que l'augmentation est très légère avec l'âge. Ce résultat peut être expliqué par l'absence des fissures dans la matrice cimentaire vu que la méthode ultrason est une technique non destructive. Ces résistances varient aussi d'un échantillon à un autre car la résistance est influencée par la composition du béton. Il est à noter qu'il y a un écart entre les courbes des résistances par écrasement et les résistances par ultrason. Cet écart peut être expliqué l'imprécision de la technique par ultrason. En effet, les deux méthodes par écrasement et par ultrason sont complémentaires car la première donne des valeurs réelles de la résistance et la deuxième est une méthode facile à mettre en œuvre et n'endommage pas le béton. Pour cela plusieurs formules reliant les deux résistantes ont été élaborées dans la littérature.

CONCLUSION

CONCLUSION

La résistance à la compression à 28 jours est la principale caractéristique utilisée pour caractériser l'évolution des propriétés mécaniques du béton.

Des essais de compression ont été réalisés pour six formules de bétons à 7 jours, 14 jours et 28 jours de la date de la confection des éprouvettes dans le but de poursuivre l'évolution de la résistance à la compression par écrasement et par ultrason du béton au cours du temps et en fonction de la vitesse ultrasonore. A chaque âge, six éprouvettes sont testées.

Dans ce travail, nous avons présentés les essais expérimentaux de 6 échantillons de béton. Les variations de la résistance à la compression par écrasement et par ultrason du béton au cours du temps et en fonction de la vitesse ultrasonore ont été étudiées. Les résultats montrent que :

- La vitesse ultrasonore est influencée la composition du béton.
- Les meilleures performances sont obtenues avec les bétons 5 (sable DJAMAA + gravier 3/8 +gravier 15/25) et 6 (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25) avec des résistances les plus élevées.

REFERENCES

BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

[NET1]

- <http://thesis.univ-biskra.dz/1328/5/partieI%20chapitre%2003.pdf>
- <https://www.youphysics.education/fr/front-d-onde>
- <https://bandelin.com/produkte/industriebaeder/sonorex-technik-ultraschallgeneratoren>

[1]

- Marc Goueygou, Fethi Soltani, Zoubeir Lafhaj, Bogdan Piwakowski, Pawel
- Safinowski, Jean-Paul Balayssac (2007), « Relation entre la vitesse ultrasonore et la porosité dans le mortier et le béton ». Groupe Electrique-Acoustique, IEMN DOAE
- UMR CNRS 8520, Ecole Centrale de Lille ; Laboratoire de Mécanique de Lille, LML
- UMR CNR CNRS 8107, Ecole Centrale de Lille ; Laboratoire matériaux et durabilité des constructions, INSA de Toulouse.

[2]

- Fethi Soltani¹, Zoubeir Lafhaj¹, Marc Goueygou, (2007), « Etude expérimentale de la propagation de l'onde de surface dans un milieu poreux sec et saturé ». LML UMR
- CNRS 8107, Ecole Centrale de Lille ; IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole
- Centrale de Lille. Villeneuve d'Ascq, France.

[3]

- A .Lambert,Y .Pralus et J. Rivenez, (1997), « Ultrasons Propagation des ondes ultrasonores ». Niveau 2, Centre Technique des Industries Mécanique (CETIM), pp43.

[4]

- SHAILESH GOKHALE, (2007), «Determination of applied stresses in rails using the acoustoelastic effect of ultrasonic Waves». Thesis of doctorat, Mumbai University, Mumbai, India.

[5]

- P. Safinowski, B. Piwakowski, J-P .Balayssac, M. Goueygou, A.Kosecki,(2007) ,« Contrôle non destructif du béton par ultrason a laide d'un dispositif automatise.»
- Groupe Electrique-Acoustique, IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole centrale deLille ; Laboratoire matériaux et durabilité des constructions (LMDC INSA-UPS).

[10]

- B. Redjel, 2004 «Mécanique des matériaux » cours DEUA 3 , Département Génie Civil, Université de Annab

[11]

- [Derek Gaudreault et Catherine Doucet]: contrôles-non-destructifs-des-ouvrages-enbèton.

[12]

- L'essai non destructifs du béton

[13]

- SPA BISKRIA CIMENT FICHE TECHNIQUECEM II/A-L 42.5
R/www.biskriacimentdz.com

[14]

- Mémoire de Fin D'études : Evaluation du béton d'enrobage par acoustique non linéaire et ondes de surface

[15]

- [Samia Hannachi] THESE de DOCTORAT :EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DU BETON SUR SITE : APPLICATION DE LA METHODE COMBINEE.

[16]

- Fethi Soltani¹, Zoubeir Lafhaj¹, Marc Goueygou, (2007), « Etude expérimentale de la propagation de l'onde de surface dans un milieu poreux sec et saturé ». LML UMR•CNRS 8107, Ecole Centrale de Lille ; IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole Centrale•de Lille. Villeneuve d'Ascq, France.

[17]

- [DRE et FEI ,2002]

[BEL 14]

[DAD 19]