



République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar- EL OUED

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département de Génie Civil et D'Hydraulique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Génie civil

Spécialité : Matériaux en Civil

THEME

Influence de la température lors de l'évaluation de la
qualité du béton par ultrason

Présenté Par :

M^{elle}: BOUGHEZALA MOHAMMED AOUATEF

M^{elle} : HOUAMDI AMINA

M^{me} : DOU ECHEFA

Devant le jury composé de :

Promotrice : Dr. Masmoudi Fouzi

M.A.A, Université d'El Oued.

شكر

و عرفان

اللهم لك الحمد كما ينبغي لجلالك وجهك وعظيم سلطانتك ومجدك، الحمد لله الذي لا يبلغ مدحه القائلون، ولا يحصي نعمه العادّون، ولا يؤدي حقه المجتهدون، أما الشكر فالحمد لله رب العالمين الذي أخرجنا من العدم، وأفاض علينا وافر النعم، ما توقفت نعمه رغم قلة شكرنا، وما حجت أفضاله على قلة برنا، بل هو المنعم على كل حال والمتفضل في المبدأ والمآل.

نتوجه بالشكر إلى أستاذنا الفاضل الدكتور مصمودي فوزي، الذي أكرمنا بتوجيهاته وتوصياته، وسهّل لنا الصعاب، سهل الله طريقه إلى الجنة وزاده من فضله وبارك له في علمه وعمله.

كما نتوجه بجزيل الشكر إلى أبائنا وأمهاتنا الأكرمين على دعائهم وتشجيعهم المتواصل على طلب العلم، فنسأل الله عز وجل أن يلبسهم لباس الصحة والعافية وبارك في أعمارهم.

ولا يفوتنا أن نرفع بركات الشكر إلى كل من ساعدنا ولو بالقليل خاصة طاقم مخبر "نيزولاب".

الإهداء

إلى ينبوع العطاء الذي زرع في نفسي الطموح والمثابرة... والدي العزيز

إلى نبع الحنان الذي لا ينضب... أُمي الغالية

إلى من يحملون في عيونهم ذكريات طفولتي وشبابي..... اخوتي واخواتي

إلى من حمل عني ومعهم الكثير وساندني في أوقاتي الصعبة خطيبي إسماعيل

إلى من ضاقت السطور من ذكرهم فوسعهم قلبي..... صديقاتي

عواطف

الإهداء

إلى ينبوع العطاء الذي زرع في نفسي الطموح والمثابرة.... والدي العزيز

إلى نبع الحنان الذي لا ينضب... أمي الغالية

إلى من يحملون في عيونهم ذكريات طفولتي وشبابي..... اخوتي واخواتي

إلى من ضاقت السطور من ذكرهم فوسعهم قلبي..... صديقاتي

أمنة

الإهداء

اهدي مذكرتي وتخرجي الى من جرع الكأس فارغا ليسقيني قطر الحب الى من
حصد الاشواك عن دربي ليمهد الى طريق العلم والخير والحب والحنان.
« ابي الغالي وماما الحنونه » .

إلى كل قلب خفق لي حبا وخوفا اخوتي وخلاتي وجدتي الاعزاء

الى شمعة العطاء والامل المشرق اساتذتي وزميلاتي اتمنى لهم التوفيق

اسأل الله ان يفتح لي ابواب الخير والتوفيق

الشفاء

Résumé

Les propriétés mécaniques du béton dépendent de la technologie et des conditions d'installation. Les observations faites sur les structures endommagées par des catastrophes naturelles ont révélé que la qualité du béton dans la structure ne reflète pas la résistance attendue par les laboratoires. Minimiser les risques Le respect des caractéristiques du béton sur chantier nécessite la coopération de tous les acteurs du processus de construction. Dans cette recherche, nous avons essayé d'aborder une étude complète et approfondie et de collecter le plus grand nombre d'informations sur l'effet des températures élevées sur le béton à travers sa résistance et sa résistance, en utilisant la méthode par ultrasons. L'absence de fissures sur le béton par élévation de température montre que cette dernière n'a pas d'effet direct sur la qualité et la qualité du béton par sa résistance, et aussi nous sommes arrivées à la conclusion que la résistance du béton diminue avec l'augmentation température et que la méthode par ultrasons est la méthode la plus appropriée pour étudier la résistance du béton.

Mots clés: résistance, ultrasons, température, béton, chantier.

Abstract

The mechanical properties of concrete depend on the technology and installation conditions. Observations made on structures damaged by natural disasters have revealed that the quality of concrete in the structure does not reflect the strength expected by laboratories. Minimize risks Respecting the characteristics of concrete on site requires the cooperation of all stakeholders in the construction process. In this research, we have tried to approach a complete and in-depth study and collect the greatest amount of information on the effect of high temperatures on concrete through its strength and strength, using the ultrasonic method. The absence of cracks on the concrete by temperature rise shows that the latter has no direct effect on the quality and the quality of the concrete by its resistance, and also we came to the conclusion that the resistance of the concrete decreases. with increasing temperature and that the ultrasonic method is the most suitable method to study the strength of concrete.

Keywords: résistance, ultrason, température, concrète, construction site.

ملخص

تعتمد الخواص الميكانيكية للخرسانة على تقنية وشروط التركيب ، وقد كشفت الملاحظات التي أجريت على الهياكل التي تضررت من جراء الكوارث الطبيعية أن جودة الخرسانة في الهيكل لا تعكس المقاومة المتوقعة من قبل المعامل. تقليل المخاطر يتطلب الامتثال لخصائص الخرسانة في الموقع تعاون جميع المشاركين في عملية البناء.

حاولنا في بحثنا هذا التطرق الي دراسة شامله وموسعة و جمع اكبر عدد من المعلومات حول تأثير ارتفاع درجة الحرارة علي الخرسانة من خلال قوتها ومقاومتها واستعمال في ذلك طريقة الامواج فوق الصوتية .

ان عدم حدوث اي تشققات علي الخرسانة من خلال ارتفاع في درجة الحرارة تبين ان الاخيرة ليس لها اي تأثير مباشر علي جودة ونوعية الخرسانة من خلال قوتها وكذلك وصلنا الي ان مقاومة الخرسانة تتناقص بارتفاع درجة الحرارة وان طريقة الامواج فوق الصوتية هي الطريقة الانسب لدراسة مقاومة الخرسانة .

الكلمات الافتتاحية: المقاومة، الموجات فوق الصوتية، درجة الحرارة، الخرسانة، موقع البناء.

Liste des Photo

Photo.I.1 : Le carottage du béton.....	7
Photo I.2: scléromètre.....	9
Photo.I.3 : Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope	16
Photo II.1 : photo Essais Equivalent sable.....	39
Photo II.2: Essais Los Angeles	40
Photo II.3: photo Appareil micro-Deval	41
Photo II: Ciment utilisé dans cette études	44
Photos II.5 : Les Tamis utilisés d'analyse granulaire	47
Photo II.6: les différences compositions de béton.....	60
Photo II.7 : Essai ultrasonique	63
Photo II-8 : les différences étapes de la compression de béton	65

Liste de Figure

Figure I.1: Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisati	11
Figure.I. 2 : Essai ultrasonique	15
Figure I.3: Schématisation d'un milieu élastique	17
Figure .I .4 :Catégorie d'onde acoustique.....	17
Figure.I.5: La longueur d'onde λ	18
Figure.I.6 : Onde longitudinale [Corapcioglu 1996]	19
Figure.I.7 : Onde transversale [Corapcioglu1996]	20
Figure.I.8 : Onde de Rayleigh	21
FigureI.9 : Ondes de Lamb	21
FigureI.10 : Onde de plane	22
FigureI.11 : onde sphérique	22
Figure I .12 : Mesures en transparence (directe)	24
Figure I. 13 : Mesures en surface	25
FigureI.14 : Mesures semi direct	25
Figure1.15 : Courbes de calibrages	27
Figure I.16: Courbe RILEM	28
Figure II.1 : Constituants du béton	31
Figure II.2 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire.....	33
Figure II.3 : Principe de la détermination de la masse volumique absolue	36
Figure II.4: Essai d'équivalent de sable.....	37
Figure II.5: Principe de détermination d'équivalent de sable	38
Figure II.6 : Forme granulaire	43
Figure II.7: La courbe granulométrique de graviers 8/15.....	49
Figure II.8: La courbe granulométrique de graviers 3/8.....	50
Figure II.9: La courbe granulométrique de graviers 15/25.....	51
Figure II.10 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.	59
Figure II.11: Essai ultrasonique	62
Figure II.11: fiche technique d'Essai ultrasonique	66
Figure III.1: Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement ($R_C= 25\text{MPa}$).....	77
Figure III.2: Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et	

par encrassement ($R_C= 35\text{MPa}$).....	77
Figure III. 3: Variation de la résistance du béton par ultrason et par encrassement pour différentes températures ($R_C= 25\text{MPa}$)	78
Figure III. 4: Variation de la résistance du béton par ultrason et par encrassement pour différentes températures ($R_C= 35\text{MPa}$)	79

Liste des tableaux

Tableau II.1 : catégoriser le sable selon état de propreté.....	38
TableauII.2 : Résultats d’Essais de Los Angeles.....	40
Tableau II .3: Coefficient d'absorption d'eau Ab (%).....	42
Tableau II.4: Caractéristiques techniques du ciment.....	44
Tableau II.5 : Caractéristiques physiques du sable DJAMAA.....	46
Tableau II.6 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NFP 18-560.....	47
Tableau II.7: caractéristiques physiques de gravier 8/15	49

Liste des abréviations

US	Ultrasons
OS	les Ondes de Surface
TO	Tomographie Acoustique
UPV	ultrasonique pulse vitesse
λ	longueur d'onde
V	Vitesse de l'on de compression (km /S)
E	module d'élasticité
ρ	densité
μ	rapport dynamique de poisson ou coefficient de poisson
E/C	E=eau et C=liant
d/D	dimension minimale des grains et D dimension maximale des grains
G/E	G=granulats et E=eau
ρ	Masse volumique absolue
M	Masse des grains solides
V1	Volume de l'eau ;
V2	Volume total (grains solide + eau).
ES	équivalent de sable .
h1	hauteur du sable propre et élément fins .
h2	hauteur du sable propre seulement.
MD	coefficient micro-Deval
Ab	coefficient d'absorption d'eau
$\frac{G}{E}$	E =Épaisseur et G= Grosseur
IA	Pourcentage d'impureté b (%)
BC ou CPA	Ciment Portland Ordinaire
CPJ	Ciment Portland composé ()
CHF	Ciment de Haut fourneau
CPZ	Cimentpouzzolanique
CLC	Ciment au laitier et aux cendres
Fcm	Résistance moyenne à 28 jour
V= L/T	V= est la vitesse de propagation du son, en m/s .
RC	résistance à la compression
MF	Module de finesse d'un sable

Sommaire

i	شكر و عرفان
ii	الإهداء
iii	الإهداء
iv	الإهداء
v	Résumé
vi	Abstract
vii	ملخص
viii	Liste des Photo
ix	Liste de Figure
xi	Liste des tableaux
xii	Liste des abréviations
1	Introduction générale
2	Introduction Générale
3	Premiere partie : Etude bibliographique
4	CHAPITRE I : étude bibliographique Les Essais de béton
5	<i>I .1. Introduction :</i>
5	<i>I .2. Les méthodes destructive et non destructive :</i>
5	<i>I .2. A. Méthodes destructives :</i>
6	<i>I .2. B. Principe :</i>
6	<i>I .2. C. Caractérisation du béton par méthodes destructives :</i>
7	<i>I .2. B. méthodes non destructives :</i>
7	<i>a) Historique :</i>
8	<i>b) les domaines d'application :</i>
8	<i>c) le But :</i>
8	<i>d) Avantages de ces méthodes :</i>
8	<i>I .3. Les Méthodes D'essais :</i>
9	<i>I .3.1. Essai au scléromètre :</i>
10	<i>a) Principe :</i>
10	<i>b) Appareillage :</i>
10	<i>I .3.2. Méthodes combinées :</i>
11	<i>a) Principe :</i>

12	..... I .3. 3. Les méthodes électromagnétiques
12	..... I .3.4. Les méthodes électriques :
13	..... I .3.5. Les méthodes thermiques :
13	..... I .3.6. Les méthodes radiographiques :
13	..... I .3.7. Les méthodes optiques :
13	..... I .3.8. Les inspections visuelles :
14	..... I .3.9. Les méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques:
16	..... I .3.9.1 Les techniques acoustiques :
16	..... I .3.9.2 Définitions d'ondes acoustiques :
17	..... I .3.9.3 Caractéristique des ondes acoustiques :
18	..... I .3.9.4 .Différents types d'ondes :
22	..... I .4. La production des ultrasons :
22	..... I .5. Les propriétés des ultrasons :
23	..... I .6. Le Mode Opérateur :
23	..... I .6.1. Travaux préparatoires :
23	..... I .6.2. Points de mesures :
23	..... I .6.3. Distances minimales entre points de mesures :
23	..... I .6.4. Étalonnage de l'appareil :
24	..... I .7. Manières de mesure :
24	..... I .7.1. Mesure en transparence (directe) :
24	..... I .7.2. Mesures en surface (indirecte) :
25	..... I .7.3. Mesures semi directe :
26	..... I .8. Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons :
26	..... I .9. Corrélation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton :
26	..... I .10. Paramètres influents la vitesse des ultrasons:
28	..... I .11 . Autres interprétations possibles:
28	..... I .12. Références normatives :
29	.....Chapitr II : Généralité sur le béton
30	..... II.1.Introduction :
30	.....II.2.Définitiondebéton :
31	..... II.4.Caractéristiques des bétons :

32	.....	II.5. Les domaines d'emploi du béton :
33	.....	II.6. Les composants du béton :
34	.....	II.7. Caractéristiques des granulats:
34	.....	II.7.1. Caractéristiques géométriques:
34	.....	II.7.1.1. Désignation des granulats:
34	.....	II.7.1.2. Analyse granulométrique d'un granulat
34	.....	II.7.1.3. Courbe granulométrie :
34	.....	II.7.1.4. Coefficient d'Aplatissement A [NFP-18 561 septembre 1990]:
34	.....	II.7.1.5. Module de finesse d'un sable (Mf) :
35	.....	II.7.2. Caractéristiques physiques :
35	.....	II.7.2.1. La Masse volumique apparente NFP 18-554:
36	.....	II.7.2.2. Masse volumique absolue :
37	.....	II.7.2.3. Equivalent de sable : 7II.
39	.....	II.7.3. Caractéristiques mécaniques:
39	.....	II.7.3.1. Résistance au choc : essai los Angeles:
40	.....	II.7.3.2. Essai Micro Deval:
41	.....	II.7.3.3. coefficient micro-Deval:
42	.....	II.7.3.4. coefficient d'absorption d'eau :
42	.....	II.7.3.5. Coefficient d'aplatissement (la norme NF P 18 -561):
43	.....	II.7.3.6. Propreté superficielle:
43	.....	II.8. Rôle des différents éléments constituant le béton :
43	.....	II.8.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N) :
44	.....	II.8.1.1. Caractéristiques techniques :
45	.....	II.8.1.2. Domaines D'application :
45	.....	II.8.1.3. Différents types de ciments courants :
45	.....	II.8.2. Les granulats:
45	.....	II.8.2.1. Sable :
49	.....	II.8.2.2. Les Gravier (8/15.3/8.15/25) Ain Touta:
51	.....	II.8.2.2.3. Les Gravier 15/25:
52	.....	II.8.3. L'eau :
52	.....	II.9. La Formulation des bétons :
52	.....	II.9.1. Les différentes méthodes de composition des bétons :

59	.....II.9.2. Essais réalisés pour le béton :
59	..... II.9.2.1. Essai d'ouvrabilité au cône d'Abrams :
59	..... II.9.2.2. Formulation et conservation des éprouvettes :
60	..... II .9.2.3.Essai d'auscultation sonore (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4):
64	.....II .9.2.4. Essai de résistance à la compression (Rc) (NF EN 12390 – 3) :
69	.....Deuxieme partie
69	.....Partie pratique
70	..... Chapitr III : Analyse et discussion des résultats
71	..... III.1. Introduction
73	..... III.2. Courbes des Résistances :
73	.....III.2.1 Courbes des Résistances pour Le Béton ($R_{c\text{ Ref}} : 25\text{ Mpa}$) :
73	..... a) Béton a Température ($T = - 10^{\circ}\text{c}$) :
73	..... b) Béton a Température ($T = 25^{\circ}\text{c}$) :
73	..... c) Béton a Température ($T = 70^{\circ}\text{c}$) :
74	..... d) Béton a Température ($T = 200^{\circ}\text{c}$) :
74	..... III.2.2. Courbes des Résistances pour Le Béton ($R_{c\text{ Ref}} : 35\text{ Mpa}$) :
74	..... a) Béton a Température ($T = - 10^{\circ}\text{c}$) :
75	..... b) Béton a Température ($T = 70^{\circ}\text{c}$) :
75	.....c) Béton a Température ($T = 200^{\circ}\text{c}$) :
75	..... III.3. Courbes de Comparaison des Résistances (Ecrasement / Ultrason) :
75	.....III.3.1. Courbes de Comparaison pour Le Béton ($R_{c\text{ Ref}} : 25\text{ Mpa}$) :
76	.....III.3.2. Courbes de Comparaison pour Le Béton ($R_{c\text{ Ref}} : 35\text{ Mpa}$) :
76	..... III.4. Discussion et interprétation des résultats :
	III.4.1. Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par
76	..... encrassement :
	III.4.2Variation de la résistance du béton par ultrason et par encrassement pour différentes
77	..... températures :
80	..... Conclusion
82	.....Références bibliographiques

Introduction générale

Introduction Générale

Les besoins en auscultation sont très importants dans le milieu du génie civil et, notamment, sur les ouvrages en béton. Les contrôles non destructifs représentent une solution à ces préoccupations, sans pour autant avoir à ce jour convaincu tous les maîtres d'ouvrages.

Outre le fait que les techniques d'essais non destructifs utilisant les ondes ultrasonores fournissent essentiellement des données qualitatives qui ne sont pas toujours exploitables directement par les bureaux d'études, il y a un manque général de confiance dans les techniques d'essais non destructifs, car très peu d'avis sur leurs précisions et leurs fiabilités existent sur leur applicabilité vu que ces essais ont toujours des paramètres extérieurs qui influent sur leurs crédibilités. Parmi ces paramètres influences, il y a la température du milieu.

Sachant que la température élevée procure au béton des résistances suffisantes au jeune âge et la basse température retarde le durcissement et la résistance souhaitée du béton.

Aussi le béton en cours d'exploitation peut subir des dégradations par incendie qui peuvent infecter sa qualité et changer ces caractéristiques.

Dans les deux cas précédant, il est nécessaire de pouvoir évaluer les caractéristiques résiduelles du béton ainsi connaître la performance et la profondeur de l'endommagement (cas des incendies) dans le but d'évaluer les travaux de réparation.

L'utilisation des méthodes acoustiques non destructives pour l'évaluation des caractéristiques mécaniques et suivre leurs évolutions dans le temps sont intéressantes de par leur aspect non destructif et pour leur sensibilité à l'évolution des paramètres mécaniques du béton après un traitement ou un choc thermique.

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 du milieu tel que la température seuls ou combinées 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.

*Premiere partie : Etude
bibliographique*

***CHAPITRE I : étude
bibliographique Les Essais de
béton***

I.1. Introduction :

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, c'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et, en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton.

Le contrôle par essais destructifs nécessite la confection d'éprouvettes prélevées représentant un échantillon. Ce contrôle ne peut être effectué à 100 % ou tout au moins sur un échantillonnage significatif. De plus, l'échantillon prélevé n'est pas toujours représentatif du béton de la structure réelle. Ainsi, pour répondre à ces problèmes, on a développé une gamme d'essais in situ appelés « essais non destructifs » venant compléter les essais destructifs.

Les essais non destructifs consistent à prendre des mesures qui n'endommagent pas les constructions, Ils représentent des méthodes de reconnaissance couramment appliquées aux structures de bâtiments.

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 de la taille de l'appareillage de mesure ouvriront des applications entièrement nouvelles.

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. [01]

I.2. Les méthodes destructive et non destructive :

I.2. A. 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 primordial 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].

L'essai permet de déterminer la résistance à la compression dite sur cylindre du béton.

On en déduira alors la résistance caractéristique.[01]

I.2. B. Principe :

L'essai est effectué sur éprouvette cylindrique par compression entre les plateaux d'une presse.

Pour que les faces de chargement soient planes et perpendiculairement à l'axe de l'éprouvette, il est impératif de rectifier l'éprouvette.[06]

I.2. C. Caractérisation du béton par méthodes destructives :

Les essais destructifs sont réalisés sur des éprouvettes ou sur des échantillons extraits de la structure considérée.

Le carottage suit une procédure normalisée [ASTM C42/C 42M-13].

Les méthodes destructives nous permettent de tester les propriétés mécaniques du matériau jusqu'à la rupture. Les informations peuvent être obtenues en profondeur. Les agressions chimiques et la porosité peuvent également être évaluées. La variabilité des propriétés évaluées par les méthodes destructives est importante, ce qui conduit à une grande incertitude des modèles probabilistes étudiés ultérieurement.

Pour exemple, les travaux de Pfister [Pfister 2014] conduisent à évaluer l'état du béton du bâtiment PuntaPerotti en Italie, âgé de 10 ans et exposé à des conditions environnementales agressives en raison de la proximité de la mer et du vent. Le test de résistance mécanique de compression (RC) est réalisé sur 103 échantillons extraits de planchers de deux étages. Les valeurs moyennes et coefficients de variation de RC de deux étages sont respectivement 33 MPa et 18.3 % puis 28.2 MPa et 14.4 %. Ce résultat nous montre la variabilité importante des tests in situ.

Les techniques destructives sont privilégiées dans le cas des produits fabriqués en série où le coût de détruire quelques éprouvettes issues de ces produits est négligeable. Dans le cas des structures en génie civil demandant une haute maîtrise en termes de sécurité, le carottage doit être limité et optimisé. Il est même parfois interdit.[06]



Photo.I.1 : Le carottage du béton

I.2. B. méthodes non destructives :

a) Historique :

L'essai non destructif du béton est de grande importance scientifique et pratique.

Le sujet a suscité l'attention croissante pendant ces dernières années, particulièrement le besoin de caractérisation de la qualité des constructions endommagées faites en béton, en utilisant des méthodes non destructives. Une gamme d'essais non destructifs in-situ, a été développée, par tant de chercheurs dans ce domaine :

Le premier essai non destructif à été réalisé par WILLIAMS EN (1936), en suite et pendant le développement de domaine de construction, ERNEST SCHMILT (1948), JONES (1962), WHITEHURST (1966), MALHOTRA (1976) ont présenté une enquête complète de littérature sur les méthodes non destructives normalement utilisées pour l'essai et l'évaluation du béton, BUNGEY (1982). Au milieu des années soixante SKRAMTAEV ET LESHCHINSKY (1966) ont proposé pour la première fois l'utilisation de deux méthodes non destructifs ensembles, et le travail le plus fondamental à ce sujet a été présenté par FACAOARU (1969). En (1991) LESHCHINSKY a récapitulé les avantages des essais non destructifs comme réduction de la consommation de travail de l'essai, une diminution de la consommation de travail des travaux préparatoires, un peu de dommages structuraux, une possibilité d'examiner la résistance en structures ne peuvent pas être forés avec application de moins d'équipement d'essai cher, par rapport à l'essai destructif. Ces avantages sont sans valeur si les résultats ne sont pas fiables, représentatif, et aussi étroitement comme possible à la force réelle de la partie examinée de la structure

Utilisées aujourd'hui pour l'auscultation des structures en béton peuvent être classées en sept catégories qui sont décrites succinctement dans les paragraphes suivants.[01]

b) 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

c) le But :

Ces essais sont rapides et faciles 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..[01]

d) Avantages de ces méthodes :

Les méthodes non destructives présentent les avantages suivants :

- La performance ou l'apparence de la structure n'est pas modifiée ;
- La possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps ;
- Une plus grande sécurité, et une meilleure planification de la construction.
- Une progression plus rapide et plus économique. [01]

I.3. 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 :

- Essai au scléromètre
- Méthodes combinées
- Les méthodes électromagnétiques
- Les méthodes électriques
- Les méthodes thermiques
- Les méthodes radiographiques
- Les méthodes optiques
- Les inspections visuelles

- Les méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques.

I.3.1. Essai au scléromètre :

L'essai au scléromètre consiste à projeter une masse sur la surface du béton avec une énergie initiale constante. Suite au choc, une partie de l'énergie est absorbée par le béton, l'autre partie provoque le rebondissement de la masse. L'énergie d'impact est produite par un système de ressorts dont l'amplitude du mouvement de recul est fonction de :

L'énergie de recul Caractéristiques des systèmes de ressorts

La mesure de la dureté au choc permet d'évaluer la résistance d'un béton de manière non destructive. Cette méthode est intéressante en raison de sa simplicité ; elle permet de faire rapidement des contrôles de régularité des bétons d'un ouvrage.

La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton.

Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours. Il a été développé par ERNST SCHMIDT EN (1948) et est connu sous le nom d'essai au marteau Schmidt ou essai au scléromètre. Le marteau de Schmidt (photo I.1)) est resté le seul instrument connu qui utilise le principe de rebondissement pour les essais sur le béton selon R.F FELDMAN (1977). En (1984) T.AKASHI ET S.AMASAKI ont déclaré que malgré son apparente simplicité, l'essai au scléromètre soulève des problèmes complexes d'impact et de propagation de l'onde qui lui sont associés.[01]



Photo I.2: scléromètre

a) Principe :

Le principe de base de l'essai au scléromètre est que le rebond d'une masse élastique dépend de la dureté de la surface sur laquelle frappe la masse.

Dans l'essai au scléromètre une masse approximative de 1.8 kg montée sur un ressort a une quantité potentielle fixe d'énergie qui lui est transmise par un ressort tendu à partir d'une position fixe, ce que l'on obtient en pressant la tête du marteau contre la surface du béton mis à l'essai. Lors de son relâchement, la masse rebondit depuis la tête, toujours en contact avec la surface du béton et la distance qu'elle parcourt, exprimée en pourcentage de l'extension initiale du ressort est appelée l'indice de rebondissement. Cet indice est indiqué par un curseur qui se déplace le long d'une règle graduée.

Quelques modèles de scléromètres impriment le relevé des résultats sur un rouleau de papier paraffiné. L'indice de rebondissement est une mesure arbitraire, car elle dépend de l'énergie emmagasinée par le ressort et de la dimension de la masse.[01]

b) Appareillage :

Il existe plusieurs modèles de scléromètres selon le type de recul ainsi que l'énergie d'impact. Le modèle le plus utilisé est le scléromètre SCHMIDT (Suisse).

L'appareil est composé d'une masselotte chargée par un ressort qui se projette sur une tige métallique appelée tige de percussion. Il est livré avec une pierre à polir et un bloc d'étalonnage. [01]

I.3.2. 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 BELLANDER (1977) figure (I.1). [01]

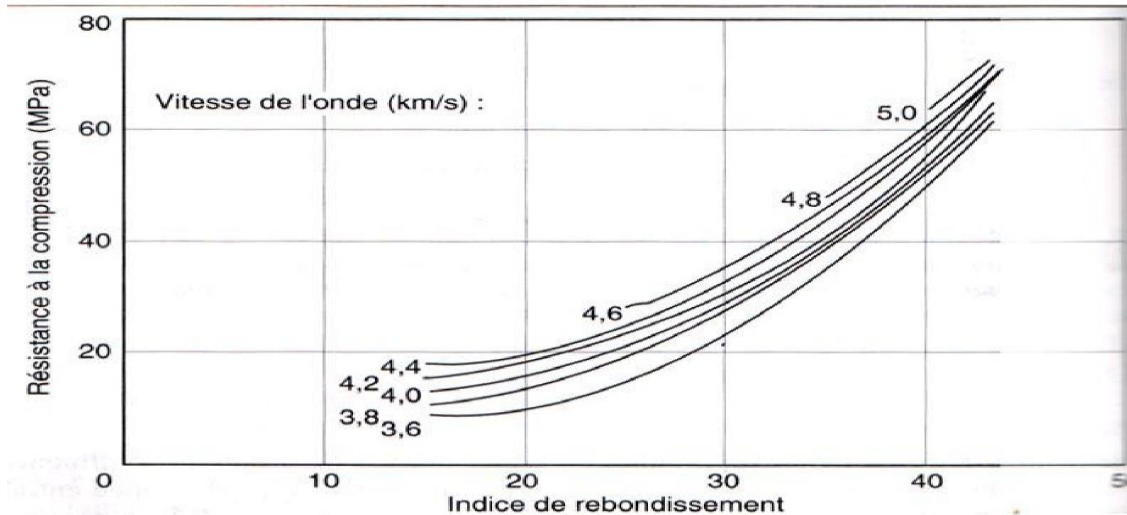


Figure I.1: Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation

On conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)

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. [01]

a) Principe :

Dans notre étude on a basé sur la combinaison de deux essais non destructifs le plus largement répandus; essai de vitesse ultrason et l'essai de scléromètre. 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 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.

La méthode a été développée pour essayer d'augmenter la fiabilité des essais non destructifs en détectant la résistance du béton.

D'après une enquête de RILEM, il existe actuellement diverses méthodes combinées telle que:

- Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté des empreintes.
- Vitesse des ondes ultrasonores longitudinales – dureté superficielle par indice de rebondissement.
- Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation ou amortissement des ondes ultrasonores.
- Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation de la fréquence propre.
- Vitesse des ondes ultrasonores- atténuation des rayons.
- Vitesse des ondes ultrasonores-vitesse des ondes ultrasonores transversales.
- Dureté au choc par rebondissement- dureté par empreinte. [01]

I. 3. 3. Les méthodes électromagnétiques

Le principe repose sur l'émission d'une onde électromagnétique et sur l'analyse du signal induit et de ses perturbations. On distingue principalement 3 types de méthodes : l'auscultation basse fréquence (pachomètre), le radar et la méthode capacitive. Ce sont les développements des antennes à hautes et très hautes fréquences (1,5 GHz) qui ont permis la transposition de ces méthodes géophysiques au génie civil. La méthode RADAR, utilisée notamment à la surface des tabliers de ponts [Rhazi et al. 2003] permet, par un balayage très rapide d'avoir une image en trois dimensions de la structure. Ainsi, on peut déterminer la profondeur des armatures [Dérobert et al. 2001], l'épaisseur de différentes couches présentes dans le béton, une estimation de la teneur en eau [Laurens 2001, Sbartai 2005] et de la contamination par les chlorures [Klysz 2004]. Généralement couplée avec des mesures du potentiel et de vitesse de corrosion, elle renseigne sur l'état d'avancement de la corrosion des armatures [Balayssac et al. 2002]. [05]

I .3.4. Les méthodes électriques :

Résistivité, potentiel et Vitesse de corrosion

Elles reposent sur la mesure des intensités des courants, et/ou des différences de potentiel au sein du matériau, dues soit à des réactions électrochimiques naturelles dans le matériau (cas de la corrosion), soit à des sollicitations artificielles. Cette famille regroupe les

mesures de la résistivité électrique [Lataste 2002], du potentiel de corrosion, et de la vitesse de corrosion [Andrade et al. 1996].[05]

I .3.5. Les méthodes thermiques :

Dans le domaine du contrôle non destructif d'ouvrages, les méthodes thermiques sont émergentes. L'apparition récente de la thermographie infrarouge (TIR) a permis aux méthodes thermiques de s'immiscer dans le domaine de l'auscultation des ouvrages [Sirieix et al. 2005]. Il s'agit alors de mesurer la réponse d'un ouvrage aux variations de températures naturelles ou artificielles (respectivement pour les méthodes dites passives ou actives).

Les mesures sont effectuées dans le domaine spectral de l'infrarouge dit moyen, entre 2 et 15 μm [Gaussorgues 1999].[05]

I .3.6. Les méthodes radiographiques :

Il s'agit des techniques classiques de radiographie : la surface à ausculter est exposée à un rayonnement (γ ou X selon la méthode), qui après avoir traversé le matériau impressionne un film photographique. On distingue parmi ces méthodes la gammagraphie, la radiographie et la radioscopie [Rondelle et al. 2005].[05]

I .3.7. 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].[01]

I .3.8. Les inspections visuelles :

L'inspection visuelle [Graybeal et al. 2002] est la plus simple et la plus immédiate destechniques d'auscultation non destructive d'une surface. Les pathologies les plus courantes sont décrites afin d'aider à la détection, à la reconnaissance et au diagnostic.

Les progrès technologiques récents permettent de soutenir cette méthode, en offrant des capteurs complémentaires de l'œil (appareils numériques), des moyens d'enregistrement (pour un suivi dans le temps) ainsi que des procédés d'analyse d'image pour l'interprétation.

Cette méthode reste néanmoins très subjective puisque les résultats sont étroitement liés à l'expérience et au jugement de l'inspecteur.

Le suivi topographique des ouvrages est aussi un moyen d'inspection très important qui permet de suivre les déformations d'ouvrages dans le temps.[01]

I.3.9. Les méthodes acoustiques : soniques et ultrasoniques:

Les techniques d'auscultation reposant sur la propagation d'ondes mécaniques sont largement employées dans les domaines de la métallurgie [Garnier et al. 2009]. Elles sont dérivées des méthodes géophysiques sismiques et reposent sur l'interprétation, soit en temps, soit en fréquence, de l'onde enregistrée en fonction de l'onde émise. Les principales techniques sont :

les Ultrasons (US), les Ondes de Surface (OS) [Hévin 1998, Hassaim 1999, Al Wardany 2005], la Tomographie Acoustique (TO) [Côte 1988, Sahebi 1996, Kharrat1997], l'Emission Acoustique (EA) et l'Impact-Echo (IE) Principe.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde, d'où le nom de la méthode (essai de vitesse de propagation d'ondes sonores) à parcourir une distance connue. D'après LESLIE et CHEESMAN, l'état du béton totalement inconnu peut se déterminer approximativement selon la vitesse mesurée.

Les impulsions sont produites par des cristaux piézo-électriques à excitation par choc des cristaux semblables sont utilisées dans le récepteur JONS.R ET FACAOARU (1969).

La fréquence de générateur d'ondes est comprise entre 10 et 150 HZ, le temps de propagation des ondes dans le béton est mesuré par des circuits de mesure électroniques.

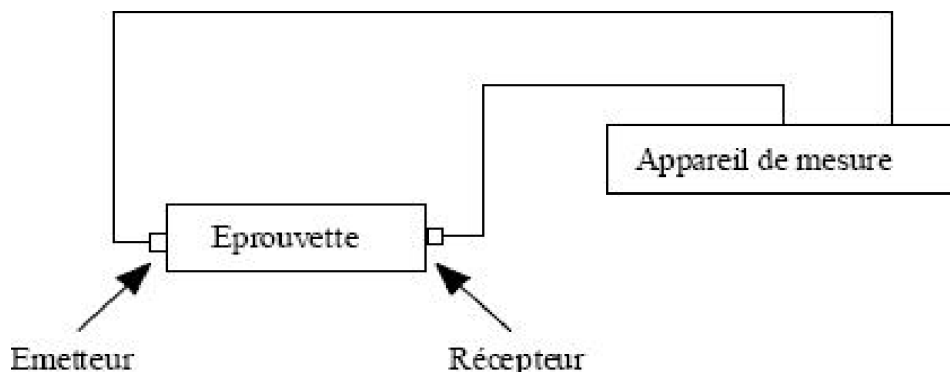


Figure.I. 2 : Essai ultrasonique

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tel que l'Age du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures. La technique ne peut pas être employée pour la détermination de la résistance de béton fabriqué par différents matériaux dont on ne connaît pas les proportions.

Ces facteurs représente un inconvénient majeur des essais non destructifs dans lequel la propriété du béton que l'on mesure est affectée par divers facteurs dont l'influence est différente de ce qu'elle est dans la résistance du béton. Cette technique pour l'estimation de la résistance du béton in situ n'est pas encore considéré e, dans la parti que, comme un outil de remplacement au cylindre standard et aux cubes, mais peut être utilisée comme une technique additionnelle, quand elle sera exécutée avec des essais de carottage.

A l'utilisation de la valeur de la vitesse de propagation d'une onde sonore pour déterminer la résistance du béton, il faut mentionner qu'il n'y a pas de relation physique entre les deux selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984).

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 terminés. Certains facteurs influent toutefois sur la prise de mesures :

1- Les ondes sonores 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 sonores selon STURRUP, VECCHIO ET CARATIN (1984)

2- La surface sur laquelle l'essai est effectué doit épouser parfaitement la forme de l'appareil qui lui est appliqué, il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre le béton et les transducteurs.

Les matériaux d'interposition sont la vaseline de commerce, un savon liquide ou une pâte constituée de Kaolin et de Glycérol. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface ou le transducteur sera fixé.

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; entre 5 et 30°C, la vitesse des impulsions n'est pas subordonnée à la température. FELDMAN (1977).

4- La présence d'acier d'armature dans le béton en particulier l'armature qui suit le trajet de l'onde entraîne une augmentation de la vitesse BUNGEY (1989). 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.[13]



Photo.I.3 : Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope

I .3.9.1 Les techniques acoustiques :

Il existe trois techniques acoustiques pour évaluer le béton, nous avons : Les ultrasons (auscultation sonore ou ultrasonique pulse vélocité (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 structurels internes sur une longue période de temps.[13]

I .3.9.2 Définitions d'ondes acoustiques :

Les ultrasons sont des ondes acoustiques, donc mécaniques, de fréquence supérieure à la fréquence de coupure de l'oreille humaine, soit environ 15 kHz. La vitesse de propagation d'une onde devient plus élevée lorsque le temps de transmission de l'information d'une particule élémentaire constituant la matière à sa voisine est plus faible. Elle dépend du niveau de cohésion de la matière. Ainsi, les vitesses de propagation d'une onde dans l'air, l'eau ou l'aluminium sont approximativement et respectivement égales à 340 m/s, 1500 m/s et 6000 m/s. Selon la nature du milieu (fluide ou solide), une onde est entièrement décrite par une grandeur scalaire comme la pression ou par une grandeur vectorielle comme le déplacement particulaire. Dans ce dernier cas, l'onde est alors une onde élastique. Les ondes ultrasonores se

propagent moins bien dans les gaz que les sons audibles, d'autant plus mal que leur fréquence est élevée.

L'onde ultrasonore est une vibration mécanique qui se propage dans un milieu élastique (solide, liquide ou gaz) et dont la fréquence se trouve au-delà des fréquences audibles.

L'onde sonore est une onde mécanique qui nécessite un milieu matériel élastique et déformable pour se propager (figure 1.3).

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). [13]

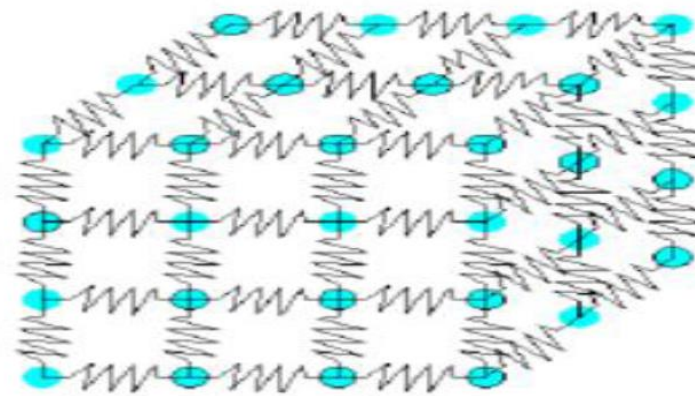


Figure I.3: Schématisation d'un milieu élastique

On distingue trois catégories d'ondes acoustiques (figure 1.4).

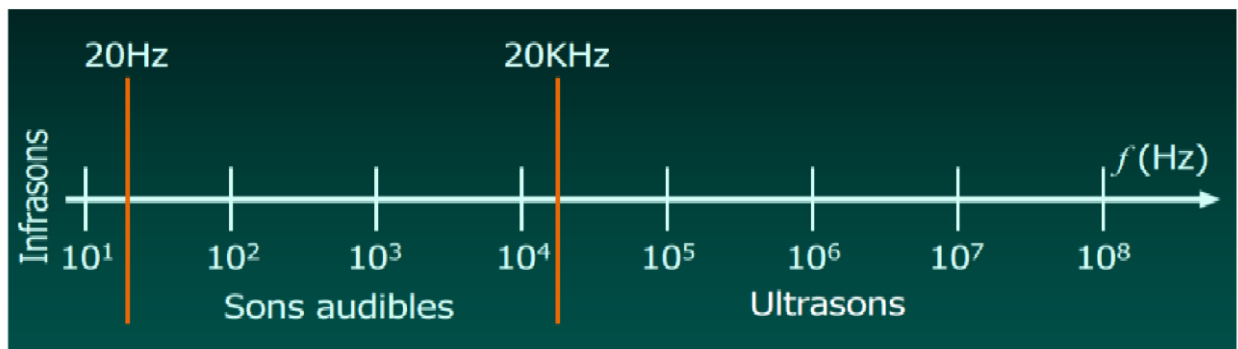


Figure .I .4 : Catégorie d'onde acoustique

I .3.9.3 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 les matériaux solides et les fluides (figure 1.5).[13]

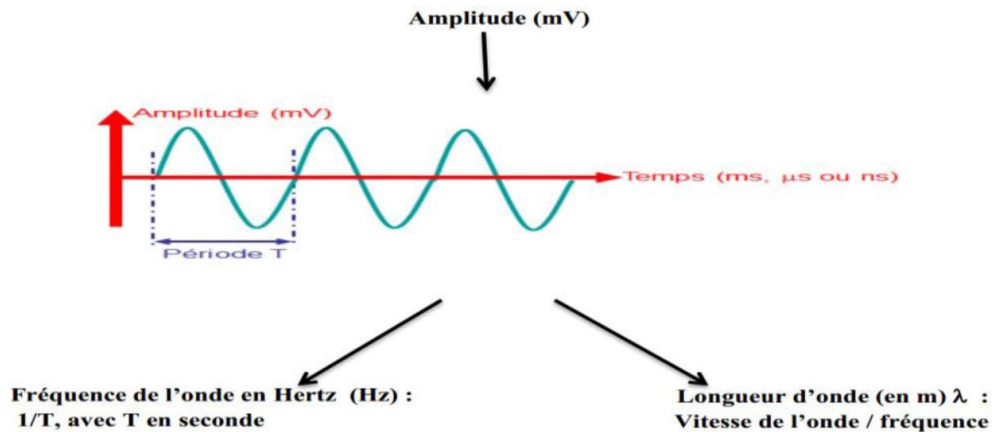


Figure.I.5: La longueur d'onde λ

I .3.9.4 .Différents types d'ondes :

Trois types d'ondes mécaniques de propagation (également appelées ondes de contraintes) sont créés lorsque la surface d'un grand milieu élastique solide est perturbée par une charge dynamique ou vibratoire : Les ondes de compression (ondes longitudinales ou P), les ondes de cisaillement (ondes transversales ou S) et les ondes de surface (ondes de Rayleigh).[01]

I .3.9.4.1. Les ondes longitudinales et transversales :

Les ondes longitudinale (compression P) et transversale (cisaillement S) sont les deux modes de la propagation les plus couramment employés dans l'essai ultrasonique. Ces ondes voyagent dans un solide illimité. Les figures 1.4 et 1.5 illustrent la propagation des ondes longitudinales et de cisaillement respectivement [Corapcioglu et al., 1996].

Une onde ultrasonore est longitudinale ou de compression lorsque la direction de vibration des particules est parallèle à la direction de propagation de l'onde.[01]

La vitesse de l'onde de compression est donnée par ACI Commette 228 1989 comme suit:

$$V = \sqrt{\frac{KE}{\rho}}$$

Où

V : vitesse de l'onde de compression (Km/s)

$$K = \frac{(1-\mu)}{[(1+\mu)(1-2\mu)]}$$

E : module d'élasticité dynamique (GPa)

ρ : densité

μ : rapport dynamique de Poisson ou coefficient de Poisson

La valeur de K varie dans une plage assez étroite. Les variations de E et ρ ont un effet plus significatif sur V que les variations de μ . Pour le béton, V varie généralement de [3000 - 5000 m/s]. [13]

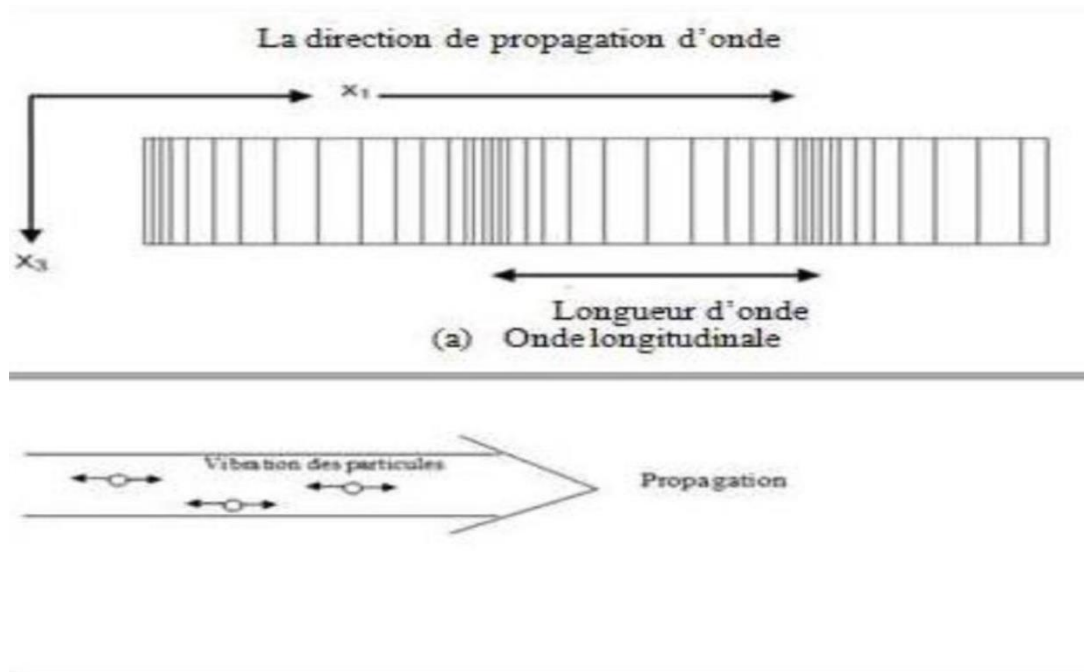


Figure.I.6 : Onde longitudinale [Corapcioglu 1996]

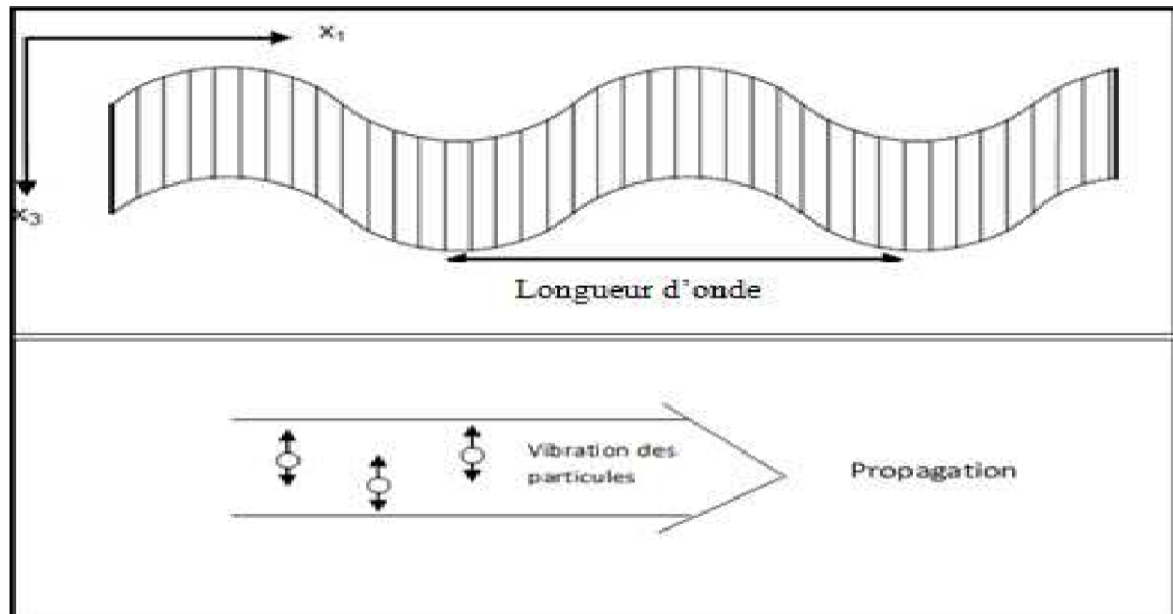


Figure.I.7 : Onde transversale [Corapcioglu1996]

I .3.9.4.2. Les ondes de surface:

Les ondes de Rayleigh sont des ondes de surface, elles se propagent à la surface des solides pour lesquels le mouvement des particules est elliptique (figure 1.8), c'est les ondes les plus utilisées.

La schématisation des ondes de surface la plus connue est la formation des rides à la surface d'une étendue d'eau, lorsqu'on jette un caillou.[01]

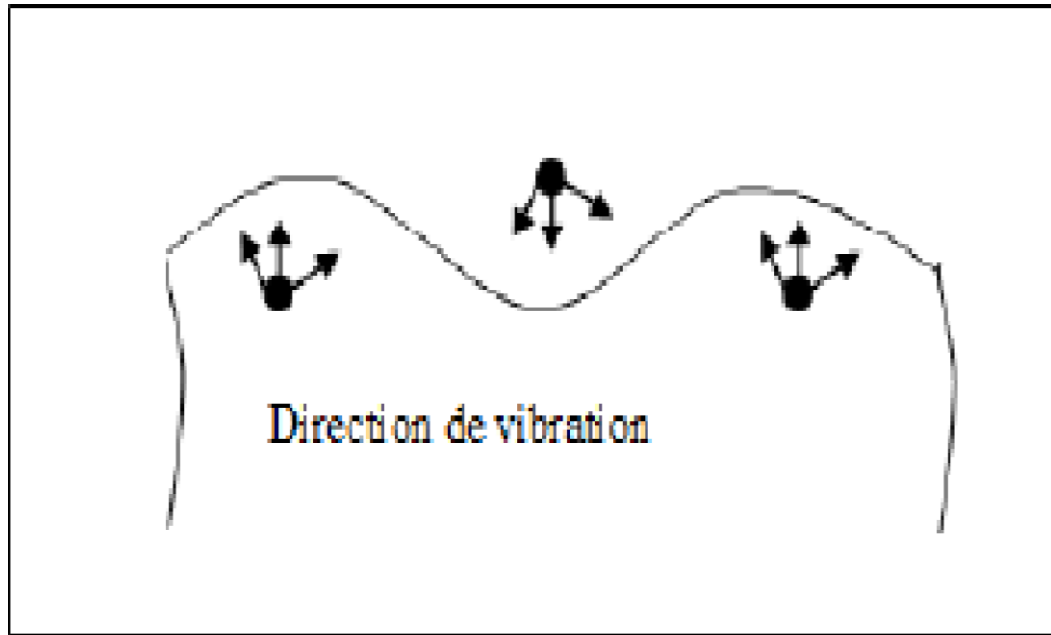
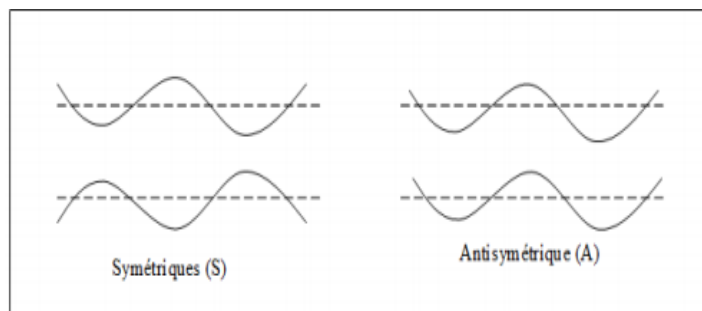


Figure.I.8 : Onde de Rayleigh

I .3.9.4.3 ondes de LAMB :

Lorsque le matériau contrôlé a une épaisseur faible- de l'ordre de quelque longueur d'onde-les ondes de surface se transforment en ondes de plaque ou ondes de LAMB et se propagent le long de la plaque en intéressant toute l'épaisseur de celle-ci. Il existe deux modes fondamentaux de vibration pour les ondes de Lamb : le mode symétrique et le mode antisymétrique (figure1.9).[01]



FigureI.9 : Ondes de Lamb

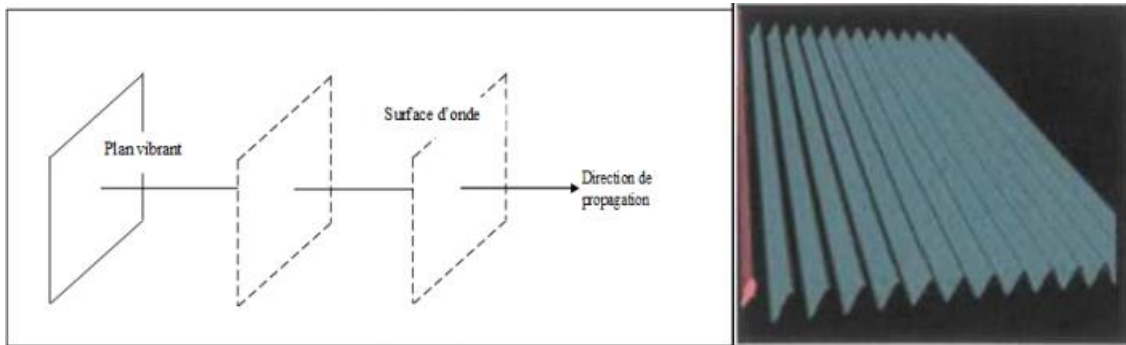
Les ondes de Lamb sont utilisées industriellement pour le contrôle des tôles minces métalliques et de certains composites Le champ de déplacement pour une onde de Lamb peut être décrit par (Bedford et Drumheller, 1996) :

$$U_1=U_1(x_1, x_3, t) , U_2=0, U_3=U_1(x_1, x_3, t)$$

I .3.9.4.4 . Onde plane et ondes sphérique:

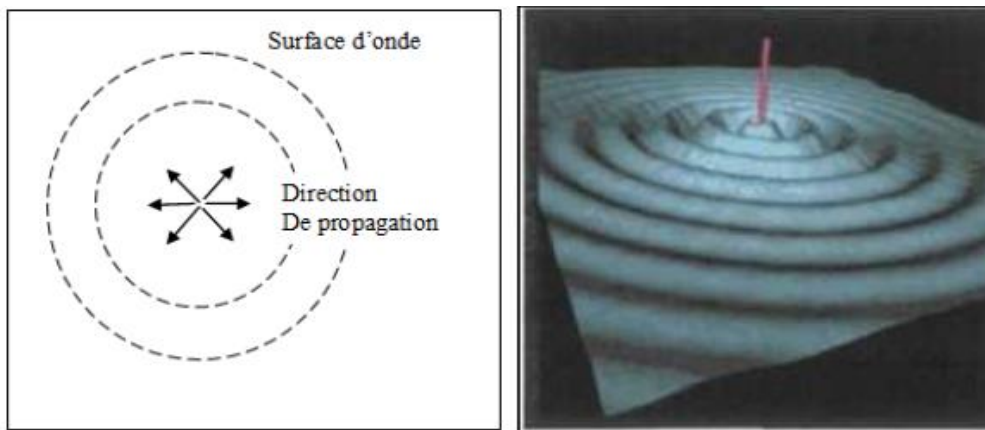
On parle d'onde plane lorsque l'onde se propage suivant une direction unique et que les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux (figure1.10). Une onde plane est générée par une surface plane vibrante de dimension importante. L'amplitude d'une onde plane est constante quelle que soit la distance entre le point considéré et la source, à condition toutefois que les phénomènes d'atténuation puissent être négligés.

On parle d'onde sphérique lorsque l'onde se propage suivant toutes les directions de l'espace et que les surfaces d'ondes sont des sphères concentriques (figure1.11).[01]



FigureI.10 : Onde de plane

Une onde sphérique est générée par un point ou une sphère dont toute la surface vibre uniformément et l'amplitude de vibration décroît en fonction de la distance à la source



FigureI.11 : onde sphérique

I .4. La production des ultrasons :

Actuellement, trois types d'émetteurs sont utilisés pour générer des ultrasons, utilisant la transformation de l'énergie électrique transportée par des courants alternatifs de fréquence élevée en énergie mécanique (oscillations d'un système mécanique).[06]

I .5. Les propriétés des ultrasons :

La possibilité de produire des ultrasons de fréquence et de puissance toujours plus grande a permis de mettre en évidence des propriétés spécifiques aux ondes ultrasonores.

La technique de la vitesse d'impulsion d'ultrason (UPV) parmi les techniques de l'auscultation sonore est l'un des moyens qui permet de contrôler et d'évaluer cette évolution au courant de temps. Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Par ailleurs, en utilisant un instrument ultrasonore tel que « PunditLab », la détermination et l'estimation de la résistance est plus facile et très rapide par rapport à la méthode destructive. En outre, si on arrive à trouver une relation entre ces deux types de caractéristiques, on aurait gagné en temps et en matière lors de la conception ou du contrôle ou de l'entretien des structures. [06]

C'est cette technique qui sera utilisée dans notre travail expérimental.

I.6. Le Mode Opérateur :

I.6.1. 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.[09]

I.6.2. 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. [09]

I.6.3. Distances minimales entre points de mesures :

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

I.6.4. 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. [09]

I.7. Manières de mesure :

La détermination de la vitesse de propagation des ultrasons se fait de trois manières, suivant le type de l'élément à tester :

I.7.1. 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.

[08]

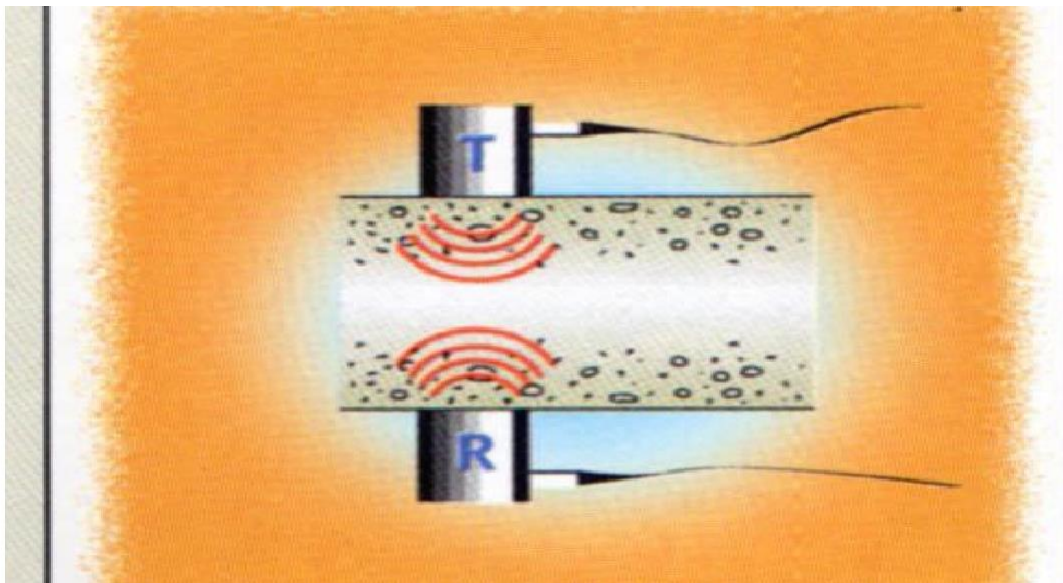


Figure I.12 : Mesures en transparence (directe)

I.7.2. 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 figure (1.13).

L'émetteur est maintenu en un point fixe, le récepteur est déplacé successivement à des distances marquées à l'avance. [08]

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

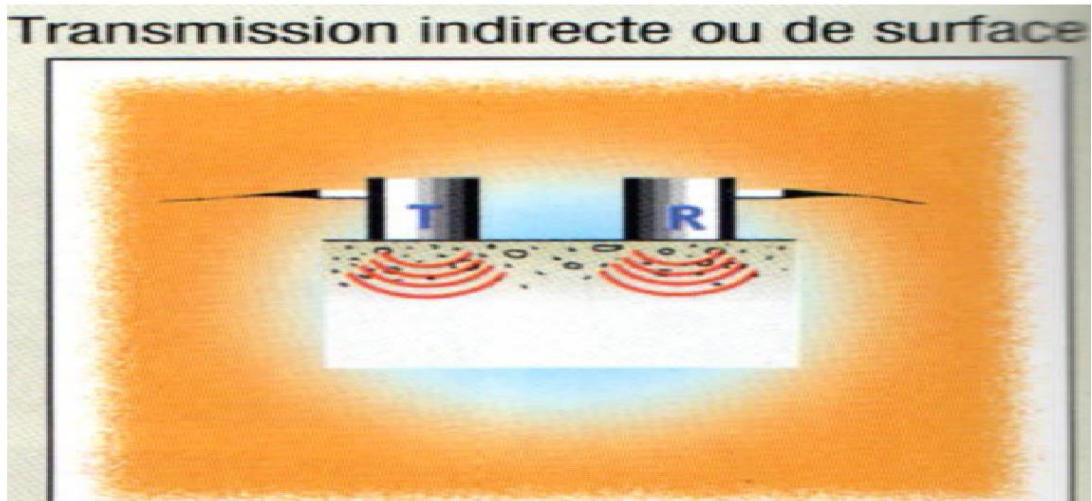
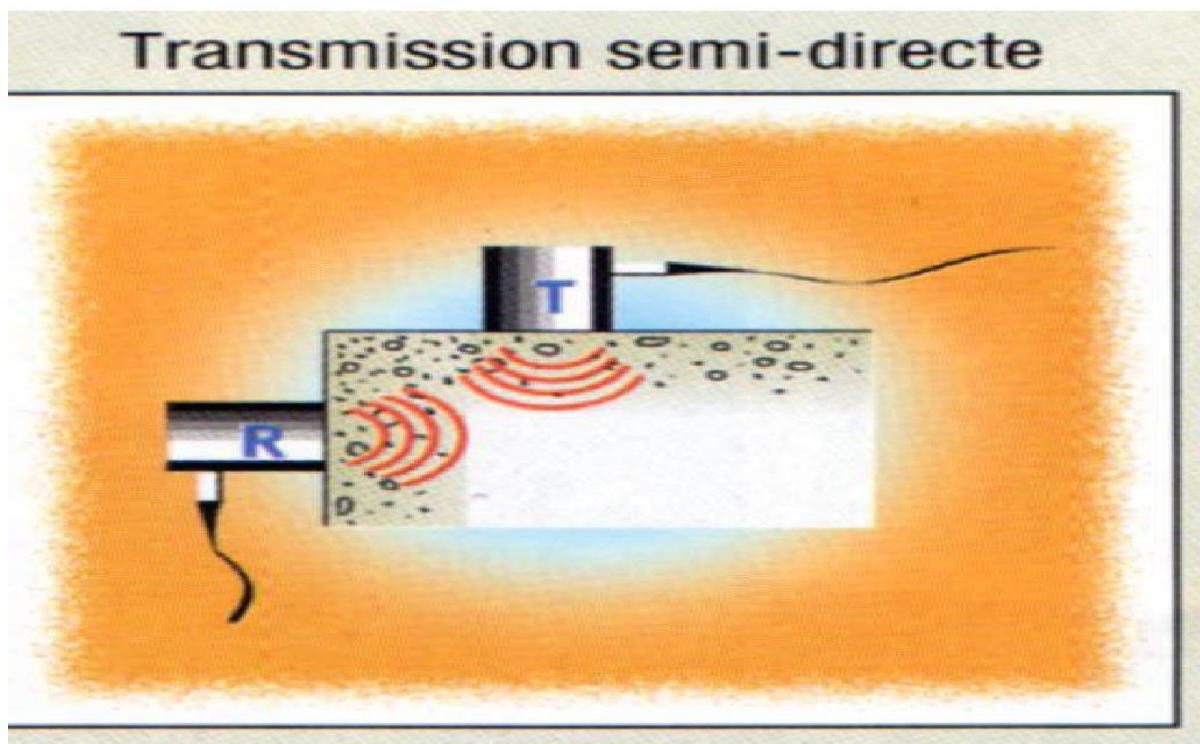


Figure I. 13 : Mesures en surface

I.7.3. Mesures semi directe :

Elles sont utilisées sur tous les éléments de structure et sur les éprouvettes, mais plus particulièrement sur les éléments de structure où on ne peut pas utiliser les deux autres manières. Figure (1.14). [08]



FigureI.14 : Mesures semi direct

I .8. 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. [09]

I .9. 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 0.4 0 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.[09]

I .10. 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 module 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 granulats 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. [09]

Exemple de tracés de courbes de calibrage

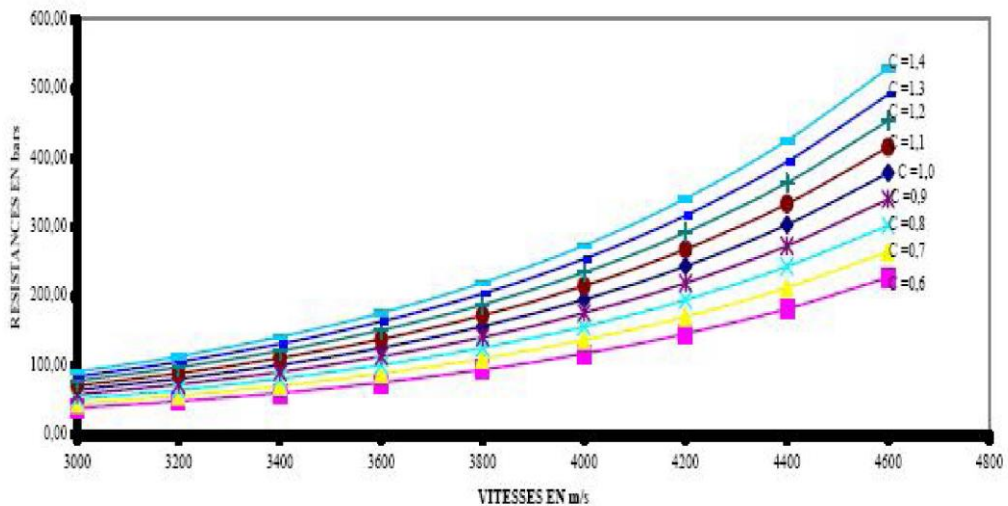


Figure1.15 : Courbes de calibrages

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 de carottes,
- 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 béton in situ sera étudiée au cas par cas

I .11 . Autres interprétations possibles:

Les résultats obtenus en appliquant la courbe de la RILEM sont donnés dans le cas où le béton testé est considéré connue. 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, seuls 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. [14]
- Estimation de la résistance du béton selon RILEM

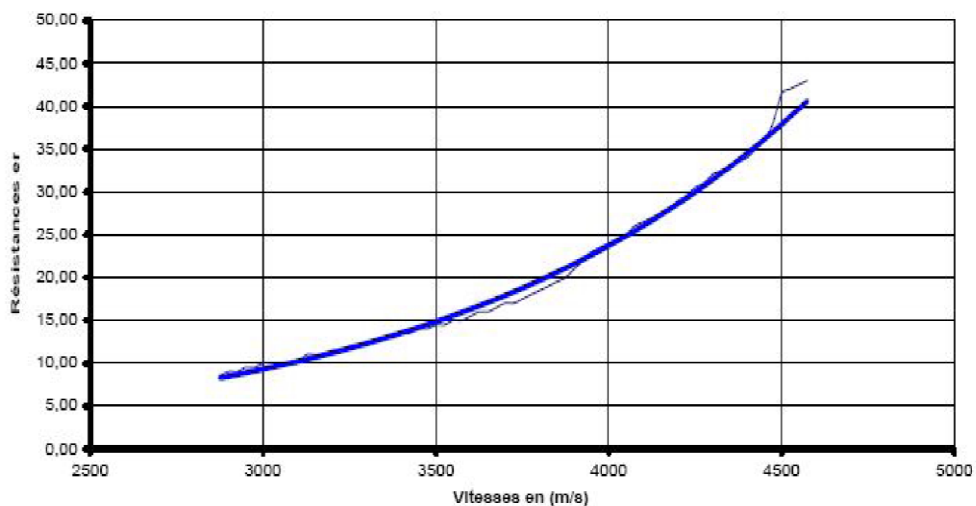


Figure I.16: Courbe RILEM

I .12. 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]

*Chapitr II : Généralité sur le
béton*

II.1.Introduction :

Le béton est un matériau solide défini comme un composite fortement hétérogène.

Il contient plusieurs constituants ayant des propriétés physiques différentes.

Les constituants sont à la base des matières inertes, appelées granulats ou agrégats (gravillons, sables, etc.), et un liant (ciment, bitume, argile) ainsi que des adjuvants qui modifient les propriétés physiques et chimiques du mélange. Dans la construction en génie civil, il existe deux types principaux de béton : le béton « hydraulique » et le béton « bitumineux ». Les bétons bitumineux sont des bétons dont le liant est à base de bitume, tandis que les bétons hydrauliques ont une pâte à base de ciment et d'eau comme liant. Le béton bitumineux constitue généralement la couche supérieure des chaussées. Le béton hydraulique est présent dans presque toutes les constructions existantes en étant renforcé par des barres d'acier.[18]

II.2.Définition de béton :

Le béton frais contient à la base des granulats, du ciment et de l'eau (Figure II.1). Le mélange s'appelle formulation.

Certains adjuvants peuvent être ajoutés en faible quantité afin de donner des propriétés spéciales. Dès que le ciment anhydre est mélangé avec de l'eau, l'hydratation commence et les propriétés du béton ainsi obtenues évoluent dans le temps durant 28 jours.

Le béton évolue par la suite tout au long de sa vie en fonction des conditions mécaniques, chimiques et environnementales.

Nous présentons ci-dessous les constituants principaux dans le mélange du béton et leurs caractéristiques générales. [18]

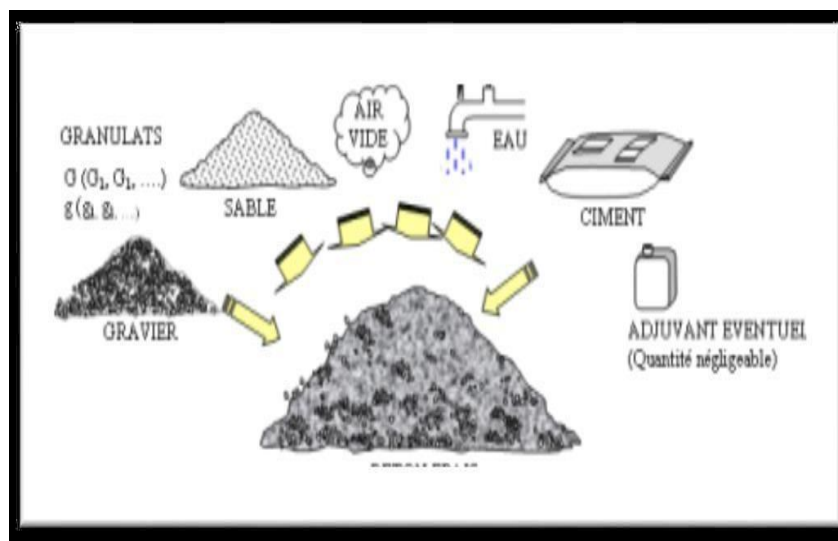


Figure II.1 : Constituants du béton

II.3. Classification des bétons :

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

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

Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$

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

Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$;

Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$. [15]

II.4. Caractéristiques des bétons :

Le béton est un matériau de construction hétérogène, composé principalement de granulats, sable, ciment, eau et quand il est nécessaire des adjuvants. Ces composants forment une masse plastique lorsqu'ils sont mélangés correctement, cette masse peut être coulée ou moulée dans des dimensions et formes voulues.

Une fois durcie cette masse doit supporter des charges et des contraintes en particulier de compression.

Constituants

Le béton désigne un matériau composé de granulats et de sables liés entre eux par une pâte (liant). Dans les bétons "hydrauliques", le liant est une pâte à base de ciment et d'eau.

Certaines additions minérales et adjuvants peuvent être ajoutés en faible quantité afin de donner des propriétés spéciales, comme des fumées de silice ou des super plastifiants.

Lorsque le béton ne contient pas de granulats mais uniquement du sable, du ciment et de l'eau on parle alors de mortier.

Les granulats sont les plus gros constituants du béton, et peuvent provenir de différentes roches inertes [Dreux and Fiesta 1998] (silico-calcaires, basaltes, granites, . . .).

Ils représentent environ 50% en masse du béton complet. Ils peuvent être "roulés" (granulats issus du lit de rivières) et ont alors une forme arrondie, ou "concassés" (issus de carrières) et peuvent présenter des formes angulaires. Leur dimension est déterminée par criblage sur des tamis à mailles carrées. Classiquement, leur granulométrie peut varier de 5 mm à 20 mm voire plus. Les bétons sont caractérisés par le paramètre D-max qui représente le

diamètre des granulats de plus grandes dimensions. Une bonne part de la résistance des bétons est tirée des granulats, et particulièrement des plus gros d'entre eux.

Le sable représente les constituants rocheux dont les dimensions peuvent varier de 100 μm à environ 5 mm. Leur granulométrie est définie de la même manière que pour les plus gros granulats. La dimension des grains de ciment étant de l'ordre de quelques micromètres, le béton présente alors une continuité de dimensions allant du micromètre au centimètre.

Cette continuité assure une bonne compacité du matériau en minimisant les espaces entre les constituants, ce qui améliore les propriétés mécaniques de l'ensemble.

II.5. Les domaines d'emploi du béton :

❖ Le bâtiment :

Le béton tient une place essentielle dans l'urbanisme moderne. Cela semble normale lorsqu'on considère son utilisation dans la construction de logements : pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures ; pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal.

Le béton s'est également largement imposé dans les autres secteurs de la construction :

Bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels.

❖ Les travaux publics :

a) **Les ponts** : Les progrès techniques et, en particulier, l'évolution des caractéristiques du béton, permettent de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.

b) **Les tunnels** : Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est, soit coulé sur place, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués.

Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier.

c) **Les barrages** : Les grands barrages sont le plus souvent en béton permettant des implantations dans les sites les plus difficiles.

d) **Les routes** : La chaussée béton prend une part de plus en plus importante dans les grandes voiries routières et autoroutières, grâce au développement de techniques modernes : béton armé continu, dalle épaisse traitement de surface les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible coût d'entretien.

e) **Autres ouvrages** : Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshore ou centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevées. [16]

II.6. Les composants du béton :

Le béton est un mélange de plusieurs composants : ciment, eau, granulats (sable, gravier) et, le plus souvent, adjuvants (figure II.2) qui constituent un ensemble homogène. Les composants sont très différents : leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants, de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³ ;

Les dimensions de leurs grains s'échelonnent de 0.5 μm (grains les plus fins du ciment) à 25 mm (gravillons). Mais cette liste s'allonge très vite dès que des propriétés particulières sont visées, on utilise alors des fines complémentaires ou additions minérales

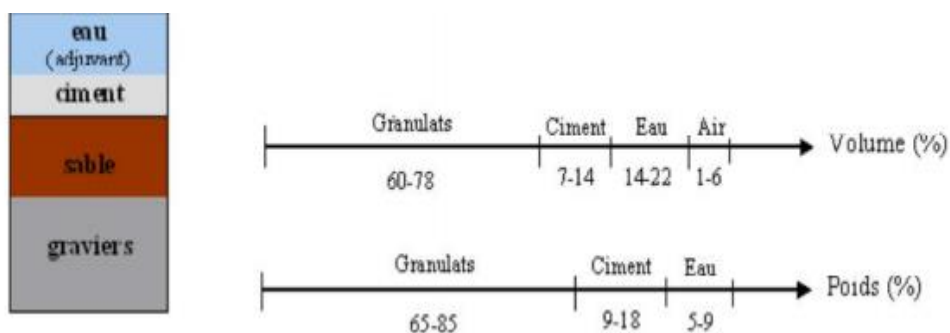


Figure II.2 : Constituants et ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton ordinaire

La confection d'un béton approprié à sa destination consiste, à déterminer et à optimiser la composition granulaire et le dosage des divers constituants. Dans les bétons les plus simples, le squelette granulaire est composé de deux coupures seulement, un sable et un gravier. Le ciment et l'eau de gâchage, dont les proportions relatives en masse sont fixées par le rapport E/C, vont former, avec les adjuvants éventuels, la pâte de ciment qui constituera le liant du béton. Ce rapport E/C joue un rôle primordial durant les étapes de vie du béton, l'eau en excès le rend plus fluide à l'état frais mais diminue les résistances du béton durci. Des additions minérales (cendres volantes, fumées de silice, laitiers, fillers,...) peuvent être rajoutés dans le but de modifier les propriétés du béton.

L'utilisation de ces éléments fins est toujours combinée à l'emploi de super plastifiants pouvant réduire ainsi la quantité d'eau nécessaire à atteindre une fluidité suffisante. Le béton est donc un matériau hétérogène dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes et dans lequel chacun de ces composants joue un rôle bien précis dans le mélange. [20]

II.7. Caractéristiques des granulats:

II.7.1 Caractéristiques géométriques:

II.7.1.1. Désignation des granulats:

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

d: dimension minimale des grains

D: dimension maximale des grains

II.7.1.2. Analyse granulométrique d'un granulat

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

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

II.7.1.3. Courbe granulométrie :

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

II.7.1.4. Coefficient d'Aplatissement A [NFP-18 561 septembre 1990]:

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

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

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

II.7.1.5. Module de finesse d'un sable (Mf) :

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis [10]. Le Tableau II.1 présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse selon la norme prise en compte.

Le Module de finesse d'un sable donne par la formule suivante :

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

- B= trop fin Module finesse 1,80 à 2,20 (augmentation de dosage en eau alors la mise en œuvre facile mais la résistance du béton chute).
- A= préférentiel Module finesse 2,20 à 2,80(La mise en œuvre facile et la résistance élevée).

C = trop grossier Module finesse 2,80 à 3,20 (manque ouvrabilité donc la mise en œuvre est difficile, une bonne résistance mécanique et risque de ségrégation limitent)

II.7.2. Caractéristiques physiques :

II.7.2.1. La Masse volumique apparente NFP 18-554:

Cet essai est régi par la norme NFP 18-554, elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient [DUPAIN. R et al.]

On détermine la masse volumique apparente par la formule suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{Masse des granulats secs}}{\text{Volume du récipient}} = \frac{M1 - M0}{V}$$

Avec :

ρ : Masse volumique absolue

M: Masse des grains solides

V1 : Volume de l'eau ;

V2 : Volume total (grains solide + eau).

a) Principe de l'essai :

- Déterminer le volume du récipient =V
- Noter la masse du récipient propre et vide =M0
- Placer le récipient dans le bac en plastique
- Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassement : utiliser les mains comme entonnoir naturel à 10 cm environ au-dessus de niveau de récipient
- On laisse tomber ce sable, ni trop vite, ni trop lentement. Verser ainsi le corps, ce matériau doit s'effectuer au centre de ce récipient, jusqu'il déborde tout autour en formant un cône.

- Araser à l'aide de la règle métallique, à laquelle on imprime un mouvement horizontal de va et vient, le récipient étant attaqué le long d'une diagonale horizontale
- Noter la masse du récipient rempli= M1
- Vider le granulat dans un bac en plastique et jeter son contenu dans la benne extérieure

II.7.2.2. Masse volumique absolue :

La masse volumique absolue ρ_s 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.

Il ne faut pas confondre ρ_s avec la masse volumique ρ qui est la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Les masses volumiques s'expriment en t/m³, en kg/m³, ou en g/cm³

a) But de l'essai :

Cet essai a pour but de permettre de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une compression de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

b) Conduite de l'essai :

- Remplir une éprouvette graduée avec un volume V1 d'eau.
- Peser un échantillon sec Ms sable (environ 300g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume V2. (Voir la figure suivante):

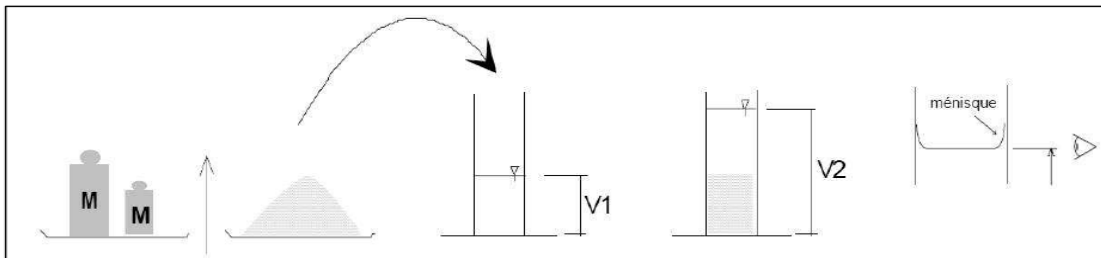


Figure II.3 : Principe de la détermination de la masse volumique absolue

La masse volumique absolue :

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

- ρ : Masse volumique absolue
 M: Masse des grains solides
 V1 : Volume de l'eau ;
 V2 : Volume total (grains solide + eau).

II.7.2.3. Equivalent de sable :

Cet essai permet de mesurer la propreté du sable, il est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. 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.

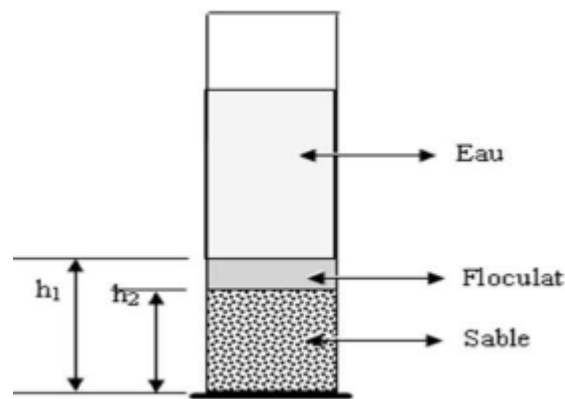


Figure II.4: Essai d'équivalent de sable

a) But de l'essai :

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des mortiers. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

b) 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'élément fin. On agite une quantité de sable dans une solution lavant (eau) dans un récipient tubulaire gradué, selon un processus normalisé, puis on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

On déduit l'équivalent de sable qui, par convention :

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

ES : équivalent de sable .

h1 : hauteur du sable propre et élément fins .

h2 : hauteur du sable propre seulement.

Selon que la hauteur h2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) et ES (équivalent de sable au piston)

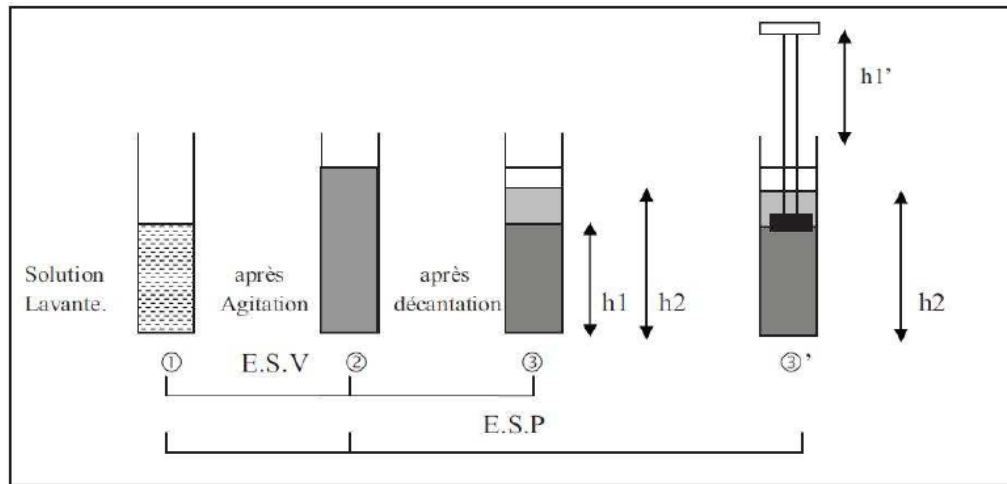


Figure II.5: Principe de détermination d'équivalent de sable

A partir de l'essai équivalent sable ES, il est possible selon le résultat obtenu, de catégoriser le sable selon état de propreté (sa qualité) et donc d'en définir les possibles applications telles que montrées dans le tableau II.1

Tableau II.1 : catégoriser le sable selon état de propreté

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



Photo II.1 : photo Essais Equivalent sable

Et après avoir ces essais, nous obtenons le résultat suivant:

Equivalent de Sable « ES »	66.8	%
----------------------------	------	---

Ouvrabilité :

La masse d'un béton ancien qui recouvre la surface des gros agrégats recyclés et leurs angularités, sont deux facteurs critiques qui influencent considérablement la consistance du béton recyclés. Toute fois, la confection, la mise en œuvre et l'aspect des bétons de recyclage sont très comparables à ceux des bétons ordinaires.

Logiquement, compte tenu de la porosité élevée des granulats recyclés (gros et fins), la consistance du béton à base de ces agrégats (selon le pourcentage de substitution), demande beaucoup plus d'eau de gâchage que celui de béton témoin. Cependant, de nombreux chercheurs ont trouvé qu'une ouvrabilité comparable à celle du béton d'agrégats naturels si uniquement les gros granulats sont recyclés. Par contre, l'introduction de granulats fins recyclés réduit considérablement l'ouvrabilité.

II.7.3. Caractéristiques mécaniques:

II.7.3.1. Résistance au choc : essai los Angeles:

a) **Principe de l'essai** : L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulet normalisés dans la machine Los Angeles.

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



Appareil los Angeles matière avant l'essai matière après l'essai

Photo II.2: Essais Los Angeles

TableauII.2 : Résultats d'Essais de Los Angeles

L'origine du matériau	Classe de gravier	Le nombre de boules de fer	Poids (g)		LA %
			M Masse Échantillon de test	M'Le rejet du bloc sec Tamis 1,6mm	
15/25	25 – 10	11	5000	3550	29.00%
8/15	14 – 10	11	5000	3500	30.00%
8/15	10 – 6.3	9	5000	3570	28.60%
3/8	6.3 – 4	7	5000	3545	29.10%

II.7.3.2. Essai Micro Deval:

a) 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.

b) Domaines d'application de l'essai micro deval:

Présent et s'applique les granulats utilisés dans les travaux publics.

c) Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produits dans la machine Deval par les frottements réciproques et les chocs modérés des granulats.

d) Équipements nécessaires :

La machine micro-Deval (photo **II.3**) comporte :

A- Un à quatre cylindres creux, fermés à une extrémité, ayant un diamètre intérieur de 200 mm une longueur utile de 154 mm les gravillons compris entre 4 - 14 mm , 2 mm - 400 et 25-50 mm.

Chaque cylindre permet d'effectuer un essai

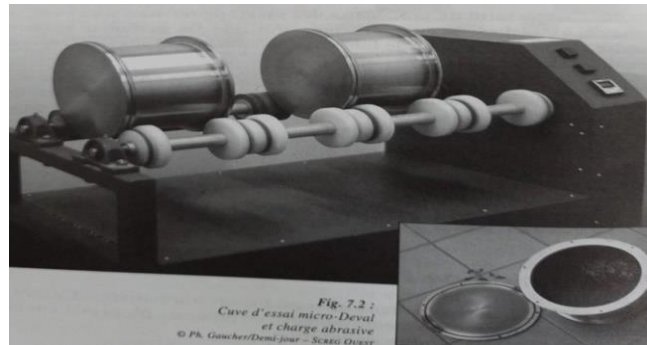


Photo II.3: photo Appareil micro-Deval

II.7.3.3. coefficient micro-Deval:

La résistance à l'usure du granulat est appelée, par définition, **coefficient micro-Deval "MD"** qui s'exprime par le rapport de la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai "m", à la masse du matériau soumis à l'essai "M" multiplié par 100.

$$MD = \frac{m}{M} \cdot 100$$

Remarque : La masse de la fraction du matériau passant après l'essai au tamis de 1.6 mm « m »:

m (g) = 500- m_1 pour les gravillons compris entre 4 et 14 mm .

m (g) = 10000- m_1 pour les gravillons compris entre 25 et 50 mm.

Origine de l'article	Classe de gravier	La masse des boules de fer	Le poids		MD %
			M La masse de l'échantillon d'essai	m Tamis à bloc de rjet sec 1.6 mm	
15/25	10 - 14	5000	500	385	%23
8/15	6.3 - 10	4000	500	369	20.8%
3/8	6.3 - 4	2000	500	399	20.20%

II.7.3.4. Coefficient d'absorption d'eau :

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

Le coefficient absorption est défini comme le rapport d'augmentation de la masse d'un échantillon imbibé par l'eau, la masse sèche de cet échantillon. et le coefficient d'absorption est obtenu par :

$$Ab = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$$

Ms: masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

Ma: masse de l'échantillon imbibé.

Les résultats présentés dans les tableaux suivants :

Tableau II .3: Coefficient d'absorption d'eau Ab (%)

Type de sable	sable	Gravier 3/8	Gravier 8/15	Gravier 15/25
Coefficient d'absorption d'eau Ab (%)	1.64	0.50	0.40	0.20

II .7.3.5. Coefficient d'aplatissement (la norme NF P 18 -561):

a) But de l'essai: La mesure du coefficient d'aplatissement (CA) caractérise la forme des granulats.

Le CA s'obtient en faisant une double analyse granulométrique par voie sèche, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- une série de tamis normalisés à mailles carrées,
- une série de tamis (grille) à fentes parallèles de largeurs normalisées.

Plus les gravillons sont plats, moins leur mise en place dans la route ou dans les bétons est facile et plus ils sont fragiles. Il est donc important de contrôler le coefficient d'aplatissement de chaque granulométrie

b) Principe de l'essai : La forme d'un élément est définie par trois dimensions principales

- Longueur L = le plus grand écartement d'un couple de plans tangents parallèles.

- Épaisseur E = le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles.
- Grosseur G = dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.

Le coefficient d'aplatissement A d'un lot de granulats soumis à l'essai est, par définition, le pourcentage

$$\frac{G}{E} > 1.58$$

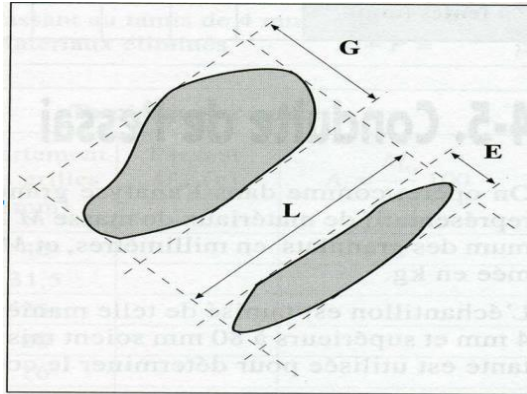


Figure II.6 : Forme granulaire

II .7.3.6. Propreté superficielle:

a) **But de l'essai** : Le but de cette expérience est d'identifier les impuretés attachées au gravier puis d'en déduire leur aptitude dans le béton

b) **Principe de l'essai** : Cela se fait en prenant une quantité de celui-ci à l'état sec et en le lavant bien avec de l'eau, puis en le mettant à l'intérieur du sèche-linge pour sécher et à la fin nous pesons

La pureté est calculée par la relation suivante :

$$IA = \frac{M1 - M2}{M2} \times 100$$

avec :

IA : Pourcentage d'impureté b (%).

M1 : Masse agrégée avant lavage b (g).

M2 : Masse de gravier après lavage et séchage b (g).

II.8. Rôle des différents éléments constituant le béton :

II.8.1. Le ciment (C E M II /B –L 42 ,5N) :

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 et Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



Photo II: Ciment utilisé dans cette études

Tableau II.4: Caractéristiques techniques du ciment

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 NAComposition Pot	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
Résistance à la compression	valeur
2 jours (MPa)	23 – 26
28 jours (MPa)	45 – 50

II.8.1.1. Caractéristiques techniques :

II.8.1.2. Demains 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.

II.8.1.3. Différents types de ciments courants :

- Ciment Portland Ordinaire (**BC**) ou CPA en Algérie : ils sont composés de 95 % de clinker et 5 % de constituants secondaires. Ils sont utilisés pour la confection de béton armé ou précontraint.
- Ciment Portland composé (CPJ) : ils sont composés de 65 % de clinker et de 35% de constituants secondaires ; Ils sont utilisés pour les travaux courants en béton armé.
- Ciment de Haut fourneau (CHF) : ils sont composés de 5 à 64 % de clinker et de 36 à 80 % de laitier. Ils sont utilisés pour les fondations ; les travaux souterrains ou milieux agressifs
- Ciment pouzzolanique (CPZ) : ils sont composés de 45 à 89 % de clinker et de 10 à 55 % de pouzzolane, cendres volantes et fumée de silice. Ils sont utilisés pour le béton armé dans les travaux maritimes.
- Ciment au laitier et aux cendres (CLC) : ils sont composés de 20 à 64 % de clinker, 18 à 50 % de laitier et 18 à 50 % de cendres volantes. Ils sont utilisés pour le béton en milieu agressif.

Dans notre travaille on utilisant les ciments **BC (Biskra)**.

II.8.2. Les granulats:

II.8.2.1. Sable :

II.8.2.1.1. Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80 μ m et 05 μ m ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80 μ m n'excède pas 30%

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm.les fines.

II.8.2.1.2. Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Ils comportent, à des degrés divers une décomposition sur place, des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien.

❖ Remarques

Dans cette étude nous avons utilisé un sable de la région de DJAMAA de classe 0/3. Après l'essai de l'équivalent de sable, nous avons constaté qu'il s'agissait bien des sables propres donc ils conviennent très bien pour la composition de nos mortiers.

II.8.2.1.3. Caractéristique de Sable de DJAMAA:

Tableau II.5 : Caractéristiques physiques du sable DJAMAA

Caractéristique	Résultats	Unité
Masse Volumique apparente	1.56	[gr/cm ³]
Masse Volumique absolue	2.50	[gr/cm ³]
Equivalent de Sable(NF EN 933-8)	91.22	[%]

II.8.2.1.4. Analyse granulométrique d'un granulat (sable et gravies):

L'essai du gradient consiste à séparer les différentes tailles d'agrégats les uns des autres, c'est-à-dire à déterminer la distribution granulométrique des grains d'agrégats, et cela en utilisant l'analyse de tamisage par un groupe de tamis disposés en fonction de la taille de leurs ouvertures et placés au-dessus de les uns des autres afin que le plus grand d'entre eux soit mesuré vers le haut Cette expérience nous permet de calculer les différentes proportions des dimensions des grains La composante de l'échantillon étudié.

Cette essai est définie par la spécification NFP 18-560

Dimensions des tamis utilisés (mm)

Nous étudierons quatre échantillons d'agrégats, qui sont les suivants:

Premier échantillon: sable ordinaire

Le deuxième échantillon: cailloux 3/8

Le troisième échantillon: cailloux 8/15.

Le quatrième échantillon: cailloux 15/25.

La règle stipule que le poids utilisé dans l'échantillon répond à la relation suivante:

$$600 D \max \leq M \leq 200 D \max$$

Où :

M: poids de l'échantillon en grammes (g)

D max: le diamètre maximum des particules est exprimé en millimètres (mm).

Ainsi, les masses d'échantillons à tester, dont il faut tenir compte, sont les suivantes:

- Sable ordinaire (0/3) 1000g M 3000g
- Gravier 3/8 1600 g M 4800 g
- Gravier 8/15 3000 g M 9000 g
- Gravier 15/25 5000 g M 15000 g



Photos II.5 : Les Tamis utilisés d'analyse granulaire

Nous allons utiliser dans cette étude 1,5 kg de sable, qui est la valeur pratique, et les résultats étaient conformes aux tableaux ci-dessous :

Tableau II.6 : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NFP 18-560

analyse granulométrique par tamisage					
matériau : sable 0/3					
masse sèche : 1500 gr					
N°ordre	Tamis en, mm	Refus	Refus cumulés en, g	Refus cumulés en, %	Tamisas cumulés en, %
01	6.30	61	61	4.06	95.94
02	5	30	91	6.06	93.94
03	2.5	108	199	13.26	86.74
04	1.25	46	245	16.33	83.67
05	0.630	162	407	27.13	72.87

06	0.315	521	928	61.86	38.14
07	0.160	434	1362	90.8	9.92
08	0.08	114	1476	98.4	1.6

II.8.2.2. Les Gravier (8/15.3/8.15/25)Ain Touta:

II.8.2.2.1. Les Gravier(8/15):

Les graviers utilisés : gravier 8/15Ain Touta

Tableau II.7: caractéristiques physiques de gravier 8/15

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1770	g/cm ³
Masse volumique absolue	2650	g/cm ³
Propreté superficielle	0.73	%
coefficient d'Aplatissement	14.75	%

Tableau II.8 : analyse granulométrique 8/15 par tamisage selon la norme NFP 18-560

analyse granulométrique par tamisage matériaux: graviers 8/15 masse sèche : 1500 gr					
N°ordre	Tamis en , mm	Refus	Refus cumulés en, g	Refus cumulés en, %	Tamisas cumulés en , %
01	20	0	0	0.00	100.00
02	16	50	50	3.33	96.67
03	12.5	420	470	31.33	68.67
04	10	382	852	56.80	43.20
05	8	374	1226	81.73	18.27
06	6.3	225	1451	96.73	3.27
07	5	34	1485	99.00	1.00
08	4	12	1497	99.80	0.20

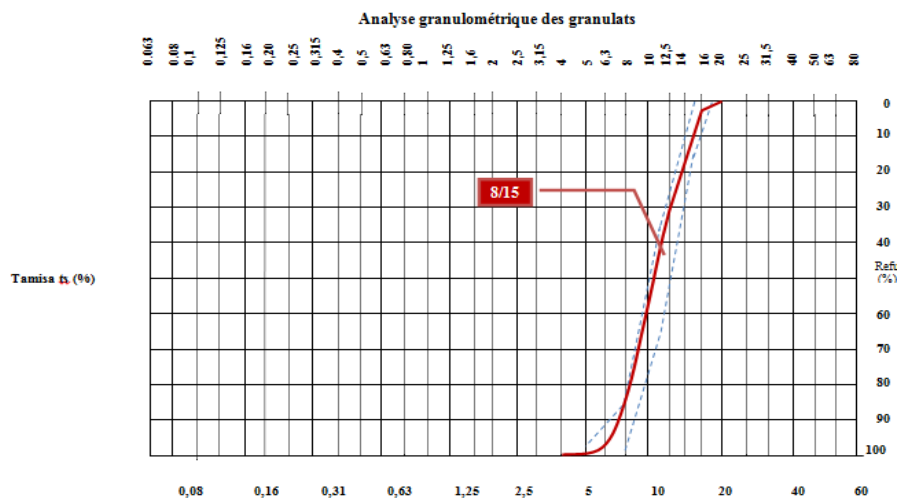


Figure II.7: La courbe granulométrique de graviers 8/15

II.8.2.2.2. Les Gravier 3/8:

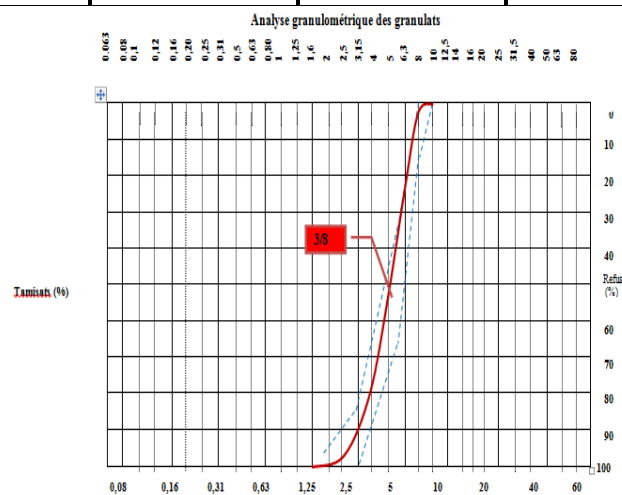
Les graviers utilisés : gravier 3/8Ain Touta :3

Tableau II.4.8: caractéristiques physiques de gravier 3/8

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1750	g/cm ³
Masse volumique absolue	2630	g/cm ³
Propreté superficielle	0.87	%
coefficient d'Aplatissement	18.24	%

Tableau II.9 : analyse granulométrique 3/8 par tamisage selon la norme NFP 18-560

analyse granulométrique par tamisage matériau : graviers 3/8 masse sèche : 1500 g					
N°ordre	Tamis en , mm	Refus	Refus cumulés en, g	Refus cumulés en, %	Tamisas cumulés en , %
01	10	5	5	0.33	99.67
02	8	25	30	2.00	98.00
03	6.3	275	305	20.33	79.67
04	5	470	775	51.67	48.33
05	4	415	1190	79.33	20.67
06	2	258	1448	96.53	3.47
07	1	28	1476	98.40	1.60
08	0.5	10	1486	99.07	0.93

**Figure II.8:** La courbe granulométrique de graviers 3/8

II.8.2.2.3. Les Gravier 15/25:

Les graviers utilisés : gravier 15/25 Ain Touta :

Tableau II.10 : caractéristiques physiques de gravier 15/25

Caractéristiques	Résultats	Unité
Masse volumique apparent	1760	g/cm ³
Masse volumique absolue	2660	g/cm ³
Propreté superficielle	0.60	%
coefficient d'Aplatissement	10,42	%

Tableau II.11: analyse granulométrique par tamisage selon la norme NFP 18-560

analyse granulométrique par tamisage matériau : graviers 15/25 masse sèche : 1500 g					
N°ordre	Tamis en , mm	Refus	Refus cumulés en, g	Refus cumulés en, %	Tamisas cumulés en , %
01	25	0	0	0.00	100.00
02	20	660	660	44.00	56.00
03	16	690	1350	90.00	10.00
04	12.5	130	1480	98.67	1.33
05	10	18	1498	99.87	0.13

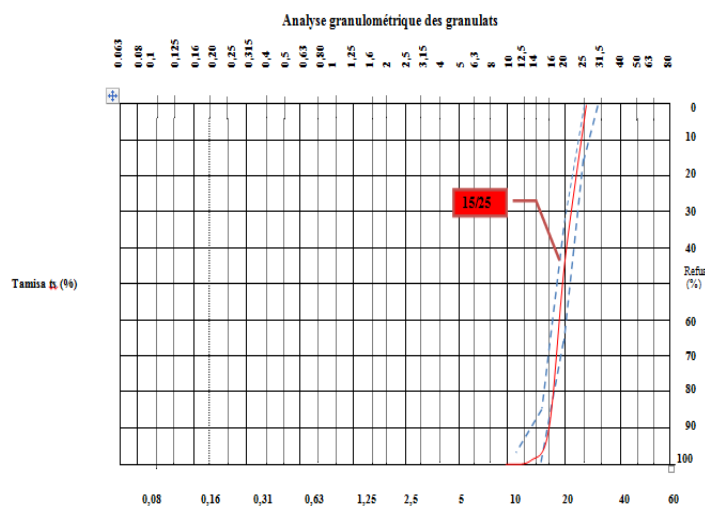


Figure II.9: La courbe granulométrique de graviers 15/25

II. 8.3. L'eau :

L'eau est un des ingrédients essentiels du béton, elle intervient à toutes les étapes de la vie du matériau par ses propriétés physico-chimiques et mécaniques. L'eau introduite dans le béton lors de sa fabrication va remplir deux fonctions essentielles : une fonction physique qui confère au béton frais des propriétés rhéologiques permettant son écoulement et son moulage et une fonction chimique qui contribue au développement de la réaction d'hydratation. L'aspect fondamental du dosage en eau reste celui de la recherche d'un optimum sur un objectif contradictoire : une meilleure résistance obtenue.

En réduisant la quantité d'eau en augmentant la résistance et pour une amélioration de l'ouvrabilité en augmentant la teneur en eau. C'est lors de la recherche de cet optimum que les adjuvants peuvent jouer un rôle.

Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ces performances : résistance à la compression, durabilité.

Nous avons utilisé l'eau de robinet, qui est une eau potable du réseau de la ville d'El oued.

Il ne contient aucune impureté nuisible donc il est approprié pour la fabrication du Béton.

La masse volumique prise en compte pour les calculs de formulation est la valeur conventionnelle de 1000 kg/m³.

II.9. La Formulation des bétons :

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.9.1. Les différentes méthodes de composition des bétons :

- Méthodes de BOLOMY

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

Pour le béton, nous suivrons la méthode Dreux-Goriss

❖ **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.

❖ **DONNEES DE BASE :**

Composition : béton ternaire, composé d'un sable 0/3, d'un gravier 15/25, gravier 8/15 et gravier 3/8 concassés ou son plus grand diamètre est $D = 25$ mm, deux type de ciment portes les notifications suivantes :

- Ciment BISKRIA CRS-42.5, conforme à la norme algérienne (NA 442), sa résistance nominale supérieure ou égale 42,5 MPA.
- Ciment BISKRIA CPJ-42.5, conforme à la norme algérienne NA443, sa résistance nominale supérieure ou égale 42,5 MPA.

❖ **ANALYSES DES MATERIAUX :**

Sable 0/3 : le sable analysé est un sable fin rougeâtre provenant de la région (DJAMAA) assez propre (E.S = 66,8 %). son module de finesse = 2,15. Sa densité apparente est de 1800kg/m³et sa densité absolue est de 2600 kg/m³

Ce sable convenant parfaitement pour les bétons de qualité.

Les graviers 15/25, 8/15 et 3/8 provenant de la région *AIN TOUTA*. La dureté de la roche est exprimée par un LOS-Angeles de moyenne de 17,28 %.

1. GRAVIER 15/25 : Sa densité apparente est de 1760 kg/m³et sa densité absolue est de 2660 kg/m³.

2. GRAVIER 8/15 : Sa densité apparente est de 1770 kg/m³ et sa densité absolue est de 2650 kg/m³.

3. GRAVIER 3/8 : Sa densité apparente est de 1750 kg/m³et sa densité absolue est de 2630 kg/m³.

❖ **DOSAGE EN CIMENT :**

On a fait deux (02) études de composition de béton pour des dosages en ciment différents:

$C = 400 \text{ kg/m}^3$, $C = 370 \text{ kg/m}^3$, $C = 350 \text{ kg/m}^3$ $C = 250 \text{ kg/m}^3$ on Pour $C = 350 \text{ kg/m}^3$

❖ **DOSAGE EN EAU :**

En appliquant la formule suivante :

- Résistance à 28 jours f_{c28} en bar = 250 bar
- Classe vraie à 28 jours $\sigma_{28} = 350$ bar
- $M_v =$ réelle en $\text{g/cm}^3 = 3.1$

Résistance moyenne à 28 jour : Calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 250 \times 1.15 = 287.5$

$\text{bar}/\sigma_{28} = G/C (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :

$$287.5 = 0,5$$

$$350 (C/E - 0,5) \longrightarrow 287.5 = 175 C/E - 87.5$$

$$375 = 175 C/E, \text{ D'où } C/E = 2.14 \longrightarrow E = 350/2.14 \longrightarrow E = 164 \text{ l.}$$

❖ **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 $D > 20 \text{ mm}$

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 : $Y = 50 - D$

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

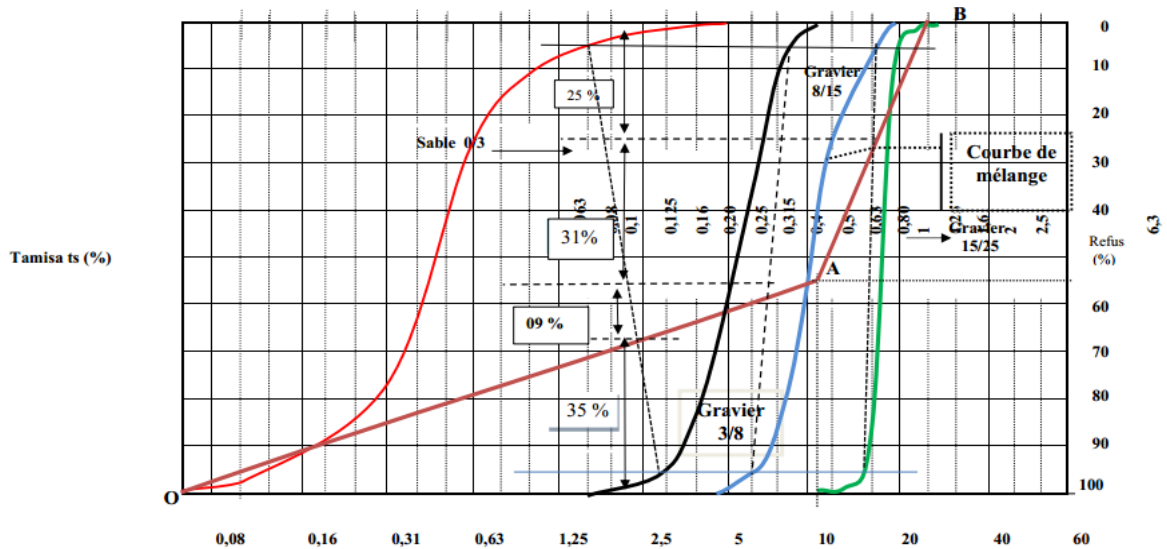
K : terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats, et du module de finesse du sable (voir tableau).

Tableau 11 : de valeur du terme correcteur K.

Vibration	Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats	Concassée	Concassée	Concassée

400	+2	0	-2
370	+3	+1	-1
350	+4	+2	0
250	+8	+6	+4

❖ C = 350 kg/m³



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 :

- Sable 0/335 %.
- Gravier 8/15.....31 %.
- gravier 3/8 09 %.
- Gravier 15/2525 %.

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

Volume absolue des composants solides : 1000 x 0,836 = 836 l.

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

Volume absolu des granulats : 836 -113 = 723 l.

En déduit :

Masse sable	$0,35 \times 723 \times 2,600 = 658 \text{ kg/m}^3$.
Masse gravier 8/15	$0,31 \times 723 \times 2,650 = 594 \text{ kg/m}^3$.
Masse gravier 3/8	$0,09 \times 723 \times 2,630 = 171 \text{ kg/m}^3$.
Masse gravier 15/25	$0,25 \times 723 \times 2,660 = 481 \text{ kg/m}^3$.
Masse ciment	$= 350 \text{ kg/m}^3$.

Masse d'eau	= 164 kg/m ³
Poids totale	2418 kg/m ³

La résistance à la compression simple des éprouvettes cubiques (15x15x15) cm de 28 jours en moyenne.

Pour C= 250 kg/m³

❖ DOSAGE EN EAU :

En appliquant la formule suivante :

- Résistance à 28 jours f_{c28} en bar = 170 bar
- Classe vraie à 28 jours $\sigma_{28} = 250$ bar
- $M_v =$ réelle en g/cm³ = 3.1
- Résistance moyenne à 28 jour : calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 170 \times 1.15 = 195.5$ bar

$\sigma'_{28} = G \sigma'_c (C/E - 0,5)$ avec $G=0,5$ d'où :

$$195.5 = 0,5 \times 250 (C/E - 0,5) \Rightarrow 195.5 = 125 C/E - 62.5$$

$$258 = 125 C/E, \text{ D'où } C/E = 2.06 \Rightarrow E = 250/2.06 \Rightarrow E = 122 \text{ l.}$$

❖ DOSAGE EN GRANULATS :

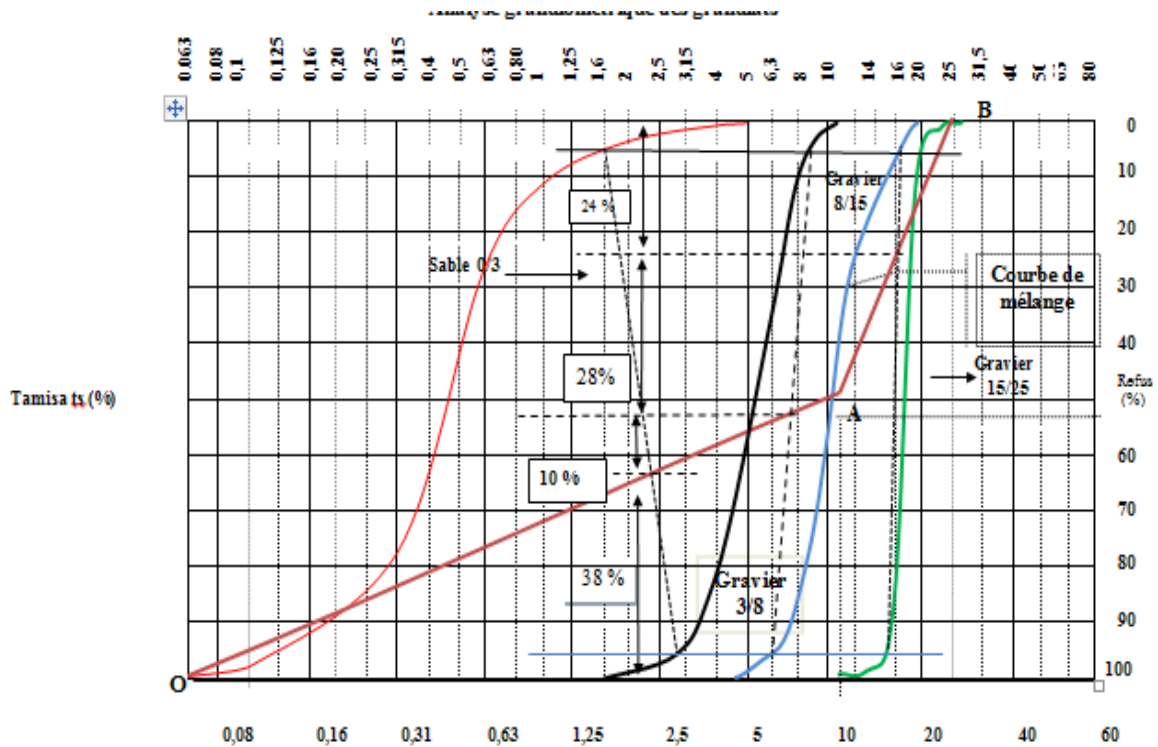
On trace d'abord la de référence OAB, tel que l'abscisse du point A est située au milieu du (segment graviers) limités par le module 38 (tamis 5) et le module correspondant à D, soit

$X = 11$ mm, son ordonnée est :

$$Y = 50 - D$$

+ K : $D=25$ mm $K= +2$ d'où $Y = 47$ %.

❖ C = 250 kg/m³



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 :

- Sable 0/338 %.
- Gravier 8/15.....28 %.
- gravier 3/8 10 %.
- Gravier 15/2524 %.

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

Volume absolue des composants solides : $1000 \times 0,878 = 878 \text{ l}$.

A déduire volume absolu du ciment : $250 / 3,1 = 81 \text{ l}$.

Volume absolu des granulats : $878 - 81 = 797 \text{ l}$.

En déduit :

- | | | |
|---------------------|---|---|
| Masse sable | → | $0,38 \times 797 \times 2,600 = 788 \text{ kg/m}^3$. |
| Masse gravier 8/15 | → | $0,28 \times 797 \times 2,650 = 592 \text{ kg/m}^3$. |
| Masse gravier 3/8 | → | $0,10 \times 797 \times 2,630 = 210 \text{ kg/m}^3$. |
| Masse gravier 15/25 | → | $0,24 \times 797 \times 2,660 = 509 \text{ kg/m}^3$. |
| Masse ciment | → | $= 250 \text{ kg/m}^3$. |

Masse d'eau \longrightarrow = 122 kg/m³

Poids totale \longrightarrow 2474 kg/m³

La résistance à la compression simple des éprouvettes cubiques (15x15x15) cm de 28 jours est moyenne.

• Pour C= 350 kg/m³

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

- Ciment : 350 kg
- Eau : 164 L
- Sable 0/3 : 658 kg/m³ ou bien 658/1.850 \longrightarrow V_{app} = 355 L/m³
- Gravier 3/8 : 171 kg/m³ ou bien 171/1.530 \longrightarrow V_{app} = 112 L/m³
- Gravier 8/15 : 594 kg/m³ ou bien 594/1.510 \longrightarrow V_{app} = 393 L/m³
- Gravier 15/25 : 481 kg/m³ ou bien 481/1.630 \longrightarrow V_{app} = 295 L/m³

Pour un gâchage (1/7 des constituants) :

- Ciment : 50 kg (1 sac)
- Eau : 23 L
- Sable : 50 L
- Gravier 3/8 : 16 L
- Gravier 8/15 : 56 L
- Gravier 15/25 : 42 L
- Pour C= 250 kg/m³

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

- **Ciment : 250 kg**
 - Eau : 122 L
 - Sable 0/3 : 788 kg/m³ ou bien 788/1.850 V_{app} = 426 L/m³
 - Gravier 3/8 : 210 kg/m³ ou bien 210/1.530 V_{app} = 138 L/m³
 - Gravier 8/15 : 592 kg/m³ ou bien 592/1.510 V_{app} = 392 L/m³
 - Gravier 15/25 : 509 kg/m³ ou bien 509/1.630 V_{app} = 313 L/m³
- **Pour un gâchage (1/5 des constituants) :**
 - Ciment : 50 kg (1 sac)
 - Eau : 24.4 L
 - Sable : 86 L
 - Gravier 3/8 : 28 L
 - Gravier 8/15 : 79 L

- Gravier 15/25 : 63 L

II.9.2. Essais réalisés pour le béton :

II.9.2.1. 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 supérieure du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage comme la montre la figure II-11.

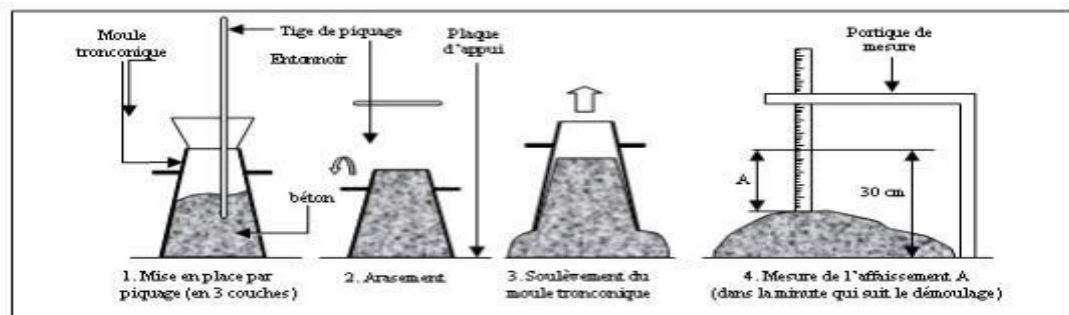


Figure II.10 : Mesure de l'affaissement au cône d'Abrams.

II.9.2.2. Formulation et conservation des éprouvettes :

Pour préparation du béton, nous prenons des cubes de béton de la même fonte utilisée afin d'assurer la résistance du béton à la compression requise, qui est conçue pour l'élément en béton à couler. Les spécifications standard diffèrent et le code de chaque pays pour déterminer la taille de les cubes (Parfois c'est 15 * 15 * 15 ou 10 * 10 * 10) ou le nombre de ces cubes (parfois c'est 4 ou 6 et parfois 3)

Nous avons utilisé dans notre expérience la taille du cube (15 * 15 * 15) cm et le nombre de 24 (après 28 jours)

Peser les quantités requises des matériaux que nous utiliserons (ciment et gravier 3/8. 8/15. 15/25 et sable et eau)

– Nous prenons 6 cubes de béton à raison d'un cube tous les 100 m³ et les dimensions du cube sont de 15 * 15 * 15 cm et le moule en cube de fer est bien peint avant d'y mettre le béton puis nous mélangeons et mettons le béton à l'intérieur le cube sur trois couches à raison d'environ 5 cm par couche et il doit être compacté à raison de 25 coups par couche et le

nombre de couches est de 3 couches, le cours doit être bien compacté pour que le cours pénètre dans les couches pour améliorer le cube.

– Nous laissons l'échantillon à l'air libre et dans des conditions ($T = 25^\circ$), puis retirons le moule après 24 heures



Photo II.6 : les différences compositions de béton

Après avoir effectué le processus de coulée, nous avons laissé les échantillons pendant 28 jours, puis nous avons mis ces échantillons à différentes températures de 10, 25, 70, 20°C. Il a été maintenu pendant 24 heures, puis nous avons mesuré la vitesse d'alignement des ultrasons et déterminé la résistance à la compression.

II .9.2.3. Essai d'auscultation sonique (Essai Ultrasonique) (NF EN 12504-4):

a) Objectif de l'essai : Le but de l'essai est d'apprécier la qualité du béton d'un ouvrage.

b) Principe de l'essai : Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton ; cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton a un module d'élasticité plus important, donc a priori une résistance plus importante.

On produit un train d'impulsion de vibration au moyen d'un émetteur appliqué sur l'une des faces de l'élément à contrôler. Après avoir franchi une longueur de parcours (L) dans le béton, l'impulsion de vibration est convertie en un signal électrique à l'aide d'un récepteur et la base de temps électronique permet de mesurer le temps de propagation des ondes ultrasonores.

c) Equipement nécessaire : L'appareil comprend les accessoires suivants :

- Un générateur d'impulsions électriques.
- Paire de transducteurs,

- Un amplificateur.
- Un dispositif électronique de mesure de temps permettant de mesurer la durée écoulée entre le départ d'une impulsion générée par le transducteur - émetteur et son arrivée au transducteur – récepteur.
- Un barreau de calibrage est fourni pour permettre d'obtenir une ligne de référence du mesurage de la vitesse



Société de Contrôle et de Vérification

CERTIFICAT D'ETALONNAGE

N° 794.MET.ZM.20

Délivré à : SARL NIZOLB.CONTROLE
(El Oued)

Date de l'étalonnage : 23 Juin 2020
Prochain étalonnage : 23 Juin 2021

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 : $(27,9 \pm 1)^\circ\text{C}$
Humidité relative : $(35,5 \pm 5)\% \text{ HR}$
Pression atmosphérique : Non contrôlée

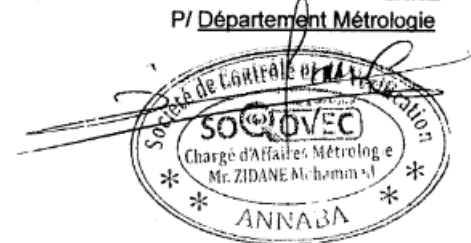
EQUIPEMENT ETALON UTILISE

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		



La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme d'un fac-similé photocopie intégral.

Adresse : Centre d'Affaires "LE PALMIER" 12, Rue Nadjai Nouara - Annaba.
Tél./Fax : +213 (0) 38 417 999 - Météo : 0651 975 019.

Figure II.11: fiche technique d'Essai ultrasonique

d)Préparation de l'éprouvette : ² Pour qu 'il y ait un contact parfait entre le béton et les transducteurs.

Il est recommandé d'employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l 'appareil est bien appliqué contre la surface à tester. Les matériaux d'interposition sont la Vaseline. Lorsque la surface de béton est très rugueuse, il est nécessaire de poncer et d'égaliser la partie de la surface où le transducteur sera fixé.

Dans notre travail on utilise les l'éprouvettes 15x15x15 cm, près de un caractéristiques physique et mécanique tes augmente et compression de béton obtenue.



Photo II.7 : Essai ultrasonique

e)Expression des résultats : La vitesse de propagation du son à travers le béton est déterminée par la formule suivante :

$$V = \frac{L}{T}$$

Ou :

V : est la vitesse de propagation du son, en m/s .

L : est la longueur de parcours, en mm .

T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur, en μ s

Vitesse du son en m/s	Appréciation de la qualité
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
< 2000	Très mauvais

Tableau II.12: Classification du béton d'après la vitesse du son

II .9.2.4. Essai de résistance à la compression (R_c) (NF EN 12390 - 3) :

a) But :

L'essai de compression étudie les propriétés fondamentales des matériaux et de détermine les caractéristiques mécanique, notamment l'allongement élastique (en %), la résistance du rupture par traction (en MPa), la limite apparente d'élasticité (en MPa), le module de Young (en MPa) et le coefficient de striction (en %).

B) Montage experimental :

Si le dispositif de compression n'est pas déjà monté sur l'appareil, il faut l'installer dans le domaine de compression de la machine d'essais entre traverse inférieure et traverse fixe.

- Enlever des objets installés éventuels.
- Tourner la roue à main jusqu'à la butée et pousser le bâti d'essai complètement en bas.
- Insérer la plaque de compression dans la traverse inférieure. .
- Si l'on tourne la roue à main, le poinçon de compression et la plaque de compression doivent se toucher.
- Sinon : dévisser la broche un peu du cylindre hydraulique.
- Mesurer la longueur d'essai L_0 de l'échantillon entre les deux surfaces aux extrémités. Déterminer le diamètre resp. la longueur du bord.
- Placer l'échantillon au milieu de la plaque de compression.
- Baisser le poinçon de compression avec précaution sur l'échantillon en tournant la roue à main.
- Pré contraindre l'échantillon légèrement avec la roue à main (max 0,5kN) pour diminuer l'influence de jeux.
- Mettre à zéro l'aiguille entraînée de l'affichage de force

- Serrer le comparateur à cadran (resp. le capteur de déplacement pour l'unité d'acquisition de données WP 300.20) contre la contreplaqué avec une distance de mesure d'env. 8...10mm et le fixer par le moyen de la vis moletée



Photo II-8 : les différentes étapes de la compression de béton

Essai de résistance à la compression (R_c) (NF EN 12390 – 3). Les essais de compression ont été réalisés au laboratoire conformément à la norme européenne NF EN12390 – 3, par application d'un effort. La résistance du béton est donnée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

Avec :

F : la charge maximale à la rupture de l'éprouvette (en Newton).

A_c : l'aire de la section chargée de l'éprouvette (en mm²)



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 2020
Prochain étalonnage : 04 Juillet 2021

INSTRUMENT ETALONNE :

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

N° de Série : **06031460**

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

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 :

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

EQUIPEMENT ETALON UTILISE

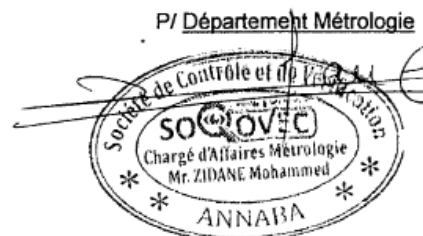
CAPTEUR DE FORCE	INDICATEUR
Marque : AEP	Marque : AEP
Type : CLF 2000 KN	Type : MP 10
N° de Série : 137102	N° de Série : 6384-2013-07
N° du Certificat : 13-0570-01	

(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	400,766	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



La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-simile photographique (sig.).

Adresse : Centre d'Affaires "LE PALMIER" 12, Rue Nadjai Nouara - Annaba.
 Tél./Fax : +213 (0) 38 417 999 - Mobile : 0661 326 018
 E-mail : contact@socovec.dz

Figure II.11: fiche technique de compression

➤ Résultats:

RC Réf MPa	C°	Jour	Date de coulage	Date d'essai	Résultats Ultrason	Résistance par ultrason	Résistance par écrasement Cub(15x15x15)
25	- 10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V= 5017m/s T=29.9 µs	26.4 Mpa	34.8Mpa
	- 10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	v= 5068m/s T=29.6 µs	26.7 Mpa	35.0Mpa
	- 10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V= 5017m/s T=29.9 µs	26.4 Mpa	34.8Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V= 5051m/s T=29.7 µs	27.1 Mpa	32.1Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V= 5282m/s T=28.4 µs	27.8 Mpa	33.4Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V= 4934m/s T=30.4 µs	26.0 Mpa	31.5Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4732m/s T=31.7 µs	25.1 Mpa	31.6Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4630m/s T=32.4 µs	24.7 Mpa	30.8Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4600m/s T=32.6 µs	24.6 Mpa	30.3Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4983m/s T=30.1 µs	26.3 Mpa	31.2Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4808m/s T=31.2 µs	25.4 Mpa	29.5Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V= 4885m/s T=30.7 µs	25.8 Mpa	30.9Mpa

RC Réf MPa	C°	Jour	Date de coulage	Date d'essai	Résultats Ultrason	Résistance par ultrason	Résistance par écrasement Cub(15x15x15)
35	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 5051m/s T=29.7 µs	27.1Mpa	37.3Mpa
	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4777m/s T=31.4 µs	25.3Mpa	36.4Mpa
	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4673m/s T=32.1 µs	24.9Mpa	35.4Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 5112m/s T=29.4 µs	26.9Mpa	38.1Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4902m/s T=31.6 µs	25.9Mpa	35.7Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4854m/s T=30.9 µs	25.7Mpa	35.5Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4854m/s T=30.9 µs	25.7Mpa	35.5Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4425m/s T=33.9 µs	23.9Mpa	31.5Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4625m/s T=32.4 µs	24.7Mpa	32.7Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4777m/s T=31.4 µs	25.3Mpa	31.7Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4747m/s T=31.6 µs	25.2Mpa	30.9Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4800m/s T=31.2µs	25.4Mpa	35.5Mpa

Deuxieme partie

Partie pratique

***Chapitr III : Analyse et
discussion des résultats***

III.1. Introduction

Dans les deux chapitres précédents, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés et les essais réalisés ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Dans ce chapitre nous avons présenté la variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement pour deux résistances caractéristiques (25 MPa et 35 MPa).

Les différents résultats obtenus à l'issue des tests effectués sont présentés et illustrés dans le chapitre suivant.

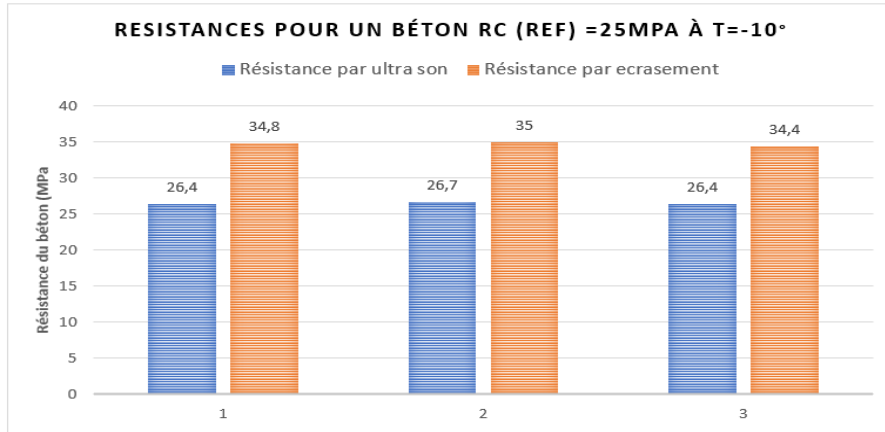
RC Réf MPa	C°	Jour	Date de coulage	Date d'essai	Résultats Ultrason	Résistance par ultrason	Résistance par écrasement Cylind (16/32)
25	-10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V=5017m/s T=29.9 µs	26.4 Mpa	29.5Mpa
	-10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	v=5068m/s T=29.6 µs	26.7 Mpa	29.7Mpa
	-10°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V=5017m/s T=29.9 µs	26.4 Mpa	29.5Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V=5051m/s T=29.7 µs	27.1 Mpa	27.2Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V=5282m/s T=28.4 µs	27.8 Mpa	28.3Mpa
	25°	28 J	17-04-2021	14-05-2021	V=4934m/s T=30.4 µs	26.0 Mpa	26.7Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4732m/s T=31.7	25.1 Mpa	26.8Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4630m/s T=32.4 µs	24.7 Mpa	26.1Mpa
	70°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4600m/s T=32.6 µs	24.6 Mpa	25.7Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4983m/s T=30.1 µs	26.3 Mpa	26.5Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4808m/s T=31.2 µs	25.4 Mpa	25.0Mpa
	200°	28 J	21-04-2021	18-05-2021	V=4885m/s T=30.7 µs	25.8 Mpa	26.2Mpa

RC Réf MPa	C°	Jour	Date de coulage	Date d'essai	Résultats Ultrason	Résistance par ultrason	Résistance par écrasement Cylind (16/32)
35	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 5051m/s T=29.7 µs	27.1Mpa	31.7Mpa
	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4777m/s T=31.4 µs	25.3Mpa	30.9Mpa
	- 10°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4673m/s T=32.1 µs	24.9Mpa	30.0Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 5112m/s T=29.4 µs	26.9Mpa	32.3Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4902m/s T=31.6 µs	25.9Mpa	30.3Mpa
	25°	28 J	13-04-2021	10-05-2021	V= 4854m/s T=30.9 µs	25.7Mpa	30.1Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4854m/s T=30.9	25.7Mpa	30.1Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4425m/s T=33.9 µs	23.9Mpa	26.7Mpa
	70°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4625m/s T=32.4 µs	24.7Mpa	27.7Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4777m/s T=31.4 µs	25.3Mpa	26.9Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4747m/s T=31.6 µs	25.2Mpa	26.2Mpa
	200°	28 J	19-04-2021	16-05-2021	V= 4800m/s T=31.2 µs	25.4Mpa	30.1Mpa

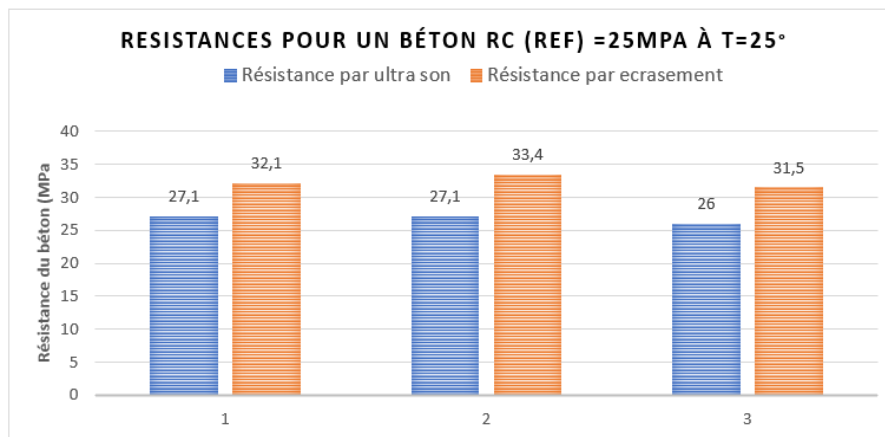
III.2. Courbes des Résistances :

III.2.1 Courbes des Résistances pour Le Béton ($R_{c \text{ Ref}} : 25 \text{ Mpa}$) :

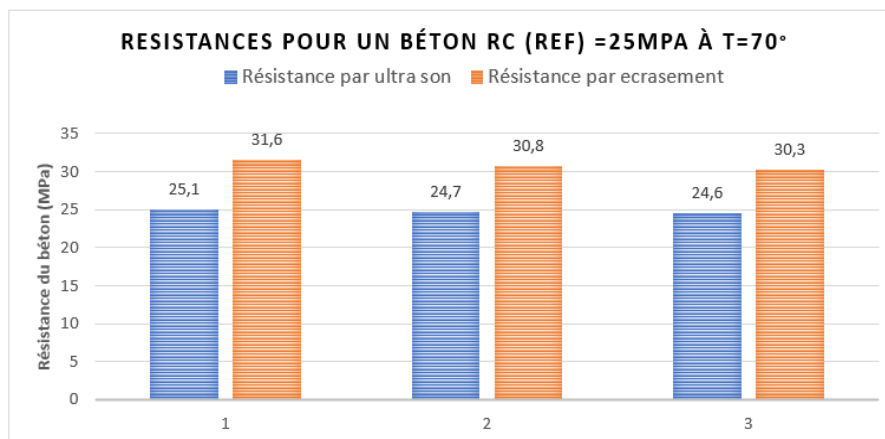
a) Béton a Température ($T = -10^{\circ}\text{c}$) :



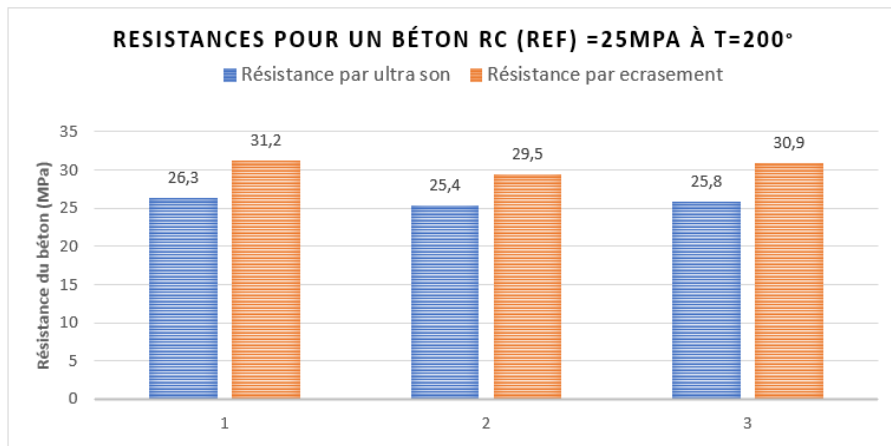
b) Béton a Température ($T = 25^{\circ}\text{c}$) :



c) Béton a Température ($T = 70^{\circ}\text{c}$) :

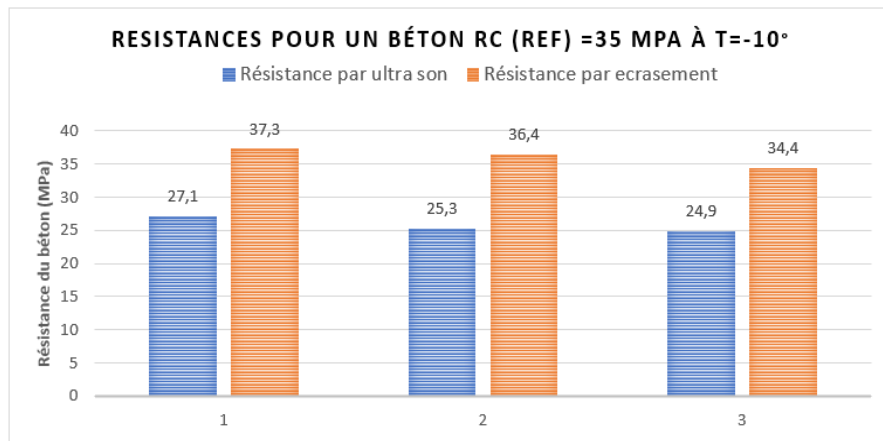


d) Béton a Température (T = 200°c) :

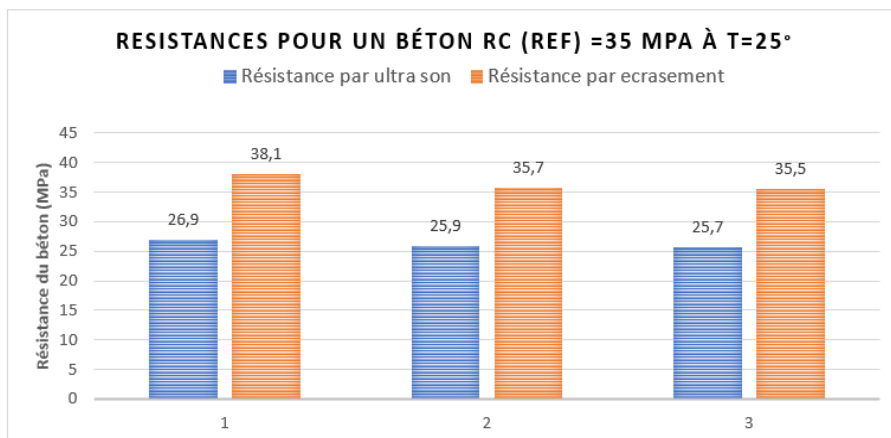


III.2.2. Courbes des Résistances pour Le Béton (Rc_{Ref} : 35 Mpa) :

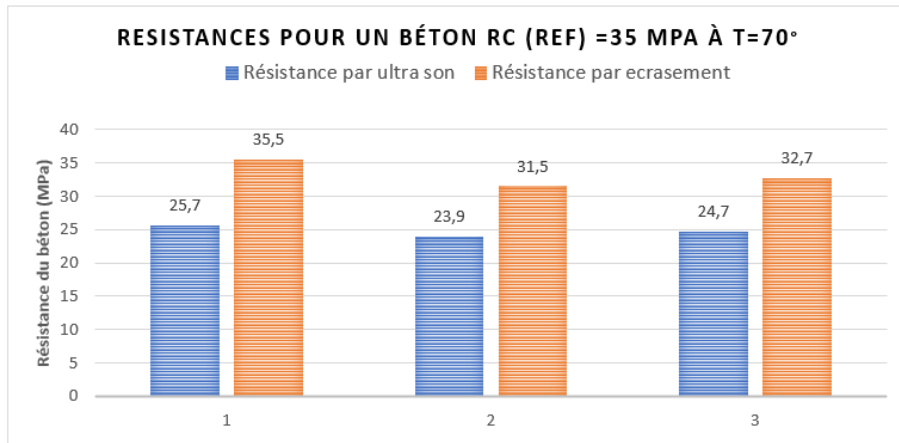
a) Béton a Température (T = - 10°c) :



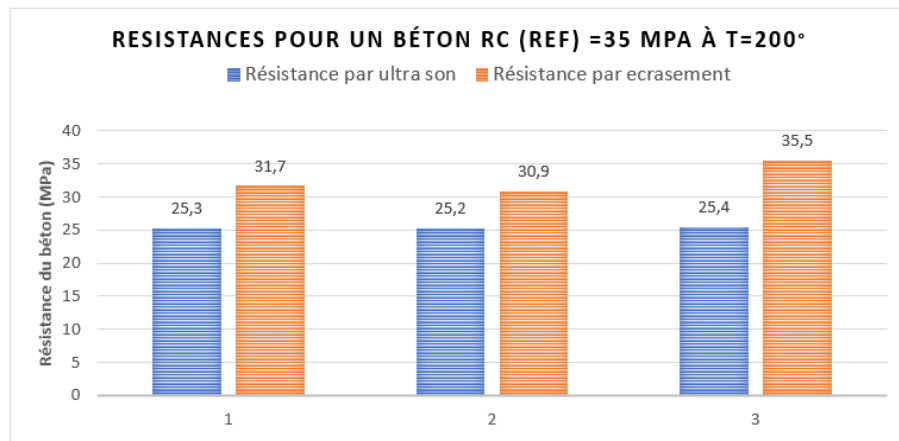
a) Béton a Température (T = 25°c) :



b) Béton a Température (T = 70°c) :

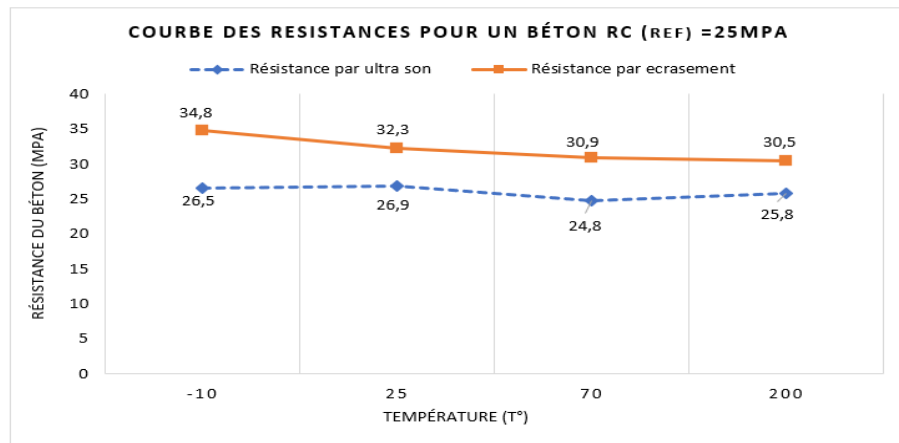


c) Béton a Température (T = 200°c) :

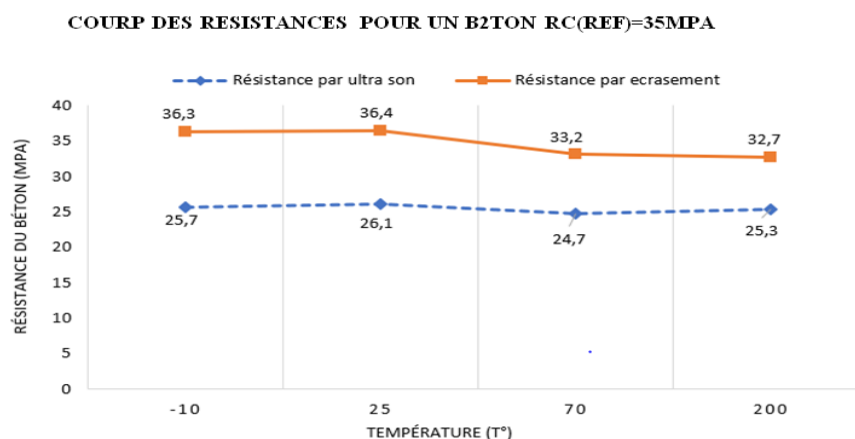


III.3. Courbes de Comparaison des Résistances (Ecrasement / Ultrason) :

III.3.1. Courbes de Comparaison pour Le Béton (Rc Ref : 25 Mpa) :



III.3.2. Courbes de Comparaison pour Le Béton ($R_{c, Ref} : 35 \text{ Mpa}$) :



III.4. Discussion et interprétation des résultats :

III.4.1. Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement :

Les figures 1 et 2 représentent la variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement pour deux résistances caractéristiques (25 MPa et 35 MPa). L'objectif de ces mesures est d'obtenir le maximum d'informations sur la qualité du béton soumis à une élévation de température et sur la fiabilité des deux techniques.

La courbe de la variation de la résistance à la compression par ultrason montre que l'augmentation de la température n'as pas un effet remarquable sur la résistance.

Ce résultat peut être expliqué par l'absence des fissures dans la matrice cimentaire vu que la technique ultrason est une technique non destructive. Par contre la courbe de la variation de la résistance par écrasement indique que la résistance diminue avec la température. Ceci est expliqué par l'apparition des microfissures et puis les macro-fissures dans la matrice cimentaire et l'augmentation de la porosité à cause de la déshydratation de la pâte de ciment. En effet, l'augmentation de la température provoque un écaillage qui est la rupture de la surface d'un élément en béton soumis à une augmentation de température. Ces résultats affirment que la méthode par ultrason est bien adaptée

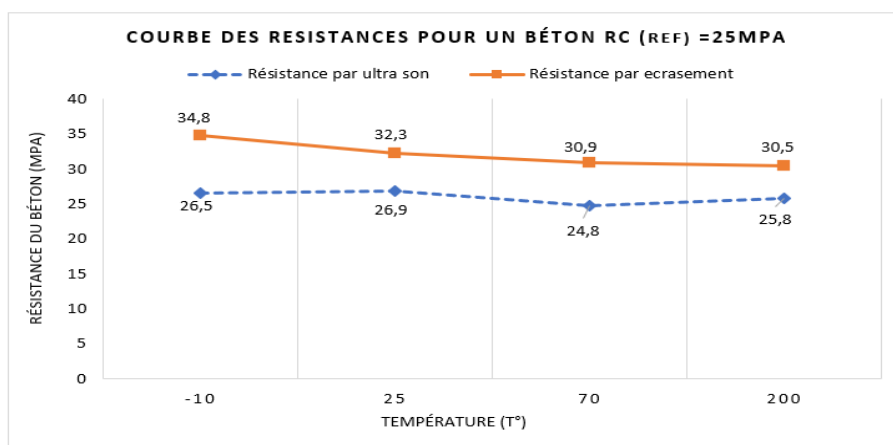


Figure III.1: Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement ($R_C = 25\text{MPa}$)

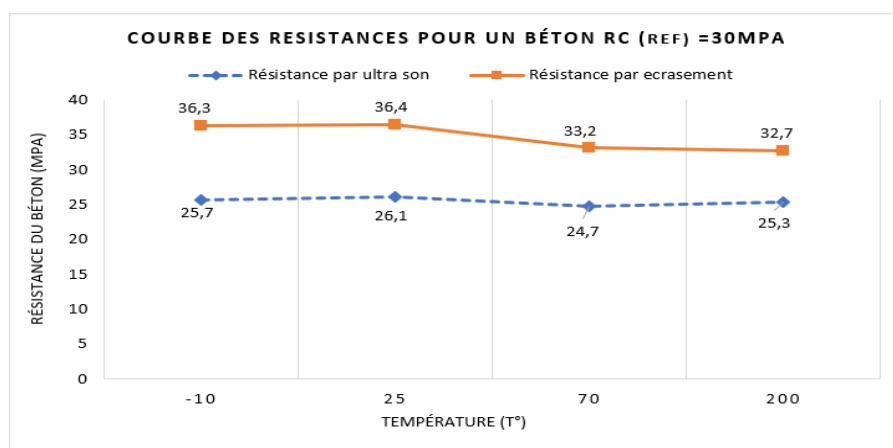


Figure III.2: Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement ($R_C = 35\text{MPa}$)

III.4.2 Variation de la résistance du béton par ultrason et par encrassement pour différentes températures :

Les figures 3 et 4 représentent la variation de la résistance des trois échantillons du béton par ultrason et par encrassement pour différentes températures à deux résistances caractéristiques (25 MPa et 35 MPa). Les résultats montrent que la résistance à la compression est légèrement plus élevée pour des températures basses avec la méthode ultrason.

En effet, les ondes se déplacent plus vite à travers un vide rempli d'eau qu'à travers un vide rempli d'air. Plus que la température augmente plus que l'eau dans le béton s'évapore et laisse des vides remplis d'air. Par conséquent, l'onde se déplace plus vite.

Dans la littérature plusieurs modèles reliant la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance mécanique en compression ont été établis pour estimer la résistance mécanique

d'un matériau. Ces modèles sont propres au matériau et sont affectés par plusieurs facteurs : la taille des éprouvettes, la quantité des granulats, le type de dosage en ciment, et la teneur en humidité.

La plupart des lois issues de la littérature sont de type exponentiel, polynomial ou puissance indiquant ainsi une augmentation de la résistance mécanique pour les fortes vitesses ultrasonores plus importante que pour les faibles vitesses. Ce qui explique les résultats trouvés.

Pour la méthode par écrasement, on remarque que la résistance à la compression diminue avec la température. Ceci est expliqué par l'apparition des microfissures et puis les macro-fissures dans la matrice cimentaire et l'augmentation de la porosité à cause de la déshydratation de la pâte de ciment comme nous avons indiqué dans les figures 1 et 2

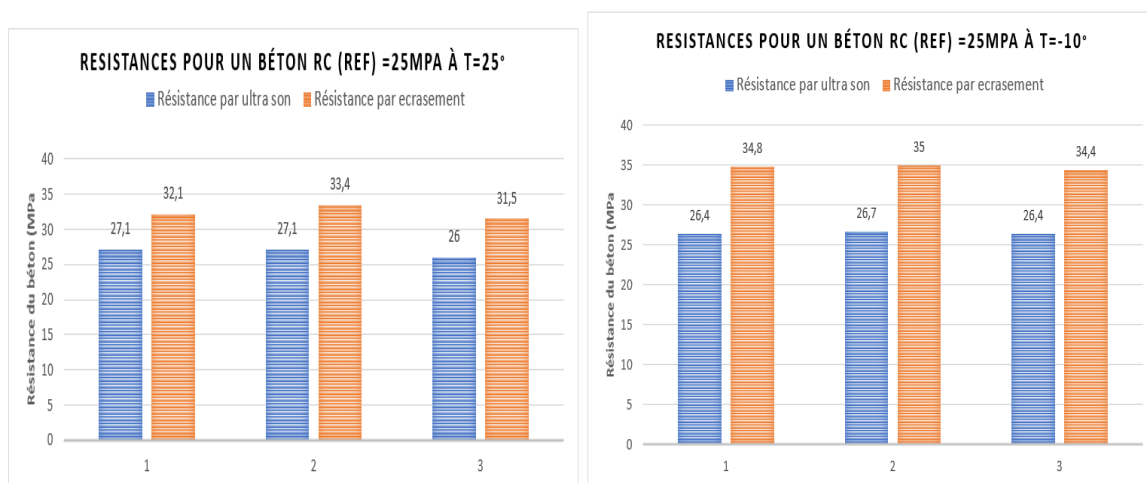
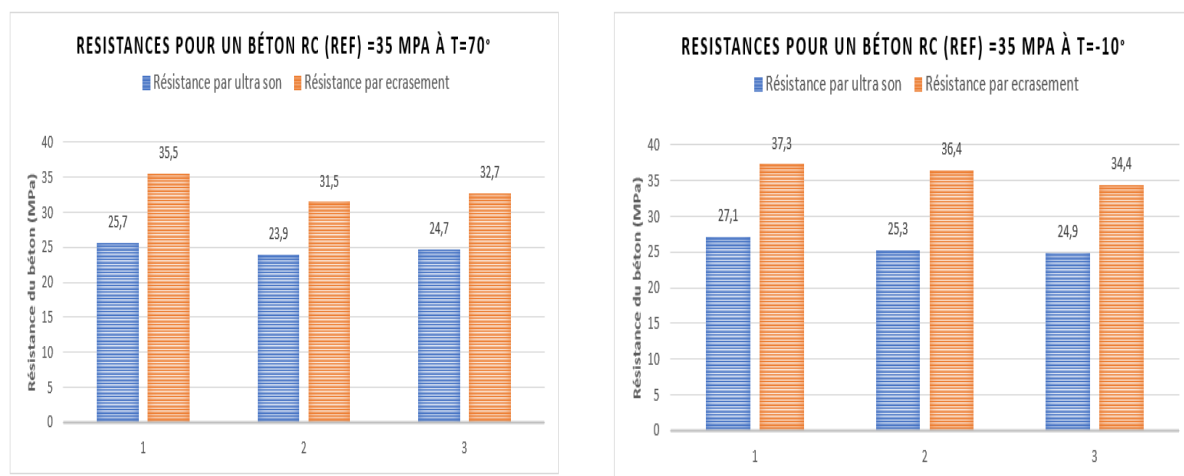


Figure III. 3: Variation de la résistance du béton par ultrason et par écrasement pour différentes températures ($R_c = 25\text{MPa}$)



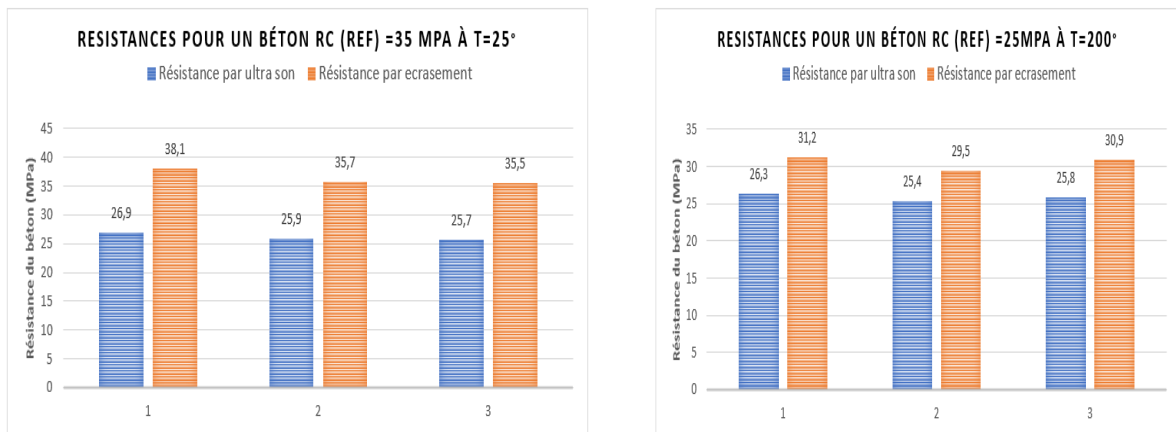


Figure III. 4: Variation de la résistance du béton par ultrason et par écrasement pour différentes températures ($R_C= 35\text{MPa}$)

Conclusion

L'objectif de ces mesures (la variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement) est d'obtenir le maximum d'informations sur la qualité du béton soumis à une élévation de température et sur la fiabilité des deux techniques.

La variation de la résistance à la compression par ultrason montre que l'augmentation de la température n'as pas un effet remarquable sur la résistance. Ce résultat peut être expliqué par l'absence des fissures dans la matrice cimentaire vu que la technique ultrason est une technique non destructive. Par contre la courbe de la variation de la résistance par écrasement indique que la résistance diminue avec la température. Ceci est expliqué par l'apparition des microfissures et puis les macro-fissures dans la matrice cimentaire et l'augmentation de la porosité à cause de la déshydratation de la pâte de ciment. En effet, l'augmentation de la température provoque un écaillage qui est la rupture de la surface d'un élément en béton soumis à une augmentation de température. Ces résultats affirment que la méthode par ultrason est bien adaptée à ce type de recherche.

Dans la littérature plusieurs modèles reliant la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance mécanique en compression ont été établis pour estimer la résistance mécanique d'un matériau. Ces modèles sont propres au matériau et sont affectés par plusieurs facteurs :

La taille des éprouvettes, la quantité des granulats, le type de dosage en ciment, et la teneur en humidité. La plupart des lois issues de la littérature sont de type exponentiel, polynomial ou puissance indiquant ainsi une augmentation de la résistance mécanique pour les fortes vitesses ultrasonores plus importante que pour les faibles vitesses.

Références bibliographiques

- [01] L'Essais non destructifs du béton
- [02] DJEDID T, Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques, Thèse de Doctorat, Université Mohamed khaidr Biska, Jan 2020.
- [03] Baron. J et Souterey. R. « Le béton hydraulique connaissance et pratique presses »1982.
- [04] EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DU BETON SUR SITE : APPLICATION DE LA METHODE COMBINEE
- [05] Neville.A.M : propriété des bétons traduit par le CRIB, Ed. Eyrolles, 1998
- [06] <http://mdevmd.accesmad.org/mediatek/mod/page/view.php>
- [07] Baron.J et Sauterey.R, 1982. Le béton hydraulique Connaissances etPratique, Presses de l'école des ponts et chaussées, sous la direction de Jacques Baron et Raymond Sauterey
- [08] Chanvillard. G, 1999. Connaissances générales sur le matériau béton, Ed. Aléas
- [09] CIM béton, 2000. Construire avec les bétons, Ed du Moniteur.
- [10] Dreux.G et Festa.J.1998. Nouveaux guides du béton et de ces constituants,
- [11] BaCaRa Projet Français, 1996.Le béton compacté au rouleau, Presses de l'Ecole-,
- [12] Aitcin. P.C, 2001 Ed. Eyrolles. Bétons haute performance.
- [13] Bresson.J,1980. Prévision des résistances, facteur de maturité, temps équivalent, Journée d'étude ITBTP du 15 novembre 1979 ; durcissement accéléré des bétons, Paris, AnnInst.Tech.Batim.Trav. publics, 1980,387, 106-111.
- [14] Poitrat.E ,2004 : Biocarburants, Techniques de l'Ingénieur, traité Génie énergétique, BE 8550.
- [15] Mémoire de fin d'étude : Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton.
- [16] LAFARGE, Documents de LAFARGE, France.
- [17] Mémoire de Fin D'études : Etude comparative de l'utilisation du sable de dune en substitution du sable derivière : cas des mortiers normalisés
- [18] Mémoire de Fin D'études : Evaluation du béton d'enrobage par acoustique non linéaire et ondes de surface
- [19] MEMOIRE DE MASTER CONCEPTION D'UN BETON DESTINE AUX OUVRAGES HYDROTECHNIQUES

- [20] CHANVILLARD G., d'ALOIA L. (1994) ; Prévission de la résistance en compression au jeune âge du béton, Application de la méthode du temps équivalent, Bull. Liaison Lab. Ponts et Ch., 1994, 193, 39-51
- [21] Mémoire de Fin D'études : Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers.
- [22] SPA BISKRIA CIMENT FICHE TECHNIQUECEM II/A-L 42.5 R/www.biskriaciment-dz.com
- [23] Mémoire de Fin D'études : CONCEPTION D'UN BETON DESTINE AUX OUVRAGES HYDROTECHNIQUES
- [24] Mémoire de Fin D'études : Effet de la variation de fines issues d'un sable silico calcaire sur les performances physico-mécaniques du béton
- [25] R. Redjei, 2004 « Mécanique des matériaux » cours DEUA 3, Département Génie Civil, Université de Annaba.