



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET  
POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR -EL OUED  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT D'HYDRAULIQUE ET DE GENIE CIVIL

## MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

Master en Génie Civil

Filière Génie Civil:

Spécialité: Matériaux en Génie Civil

# Effet des Températures Elevées et des Ajouts Minéraux sur L'évaluation des Qualités Mécaniques du Béton par Essais Destructifs et par Ultrason.

### Présenté Par

- ABDALLAOUI AHMED SAID
- MEKKAOUI FARES
- AMOURI BACHIR
- BENINE AMOR

Devant le jury composé de :

Président : Mani Mouhammed

Dr, Université d'El Oued.

Examinatrice : Bedaddi Laid

Dr, Université d'El Oued.

Promoteur : Masmoudi Fouzi

Dr, Université d'El Oued.

Année universitaire 2021/2022



# Remerciement

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

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

Nous remercions aussi les membres de Laboratoire NEZOLAB et tous les professeurs du Département de génie électrique.



## ***DEDICACE***

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes chers parents à qui je dois tout ce que j'ai acquis dans la vie, et  
que Dieu nous protégé et nous accorde longue vie à tous*

*Mes frères et mes sœurs, à qui je souhaite beaucoup de réussites  
dans la vie*

*Toute ma famille.*

*Toute mes amis*



## **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 شاملة 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.

**Sommaire**

Titre	Page
<b>remerciement</b>	-
<b>Dédicace</b>	-
<b>Résumé</b>	
<b>Sommaire</b>	
<b>Liste de figure</b>	
<b>Liste de tableaux</b>	
<b>Introduction Générale</b>	
<b>Chapitre 1: Les Essais du béton ED/END</b>	
<b>1. Définition du béton :</b>	04
<b>2. Histoire de béton :</b>	04
<b>3. Avantages de béton :</b>	05
<b>4. Les méthodes de contrôle de qualité</b>	05
<b>5. Méthodes destructives :</b>	06
<b>6. Méthodes non destructives :</b>	07
<b>6.1. LES ESSAIS NON DESTRUCTIVES :</b>	08
<b>6.2. les domaines d'application :</b>	09
<b>6.3. le But :</b>	10
<b>6.4. Avantages de ces méthodes :</b>	10
<b>6.5. les Méthodes D'essais:</b>	10
<b>7. La production des ultrasons :</b>	26
<b>8. Les propriétés des ultrasons :</b>	27
<b>9. Le Mode Opérateur :</b>	27
<b>9.1 Travaux préparatoires :</b>	27
<b>9.2 Points de mesures :</b>	27

## sommaire

---

<b>9.3 Distances minimales entre points de mesures :</b>	27
<b>9.4 Étalonnage de l'appareil :</b>	27
<b>10 Manières de mesure :</b>	28
<b>10.1 Mesure en transparence (directe) :</b>	28
<b>10.2 Mesures en surface (indirecte) :</b>	28
<b>10.3 Mesures semi directe :</b>	29
<b>11 .Interprétation Des Résultats De Mesure Aux Ultrasons :</b>	29
<b>12 . Corrélacion entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton:</b>	30
<b>13 . Autres interprétations possibles:</b>	31
<b>14. Références normatives :</b>	32
<b>15. Les avantages :</b>	32
<b>16. Les inconvénients :</b>	33
<b>17. La formulation des bétons :</b>	34
<b>18. L'effet de la forme des échantillons sur la résistance à la pression :</b>	35
<b>Chapitre 02: Etude expérimentale</b>	
<b>les essai :</b>	40
<b>Analyse granulométrique des granulats:</b>	40
<b>Définition :</b>	40
<b>but:</b>	40
<b>Module de finesse (Mf) :</b>	43
<b>Équivalent de sable : [NF P18 -598]</b>	44
<b>Masse volumique apparente : [ NF P 18-554]</b>	48
<b>Masse volumique absolue : [ NF P 18-555]</b>	50
<b>Coefficient d'absorption d'eau : [NT 21-04-1984 , NF 18-554-1990]</b>	51

## sommaire

---

<b>Coefficient d'aplatissement [NF P 18-561 ] :</b>	53
<b>Essai Micro Deval [ NF P 18-572] :</b>	56
<b>Essai los Angeles [N.F. P18.573] :</b>	58
<b>Propreté superficielle de gravier :</b>	60
<b>L'eau de gâchage :</b>	61
<b>ciment utilisé :</b>	62
<b>Formulations du béton :</b>	63
<b>II-4-1- Méthode de Dreux-Gorisse :</b>	64
<b>Essai d'affaissement au cône d'Abrams :</b>	69
<b>Chapitre 03 :</b>	
<b>III-1 Résultat Pour La Formulation:</b>	78
<b>III-1-1- Analyse des résultats:</b>	81
<b>III-1-2- Analyse des résultats</b>	85
<b>Conclusion générale</b>	86
<b>Références Bibliographiques</b>	88

**LISTE DE Tableaux**

Tab II.1	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / Sable djamaa Échantillon de masse: 1000 g	<b>41</b>
Tab II.2	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (3/8) touta Échantillon de masse: 3000 g	<b>42</b>
Tab II.3	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (8/15) touta Échantillon de masse: 5000 g	<b>42</b>
Tab II.4	analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (15/25) touta Échantillon de masse: 5000 g	<b>43</b>
Tab II.5	Nature et qualité du sable en fonction de l'ES [DAD 19]	<b>48</b>
Tab II.6	résultats Coefficient d'absorption d'eau .	<b>52</b>
Tab II.7	Correspondance entre classes granulaires et largeurs des grilles à fentes	<b>54</b>
Tab II.8	Classe granulaires, poids d'échantillons et boulets équivalent .	<b>57</b>
Tab II.9	Valeurs approximatives du coefficient granulaire	<b>64</b>
Tab II.10	<u>la correction sur le dosage en eau.</u>	<b>65</b>
Tab II.11	de valeur du terme correcteur K .	<b>67</b>
Tab II.12	La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton en cinq groupes	<b>71</b>
Tab II.19	Formulation (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)	<b>75</b>
Tab II.20	Formulation (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25) dans haut température	<b>76</b>

**Chapiter III :**

Tab III.1	Formulation / Conversion par rapport à 16*32 cm Résultat Ultrason vitesse et BAR	<b>78</b>
Tab III.2	Formulation (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)	<b>79</b>
Tab III.3	Formulation / Conversion par rapport à 16*32 cm Résultat Ultrason vitesse et BAR dans haut température	<b>82</b>
Tab III.4	Formulation (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25) dans haut température	<b>83</b>

## sommaire

---

### Liste des Figures

Fig I.1	constituants de béton	04
Fig I.2	Sclerometre	11
Fig I.3	: Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)	13
Fig I.4	Appareil de mesure	18
Fig I.5	Appareil d'auscultation sonique 58-E48 avec oscilloscope	20
Fig I.6	Schématisation d'un milieu élastique	21
Fig I.7	Catégorie d'onde acoustique	21
Fig I.8	La longueur d'onde $\lambda$	22
Fig I.9	Onde longitudinale [Corapcioglu 1996]	23
Fig I.10	Onde transversale [Corapcioglu 1996]	24
Fig I.11	Onde de Rayleigh	24
Fig I.12	Ondes de Lamb	25
Fig I.13	Onde de plane	26
Fig I.14	onde sphérique	26
Fig I.15	Mesures en transparence (directe)	28
Fig I.16	Mesures en surface	29
Fig I.17	Mesures semi direct	29
Fig I.18	Courbes de calibrages	31
Fig I.19	Courbe RILEM	32
Fig I.20	les différentes formes d'échantillon de béton utilisés pour le compactage	36
Fig I.21	valeurs indicatives du facteur de correction pour résultat de résistance à la pression selon le code égyptien 2001	37
Fig I.22	Moule cylindrique	38
Fig II.1	appareil de tamisage / tamis	40
Fig II.2	matériel pour ES	45
Fig II.3	essai d'équivalent du sable	47
Fig II.4	Mesure de la masse volumique apparent	49
Fig II.5	essai Masse volumique absolue	50
Fig II.6	forme d'un granulat .	53
Fig II.7	Appareillage Coefficient $\tilde{I}$ d'aplatissement	54

## sommaire

---

Fig II.8	Appareillage- Micro Deval	56
Fig II.9	Appareillage los Angeles	58
Fig II.10	gravier touta	60
fig II.11	La qualité du ciment utilisé	62
fig II.12	Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée	65
Fig II.13	Le traçage de la courbe granulaire de référence AOB	68
fig II.14	Essai cône d'Abrams	70
fig II.15	l'éprouvette 16 * 32 cm	71
Fig III.1	Comparaison des résultats de <b>Ecrasement</b> et Ultrason <b>R (mpa)/T(jour)</b>	80
FigIII.2	Comparaison des résultats de <b>Ecrasement</b> et Ultrason <b>R (mpa)/T(jour)</b>	84

# **Introduction General**

### INTRODUCTION GENERAL:

Le mémoire parle de effet des températures élevées sur l'évaluation de qualité du béton par ultrason ,le mémoire est constitué de trois chapitres. Le premier chapitre concerne l'état de l'art. Nous avons fait une synthèse bibliographique sur le matériau béton, sur les composants granulaires. Nous donnons les différentes caractéristiques à prendre en compte dans les formulations et Les méthodes destructive et Les méthodes non destructives. Le deuxième chapitre expose le programme expérimental effectué. Nous avons défini toutes les caractéristiques physiques, mécaniques et chimiques des différents granulats, du ciment et de l'eau comme le module de finesse, le pourcentage en fines, la valeur du bleu de méthylène, l'équivalent de sable, la teneur en eau, les coefficients d'aplatissement, de micro Deval, Los Angeles, les masses volumiques en vrac, la valeur de la porosité inter granulaire. Les analyses granulométriques de chacune des classes granulaires 0/3, 3/8, 8/15, 15/25 ont été établies. La troisième et dernière partie du mémoire donne les résultats et l'interprétation de l'étude expérimentale menée sur cinq bétons, formules par la méthode Dreux- Gorisse. Les cinq mélanges sont un béton témoin, un béton de graves et trois recomposes permettant de définir différents pourcentages des classes granulaires utilisées dans la composition des bétons. Les expérimentations consistent en la détermination des résistances mécaniques comme la résistance à la compression et ultrason à 7 et 28 jours et la résistance a la traction à 28 jours. Pour donner un sens pratique à ce travail, une étude comparative a été faite, en prenant les résultats d'analyse et de résistance de bétons réalisés et utilisés .

Le but de l'étude est Comparaison des résultats d'arasement et Utras on a temperature élevée et temperature ordinaire

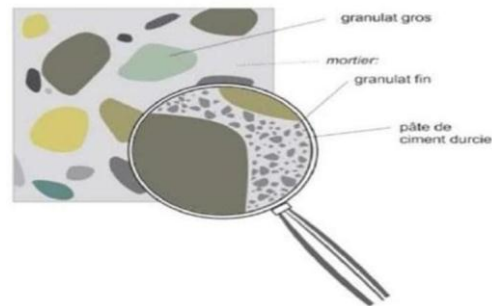
# **CHAPITRE I :**

**étude bibliographique Les Essais du béton**

**Essais Destructives/ Non Destructives.**

### 1. Définition du béton :

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit. La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.



**Figure 1.1:** constituants de béton.

### 2. Histoire de béton :

Le béton est né du besoin d'avoir un matériau de construction bon marché, malléable au moment de le mettre en place et résistant ensuite. La forme la plus ancienne du béton remonte à 7000 ans avant JC. Un matériau similaire était connu des égyptiens et des Romains, mais l'essor réel du béton tel qu'on le connaît aujourd'hui est dû à l'anglais Joseph Aspdin qui en 1824 fait breveter le ciment Portland.

L'ingénieur Bélidor, auteur de l'architecture hydraulique (1737) étudia la composition du béton et introduisit le mot béton dans son sens actuel. L'invention du ciment par Louis Vicat en 1817, celle du ciment Portland par Aspdin en 1824 et l'installation des premiers fours par Pavin de Lafarge au Teil en 1830 préparent l'avènement du béton. Les premières cimenteries se développent en France entre 1850 et 1860, dans le Boulonnais avec la Société des Ciments Français. C'est en fait le mariage ciment-métal, appelé ciment aimé, puis béton armé, qui va donner au béton son plein essor. Le premier exemple est la barque de Lambot (1848), le plus significatif, l'immeuble Hennebique à Paris (1898).

u XXe siècle, le béton se développera considérablement et, parallèlement, l'évolution de ses techniques : usage croissant des adjuvants, béton prêt à l'emploi, matériel de mise en oeuvre, mise au point du béton précontraint par Freyssinet. Plus récemment, les progrès réalisés dans les bétons de hautes performances lui donnent ses lettres de noblesse dans le bâtiment, avec une réalisation comme l'Arche de la Défense, ou en génie civil : pont de l'Ile de Ré, pont sur l'Élorn, pont de Normandie, Viaduc de Millau.

### **3. Avantages de béton :**

Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Ce matériau permet de construire des ouvrages de toute nature et notamment, des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires ainsi que des plates-formes d'exploitation pétrolière off shore. Le développement de l'emploi d'un matériau de construction repose sur des critères techniques et économiques. La résistance mécanique et la durabilité du matériau fondent les principaux critères de choix techniques. La disponibilité et le faible coût des matières premières, la facilité d'emploi et le prix de revient du matériau valident les conditions économiques. Le béton répond parfaitement à ces conditions de choix :

- il est fabriqué à partir de matières premières naturelles largement répandues à la surface de la terre ;
- sa mise en œuvre est aisée et ne nécessite que l'emploi d'une main-d'œuvre rapidement formée ;
- il autorise les plus grandes audaces architecturales et techniques, puisque, mis en place à l'état fluide, il épouse les formes de moules ou de coffrages les plus complexes ;
- sa résistance mécanique dépasse aujourd'hui largement celle des meilleures roches naturelles
- sa durabilité est plus que séculaire dès lors qu'il est correctement formulé et mis en œuvre ; il s'accommode des environnements corrosifs et résiste bien, en particulier, aux actions agressives de l'eau de mer ; il offre une bonne tenue au feu, garantie de sécurité vis-à-vis des incendies;
- son prix de revient, enfin, fait du béton le matériau de construction par excellence.

### **4. Les méthodes de contrôle de qualité**

Le béton est un matériau de construction qui trouve son champ d'utilisation pratiquement, dans tous les domaines de génie civil pour les avantages économiques et techniques qu'ils présentent mais d'une manière générale les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, notamment lors de la confection du béton et lors de sa mise en œuvre. Les méthodes habituelles d'évaluation de la qualité du béton, dans le domaine de la construction sont celles relatives aux essais destructifs à la compression et à la traction effectués sur des éprouvettes prélevées lors de la réalisation de l'ouvrage. Mais lors de la mise en œuvre, plusieurs

paramètres liés à la qualité sont concernés en raison du non respect des règles élémentaire de mise en œuvre. Et par conséquent des doutes sont émis sur la qualité des bétons (mise en œuvre). Ces doutes mèneront vers un contrôle sur les ouvrages réalisés. Plusieurs méthodes de contrôle de qualité peuvent être envisagées, les plus couramment utilisées sont :

- Les méthodes destructive
- Les méthodes non destructives

### **5. 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, 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 200

#### **5.1. But :**

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

On en déduira alors la résistance caractéristique. [04]

#### **5.2. 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. [04]

#### **5.3. 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 Punta Perotti 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 terme de sécurité, le carottage doit être limité et optimisé. Il est même parfois interdit.

#### **6. Méthodes non destructives :**

Comparée au développement des méthodes d'évaluation non destructive dans le domaine des structures en acier, l'évolution de ces techniques pour les ouvrages en béton se fait plus lentement. Cela peut s'expliquer par la complexité du matériau béton, et notamment son hétérogénéité à l'échelle macroscopique, par rapport à l'acier [Carino 2003]. De ce fait, il est difficile de transférer les technologies développées pour l'acier au domaine de l'auscultation du béton. En 2000, une revue faite par le Comité Technique « Non Destructive Evaluation » de la RILEM recensait plus de 115 méthodes d'évaluation des propriétés du béton [Burghardt 2000]. Actuellement, ces méthodes d'auscultation non destructives sont utilisées mais elles ne sont pas encore totalement reconnues par la communauté de l'END (physiciens, électriciens, mécaniciens...), et par conséquent, elles ne sont pas encore systématiquement utilisées (et réciproquement) [Carino 2003]. L'OECD-NEA (1998) précise qu'il y a un manque général de confiance dans les techniques END car il y a très peu d'avis indépendants sur leur applicabilité, leur capacité, leur précision et leur fiabilité. De plus, il n'existe souvent pas de consensus possible, ni de norme appropriée. Les méthodes d'END sont souvent utilisées pour mesurer un phénomène précis,

comme par exemple évaluer la résistance en compression du matériau, alors qu'elles pourraient s'inscrire dans le cadre d'un vaste programme de surveillance de l'ensemble d'une structure [McCann et Forde 2001]. Les méthodes non destructives utilisées aujourd'hui pour

l'auscultation des structures en béton peuvent être classées en sept catégories qui sont décrites succinctement dans les paragraphes suivants

### **6.1. LES ESSAIS NON DESTRUCTIVES :**

Le niveau élevé atteint par la physique vers le milieu du xx e siècle s'est manifesté également dans les méthodes d'essai des constructions. un vieux désir du constructeur, celui de prévoir la charge qui provoquerait la rupture d'une structure ou d'un élément sans les détruire et même sans les altérer commençait à se matérialiser. Ainsi apparaît les essais non destructifs qui contrôle la qualité directe de la construction.

Pour cela on va décrire dans ce chapitre les principales méthodes non destructives en soulignant leurs avantages et leurs inconvénients.

#### **6.1.1. Historique:**

Williams en (1936) a lancé le premier essai non destructif, Après ça et pendant le développement de domaine de la construction, une gamme d'essais non destructifs in-situ, a été développée, par tant de chercheurs dans ce domaine comme : Ernest Schmilt (1948), Jones (1962), Whitehurst (1966), Malhotra (1976). Bungey (1982) a présenté une enquête complète de littérature pour les méthodes non destructives normalement utilisées pour l'essai et l'évaluation du béton,. Au milieu des années soixante Skramtaev et Leshchinsky (1966) ont proposé pour la première fois l'utilisation de deux méthodes non destructifs ensemble. Le travail le plus fondamental à ce sujet a été présenté par Facioaru (1969). En (1991) Leshchinsky a récapitulé les avantages des essais non destructifs comme la réduction de la consommation de travail de l'essai, une diminution de la consommation de travail des travaux préparatoires, peu de dommages structuraux, l'utilisation d'équipement d'essai moins cher, par rapport à l'essai destructif. Ces avantages sont sans valeur si les résultats ne sont pas fiables. Au cours de cette période, plusieurs méthodes non destructives d'évaluation ont été mises au point.

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages, si 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. Pour cela on recourt aux essais non destructifs (END) du béton qui en utilisant des méthodes non destructives Les avantages de ces essais par rapport aux autres peuvent être résumés comme suit :

- Essai d'une construction sans la détruire, ni nuire à sa capacité de service ;

- Possibilité d'obtenir des informations dans des domaines inaccessibles aux méthodes classiques (par exemple : observation in situ du durcissement du béton dans l'ouvrage, détermination et observation dans le temps du degré de corrosion des ouvrages) ;

- Supplément d'informations de caractère local, sous forme de données se rapportant à un grand volume de matériau, donc possibilité d'obtenir un tableau plus complet de l'homogénéité du matériau dans l'ouvrage ;

- Economie de matériaux, de temps et d'outillages d'essai par la possibilité de faire les essais sur le matériau dans l'ouvrage même ou sur une seule éprouvette un nombre pratiquement infini de fois, due à la rapidité de l'exécution de ce type d'essais et aussi au fait qu'on peut remplacer certains outillages coûteux et dont la manipulation est délicate par des appareils simples et transportables

#### **6.1.2. Définition essais non destructifs:**

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

#### **6.2. 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

### 6.3. 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.

### 6.4. 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.

### 6.5. 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 :

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

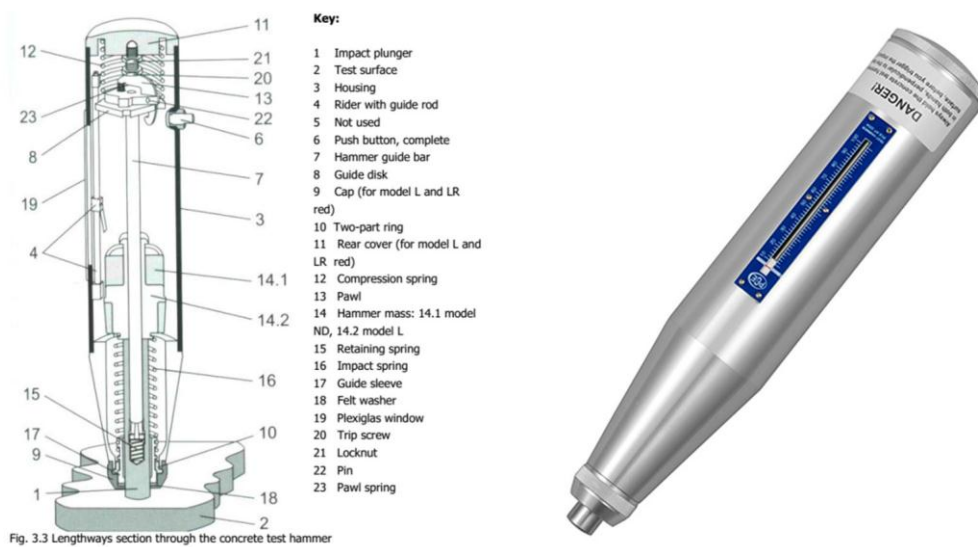


Figure 1.2: Sclerometre

• **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 à 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.

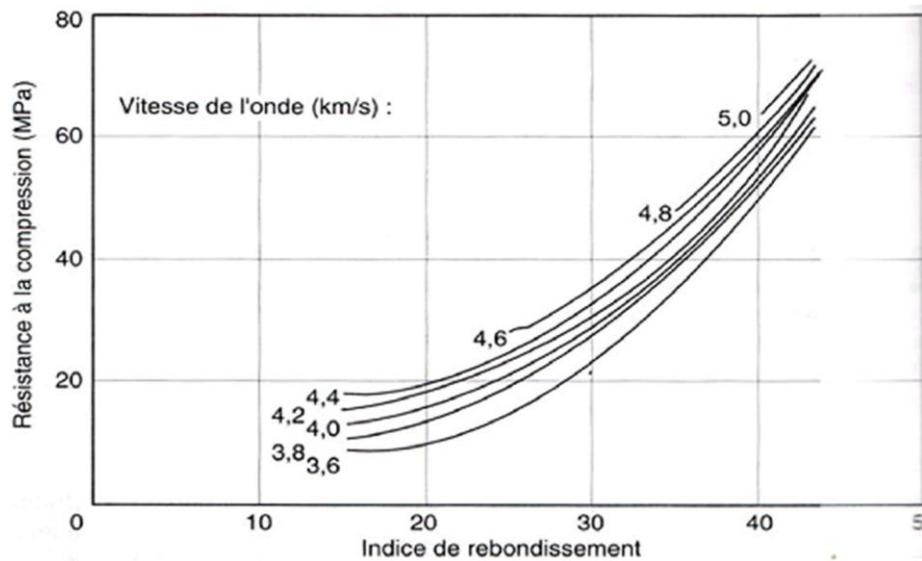
#### ❖ **Appareillage :**

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.

#### ❖ **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 de 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 (1.2).



**Figure 1.3:** Courbe d'estimation la résistance à la compression in situ par utilisation conjointe de la mesure de la propagation d'ondes ultrasoniques et des résultats d'essai au scléromètre selon U. BELLANDER (1977)

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.

#### ❖ 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.

#### ❖ **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].

#### ❖ **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].

#### ❖ **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  $\mu\text{m}$  [Gaussorgues 1999].

❖ **Les méthodes radiographiques :**

Il s'agit des techniques classiques de radiographie : la surface à ausculter est exposée à un rayonnement ( $\gamma$  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].

❖ **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].

❖ **les inspections visuelles :**

L'inspection visuelle [Graybeal et al. 2002] est la plus simple et la plus immédiate des techniques 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. [02]

#### ❖ **Essai par Carottage :**

En vue d'effectuer des essais divers sur béton durci, le carottage par couronne diamantée procure un moyen intéressant d'investigation. Mais il est coûteux et souvent difficile à réaliser en raison de la proximité des armatures.

L'endroit carotté dépend du but de l'essai : on peut vouloir estimer la résistance d'une partie critique de la structure ou d'une partie que l'on présume endommagée par exemple par le gel. On peut également chercher à avoir une valeur représentative de la totalité de la structure, auquel cas les endroits à carotter sont choisis de façon aléatoire. Le carottage peut aussi être utilisé pour détecter de la ségrégation ou la présence de nids d'abeille, pour vérifier l'adhérence aux joints de construction ou pour vérifier l'épaisseur du revêtement.

Les carottes sont prélevées à l'aide d'un carottier à diamant on obtient ainsi une éprouvette cylindrique qui contient parfois des morceaux d'armature et dont les extrémités ne sont généralement ni planes ni d'équerre. Conformément aux normes BS 1881 : partie 120 :1983 et les normes ASTM C 42-90, la carotte devrait être placée dans l'eau, surfacée et mise à l'essai de compression à l'état humide, alors que la norme ACI 318-89 (révisée en 1992) spécifie des conditions d'humidité correspondant aux conditions en service. En France, les normes NF P 18 405: 1970 la carotte devraient être enfermée après carottage dans un sac de polyane étanche.

Selon les études japonaises S.Yamane,et Al (1979), les essais effectués dans des conditions sèches donnent des valeurs de résistance généralement plus élevées de 10 % par rapport à celles observées sur des carottes mises à l'essai à l'état humide.

#### ❖ **Facteurs Influençant La Résistance Des Carottes Mellas ( 2003):**

Les résultats des essais dépendent de plusieurs facteurs. Ces facteurs ont une influence directe sur la qualité du béton. Les essais par carottage sont généralement

utilisés pour la détermination des propriétés du béton in situ à un certain âge tel que la résistance et la porosité.

Le carottage peut être utilisé pour détecter la ségrégation ou la présence de nids d'abeilles, pour vérifier l'adhérence aux joints de construction ou pour vérifier l'épaisseur de revêtement. Les résultats obtenus par cet essai ont besoin d'une interprétation minutieuse, car la résistance du béton d'où il est prélevé dépend de :

- La qualité du béton
- L'emplacement dans la structure
- Condition de cure
- La température sur site

L'estimation de la résistance à la compression peut être obtenue conformément aux normes BS 1881, partie 120, (1983) ou ASTM C42-90 ACI 318-89. Cette estimation dépend de :

- Du diamètre de la carotte
- du rapport hauteur/diamètre de la carotte
- De la direction de prélèvement
- De la présence des armatures

❖ **Diamètre:**

Le diamètre recommandé par BS 1881, partie 120, (1983) est de 100 mm ou 150 mm. Les carottes de petit diamètre sont généralement prévues pour donner des meilleurs résultats mais éparpillés. L'effet du diamètre sur la résistance a été rapporté dans le rapport N° (Concrète Chapitre II: les essais non destructifs70Society Technical Report 11 "CSTR 11"), Bellander (1976), Bungey (1979), Ramirez et Barcena (1979) et Keiller (1984). Les résultats obtenus par ces auteurs ont montré que la résistance n'est pas affectée par la taille des carottes avec de petits diamètres donnant des résultats variables pour un rapport hauteur/diamètre donné. Les recommandations spécifiant des carottes de diamètre des 100 mm ou 150 mm sont liées à la taille maximale des granulats utilisés. Le diamètre de la carotte doit être au moins trois fois la taille nominale des gros granulats [CSTR11, BS 1881 (1983)].

❖ **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

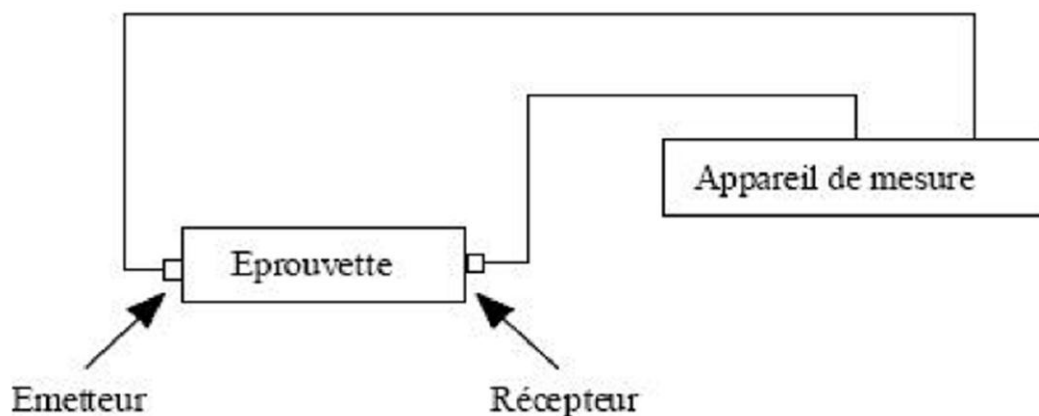
temps, soit en fréquence, de l'onde enregistrée en fonction de l'onde émise. Les principales techniques sont :

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.



**Figure1.4 :** Appareil de mesure

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 où 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.

Photo (II.2) :  
Appareil d'auscultation sonore  
58-E48 avec oscilloscope



**Figure1.5** : Appareil d'auscultation sonore 58-E48 avec oscilloscope

❖ **Les techniques acoustiques :**

Il existe trois techniques acoustiques pour évaluer le béton, nous avons : Les ultrasons (auscultation sonore ou ultrasonique pulse vitesse (UPV)) c'est ce que nous avons utilisée dans le cadre de notre étude; L'impact-écho; L'émission acoustique.

La méthode de la vitesse d'impulsion (UPV) est une méthode vraiment non destructive, car la technique utilise des ondes mécaniques, ce qui n'entraîne aucun dommage sur l'élément en béton testé. Un échantillon peut être testé à plusieurs reprises au même endroit, ce qui est utile pour surveiller le béton subissant des changements structurels internes sur une longue période de temps.

❖ **Définitions d'ondes acoustiques :**

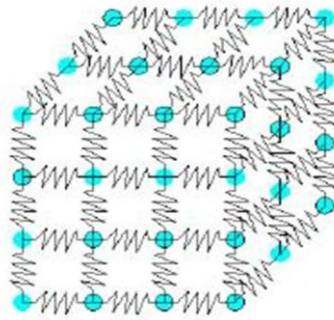
Les ultrasons sont des ondes acoustiques, donc mécaniques, de fréquence supérieure à la fréquence de coupure de l'oreille humaine, soit environ 15 kHz. La vitesse de propagation d'une onde devient plus élevée lorsque le temps de transmission de l'information d'une particule élémentaire constituant la matière à sa voisine est plus facile. 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 1.4).

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)



**Figure 1.6.:** Schématisation d'un milieu élastique

On distingue trois catégories d'ondes acoustiques (figure 1.5).



**Figure 1.7 :** Catégorie d'onde acoustique

#### ❖ 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 1.6).

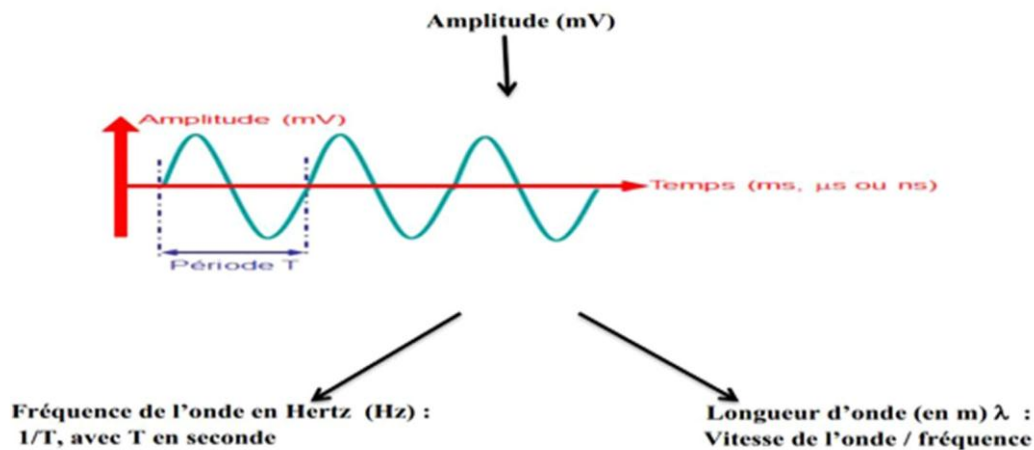


Figure 1.8 : La longueur d'onde  $\lambda$

❖ **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).

❖ **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.

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)

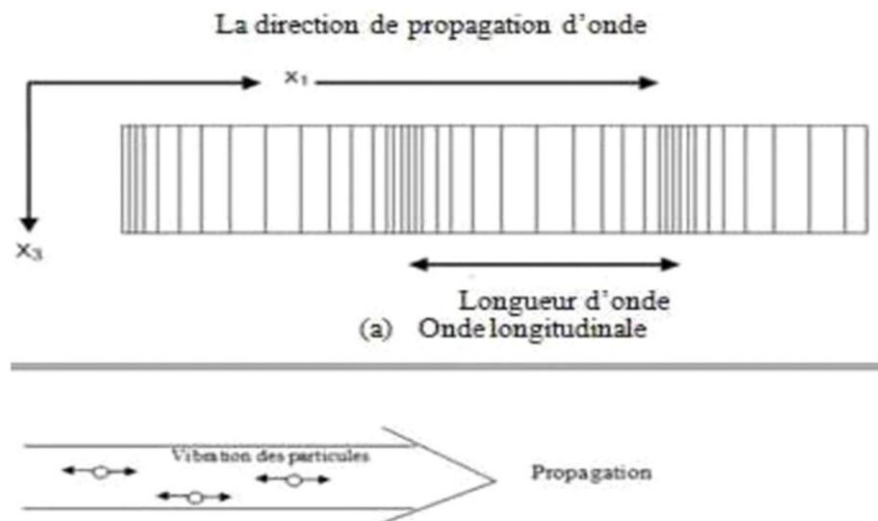
$$K = \frac{(1-\mu)}{[(1+\mu)(1-2\mu)]}$$

$E$  : module d'élasticité dynamique (GPa)

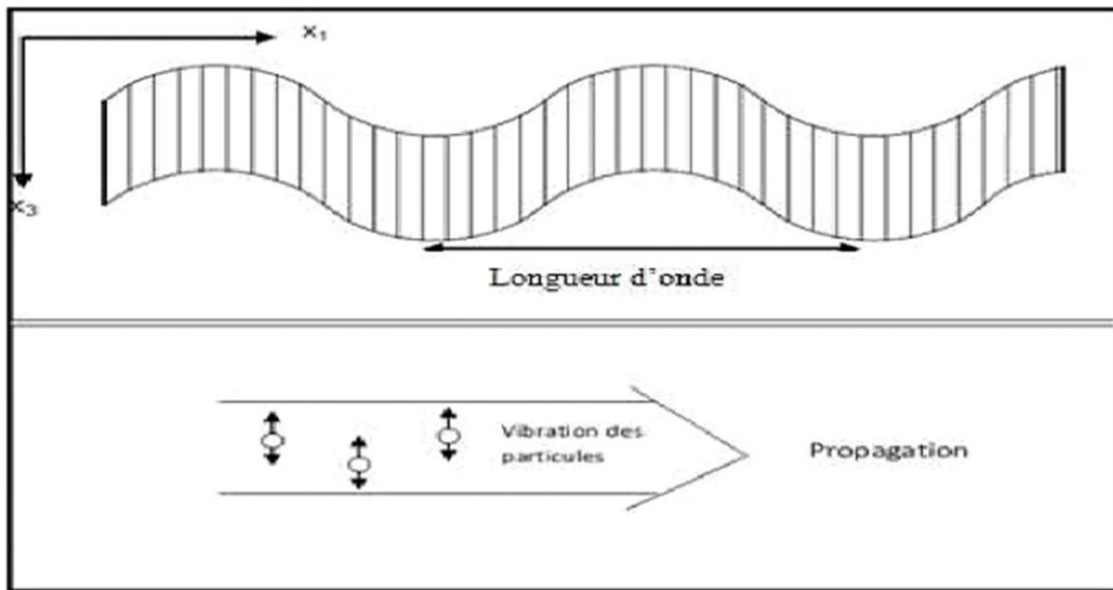
$\rho$  : densité

$\mu$  : rapport dynamique de Poisson ou coefficient de Poisson

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



**Figure 1.9** : Onde longitudinale [Corapcioglu 1996]

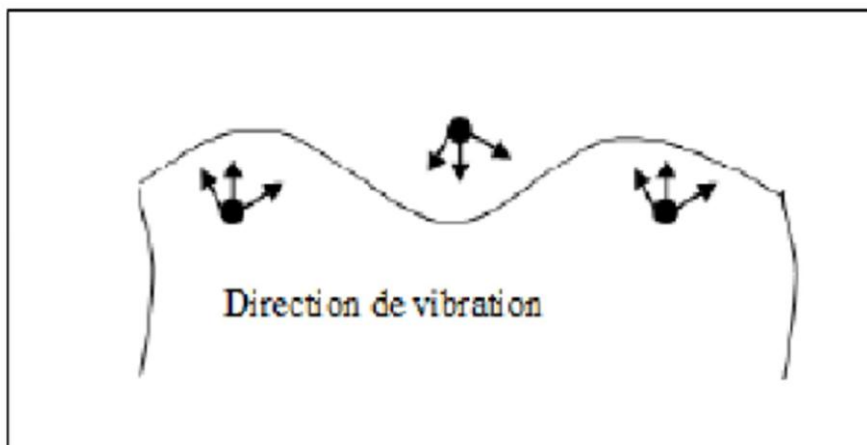


**Figure 1.10** : Onde transversale [Corapcioglu 1996]

#### ❖ 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.

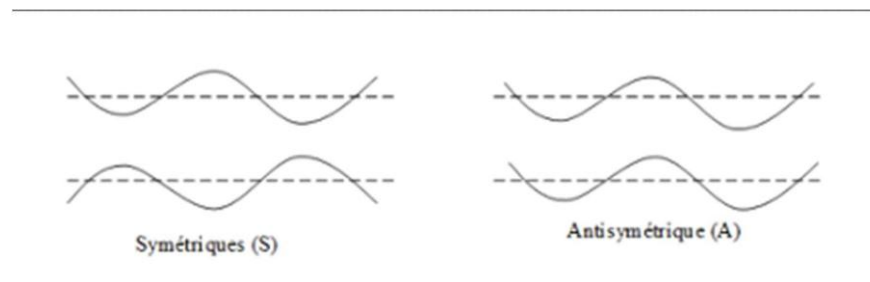
La schématisation des ondes de surface la plus connue est la formation des rides à la surface d'une étendue d'eau, lorsqu'on jette un caillou. [01]



**Figure 1.11** : Onde de Rayleigh

❖ **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 ( figure 1.10 ).



**Figure 1.12 : Ondes de Lamb**

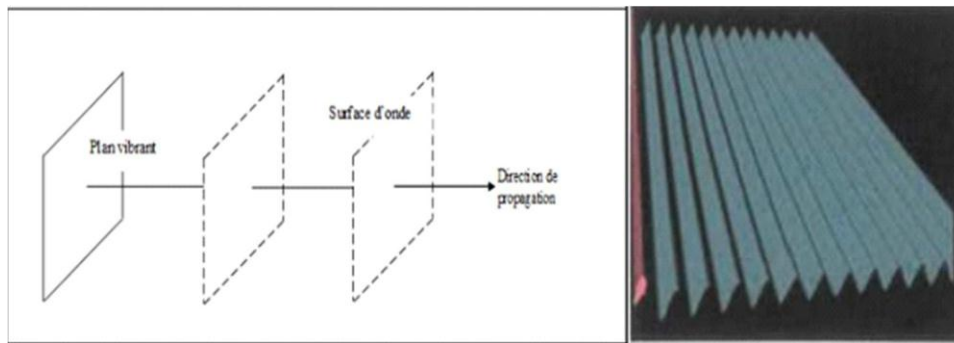
Les ondes de Lamb sont utilisées industriellement pour le contrôle des tôles minces métalliques et de certains composites Le champ de déplacement pour une onde de Lamb peut être décrit par (Bedford et Drumheller, 1996) :

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

❖ **Onde plane et ondes sphérique:**

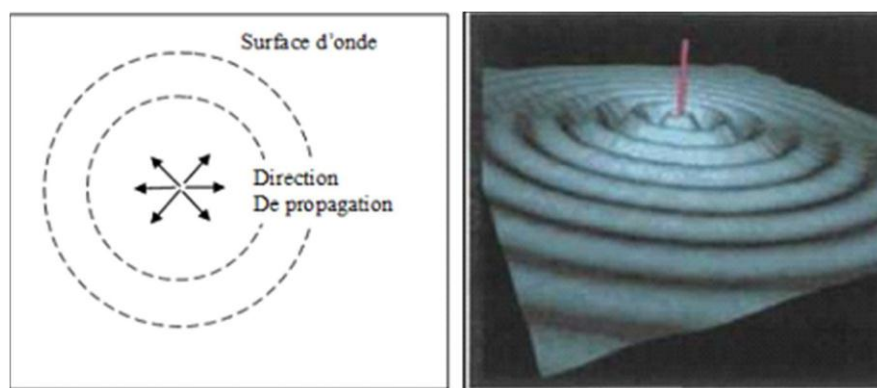
On parle d'onde plane lorsque l'onde se propage suivant une direction unique et que les surfaces d'onde sont des plans parallèles entre eux ( figure 1.11 ). Une onde plane est générée par une surface plane vibrante de dimension importante. L'amplitude d'une onde plane est constante quelle que soit la 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 (figure1.12).



**Figure 1.13 : 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



**Figure1.14 : Onde sphérique**

### 7. 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).

L'échographie est utilisée dans le domaine industriel pour mesurer la distance entre les objets, et dans le domaine médical, l'examen de l'estomac des mères, la connaissance du sexe du fœtus, la connaissance du rythme cardiaque et de sa santé, ainsi que les traitements qui peuvent être effectués. utilisé pour de nombreuses tumeurs cérébrales .....et

## **8. 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.

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

## **9. Le Mode Opérateur :**

### **9.1 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.

### **9.2 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.

### **9.3 Distances minimales entre points de mesures :**

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

### **9.4 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.

## 10 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 :

### 10.1 Mesure en transparence (directe) :

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

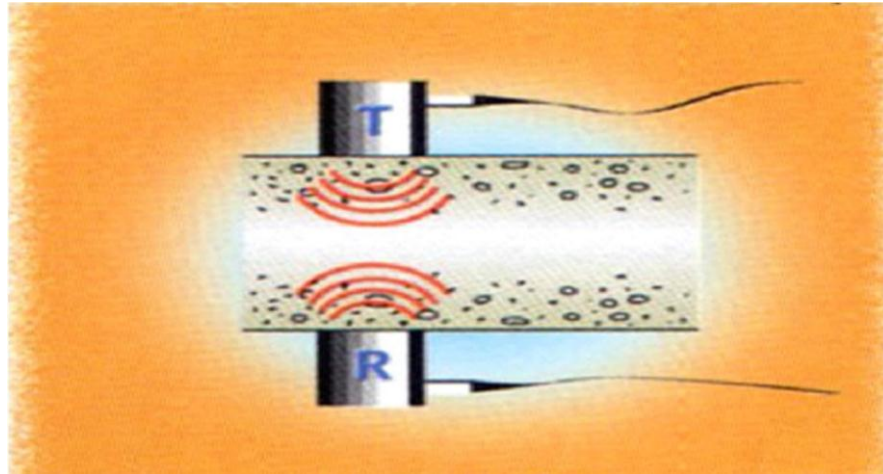


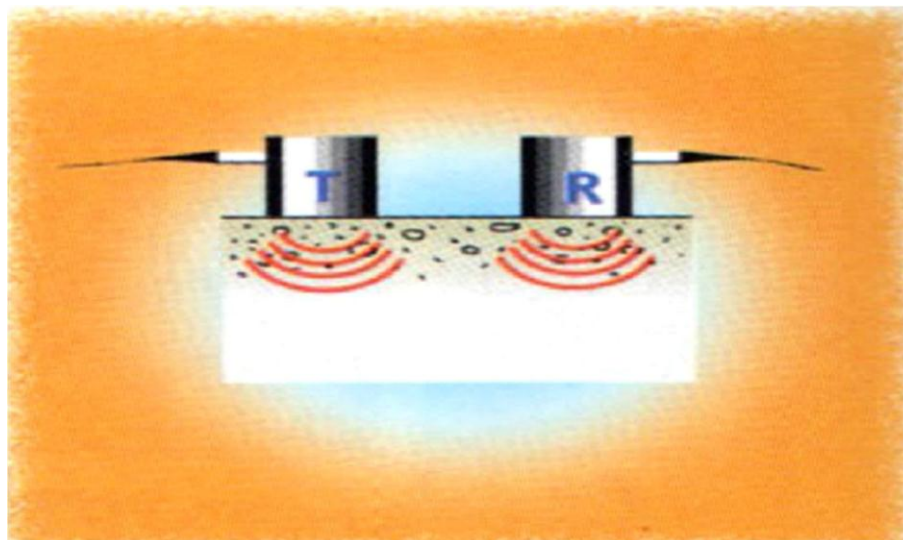
Figure 1.15 : Mesures en transparence (directe)

### 10.2 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 ( 1.14 ).

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

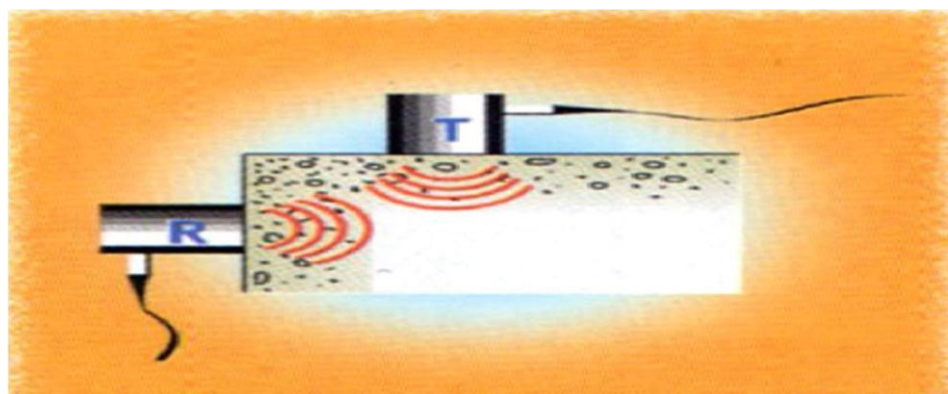
Après avoir relevé le temps correspondant à un point considéré, on passe au point suivant.



**Figure1.16:** Mesures en surface

### 10.3 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 ( 1.15 )



**Figure1.17 :** Mesures semi direct

### 11 .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.

## 12 . 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.

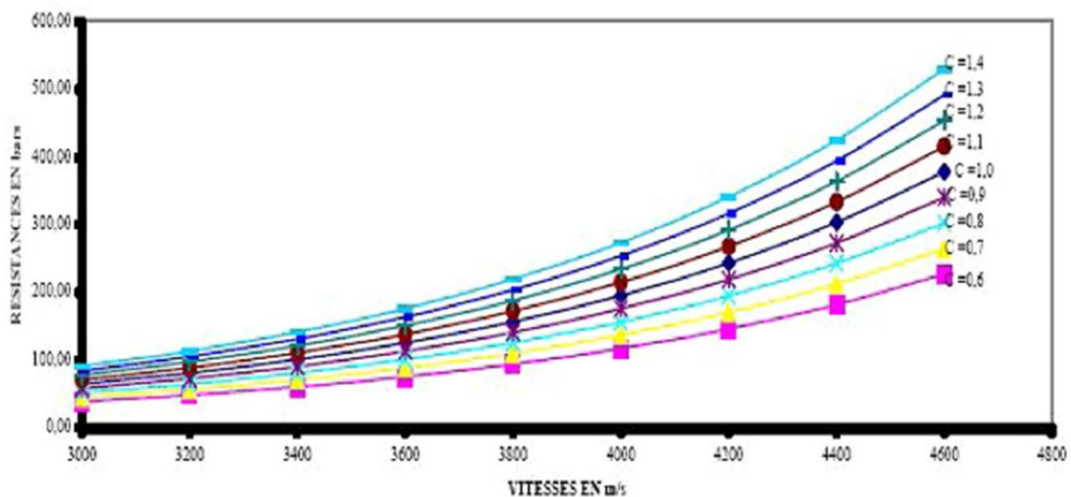
### 11 . Paramètres influents la vitesse des ultrasons:

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

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

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

Exemple de tracés de courbes de calibrage



**Figure1.18:**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 :

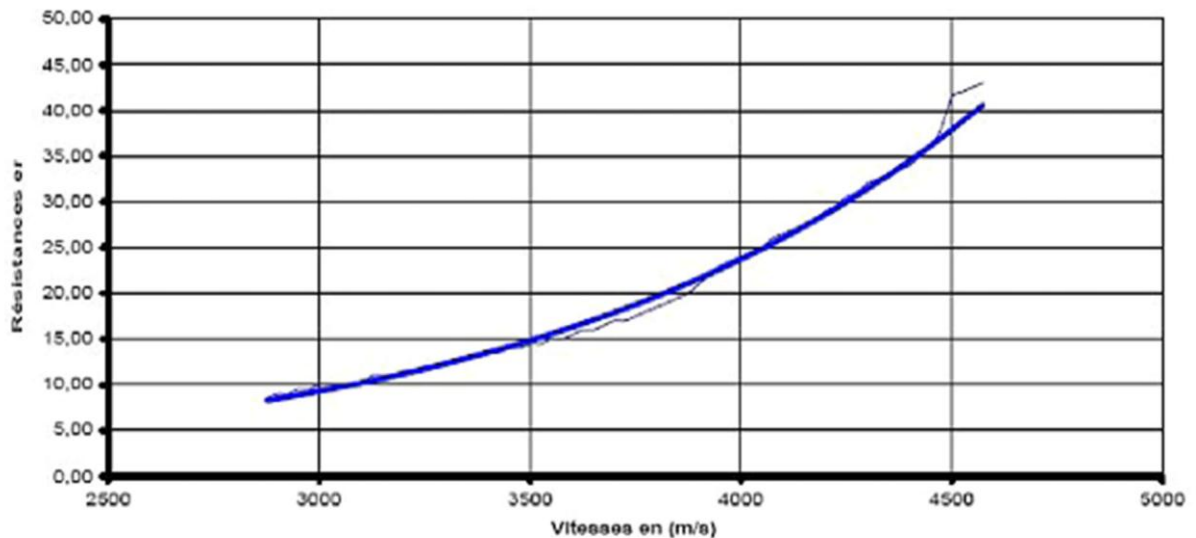
- Composition du béton connue, absence d'éprouvettes ou de carottes
- Composition du béton connue et existence d'un petit nombre d'éprouvettes ou de carottes,
- Méconnaissance de la composition du béton et existence d'éprouvettes ou de carottes,
- Méconnaissance de la composition du béton et inexistence d'éprouvettes et de carottes

La détermination de la résistance béton in situ sera étudiée au cas par cas

### 13 . 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.
- Estimation de la résistance du béton selon RILEM



**Figure 1.19:** Courbe RILEM

#### 14. 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.

#### 15. Les avantages :

- C'est une méthode idéale pour déterminer l'homogénéité du béton.
- L'essai peut être utilisée autant sur les ouvrages complétés que sur ceux en construction.
- La mesure des ondes sonores présente l'énorme avantage de donner des informations sur l'intérieur d'un élément de béton. Et selon CHUNG ET LAW (1983) l'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour détecter la fissuration (mais les fissures parallèles au déplacement de l'onde), les vides détériorations dues au gel ou de feu et l'uniformité du béton dans des éléments semblables. L'essai de propagation des ultrasons peut être utilisé pour suivre les changements microstructuraux dans un élément par exemple à la suite de cycles répétés de gel dégel.
- ELVERY ET IBRAHIM (1976) et pendant leurs études sur la relation de la vitesse et la résistance dans plusieurs âges ont montrés que l'essai peut aussi être utilisé pour évaluer la résistance du béton à très jeune âge, à partir de trois heures et plus, ce qui peut être intéressant dans le domaine de la préfabrication du béton ou comme outil de décision pour déterminer le moment adéquat des opérations de décoffrage.

**16. Les inconvénients :**

- Ces essais ne sont toutefois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variables influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions.
- La précision des résultats est fonction de la précision de l'étalonnage et de l'uniformité de la composition du béton de l'ouvrage et du béton des éprouvettes utilisées pour l'étalonnage.
- Dans l'essai de propagation des ultrasons 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 effective du béton.
- L'utilisation de cette méthode, si elle a bénéficié de grandes simplifications n'est donc justifiée que pour les personnes compétentes en matière d'appareillage et de connaissance du matériau de béton et aussi au courant des précautions à prendre.

**Conclusion:**

Dans l'état actuel les habitudes d'évaluation de la qualité du béton dans les domaines de la construction, consistent à faire des essais destructifs à la compression ou la traction sur des éprouvettes ( cubiques ou cylindriques) confectionnées lors de la réalisation de l'élément structural ou sur des carottes prises directement de la structure. On a aussi recours à d'autres méthodes appelées essai non destructifs. Comme leur nom l'indique il s'agit de mesures n'endommageant pas les constructions par exemple le marteau de Schmidt et des méthodes ultrasoniques de vitesse d'impulsion et d'autres qui n'ont pas été décrites dans notre mémoire :

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

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

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

Le principe de cette méthode consiste à déterminer la résistance en compression du béton à partir des abaques donnant la variation de la résistance du béton en fonction de la vitesse des ultrasons et de l'indice de rebondissement [R (V, N)]. Cette résistance est

corrigée par des valeurs des coefficients d'influences des différents constituants et de leur nature. Ou bien à partir des formules d'estimation d'après les résultats des essais au laboratoires.

Cette technique est utilisée pour la détermination de la résistance en compression en tenant compte à la fois vitesse de propagation de son et l'indice de rebondissement.

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

### 17. 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.

#### 17.1 Les différentes méthodes de composition des bétons:

- Méthodes de BOLOMY
- Méthodes de FAURY
- Méthodes de DREUXGORISSE

##### 1.1 Méthodes de Bolomey:

La méthode de Bolomey a le mérite d'avoir ouvert la voie aux études de béton. Toutefois, elle ne peut être appliquée qu'aux granulats dont la masse volumique absolue est comprise entre 2,5 et 2,7 kg/m<sup>3</sup> ; ce sont d'ailleurs les granulats les plus courants.

##### Considération expérimentale ;

: on se réfère dans ce cas aux courbes granulométriques des constituants secs. Un mélange quelconque de ces constituants à des proportions définies a lui aussi une courbe granulométrique. En fonction des quantités des constituants secs à mettre en œuvre on a une infinité de mélanges donc une infinité de courbes granulométriques. Le problème est de

trouver qui correspond à un bon béton pour le travail à exécuter ; cette courbe sera dite “ courbe optimale ”.

#### **Le principe de la méthode:**

- déterminer la courbe optimale optimale du mélange mélange des éléments secs,
- calculer les pourcentages de ces constituants qui permettent de donner un mélange sec dont la courbe soit aussi voisine que possible de la courbe optimale,
- déduire la composition d'un mètre cube de béton.

#### **1.2 Méthode Méthode de Faury :**

Cette méthode est venue en 1941 compléter la méthode de Bolomey. La méthode de Faury donne des bétons comportant moins de sable et bétons Faury auront souvent une résistance mécanique supérieure aux bétons Bolomey correspondants.

#### **Particularités de la méthode :**

1. Applicables à tous les granulats, quelle qu'en soit la masse volumique
2. Faury a étudié l'effet des vides, vides qui varient avec
3. Pour tenir compte de l'effet du coffrage et des armatures, Faury introduit la notion d'effet de Paroi et du Rayon moyen du moule.

#### **1.3 Méthodes de DREUX-GORISSE :**

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux ( eau E, ciment C, sable S ,gravillon G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton:

- Détermination du rapport C/E
- Détermination de C et E
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides
- Détermination de la compacité du béton
- Détermination des masses de granulats

#### **Dans le mémoire , nous utilisons méthode de Dreux-Gorisse**

#### **18. L'effet de la forme des échantillons sur la résistance à la pression :**

Il existe trois courantes d'échantillons de béton qui sont utilisés dans les essais de pression : cubique , cylindrique et prismatique come (8-11). Il a été observé en laboratoire que la résistance mesurée d'un mélange particulier de béton varie en fonction de la forme de leséchantillons testés .Les expériences ont également indiqué que pour une même forme

d'échantillons , la résistance mesurée en laboratoire vraie en fonction de la taille des échantillons testée.

Plusieurs recherches en laboratoire ont été menées dans le but d'arriver à une forme et une taille normalisées adaptées aux échantillons pouvant être utilisés dans les essais de pression , mais il n'existe jusqu'à présent aucune méthode théorique ou mathématique pour donner une solution définitive à ce problème. Prévoient l'utilisation d'éprouvettes cubiques de  $15.8*15.8*15.8$ cm, alors que les normes américaines prévoient l'utilisation d'éprouvettes cylindriques de  $16*32$  et  $15*30$ cm, et d'autre part la norme suisse spécifie l'utilisation d'éprouvettes prismatiques de  $15*15*30$ cm.cm alors que certains pays d'europe centrale exigent de tester un ensemble d'échantillons cubiques en plus des échantillons prismatique du meme mélange de béton .compte tenu de la nette différence entre les normes internationales concernant la forme et la taille des échantillons d'essai de pression, la recherche scientifique a accordé une grande attention à ce sujet pour essayer de lier la résistance dérivée d'une forme à la résistance dérivée des autres forme. Il convient de noter ici qu'en raison de l'utilisation croissante de béton à haute résistance à l'heure actuelle , la tendance est apparue d'utiliser de petits échantillons tels que le cube  $10*10*10$ cm et le cylindre  $10*20$  cm afin d'ajuster les capacités des machines à pression disponibles.



**Figure(1.20):** les différentes formes d'échantillon de béton utilisés pour le compactage

Des teste ont montré que la relation entre la résistance à la compression du cube et la résistance à la compression du cylindre n'est pas fixe car elle change en raison de la différence de résistance du béton et de la taille du gros agrégat et d'autres facteurs.la génération de force de frottement entre les deux surface de l'échantillon d'essai et la été de la machine à presser est l'un des facteurs affectant le changement de la relation entre la résistance à la pression de l'échantillon cubique, cylindrique et prismatique, ou les forces de frottement affectent la résistance apparente des échantillons cubique .alors que l'effondrement se produit dans les échantillons cylindrique et prismatique sans une influence claire des forces de frottement , on constate donc toujours que la résistance à la pression de l'échantillon cubique est supérieur à la résistance à la pression de l'échantillon cylindrique ou prismatique .la nature de l'effet de

ces frottement sur les résultats des tests de résistance deviendra claire plus tard. La caractéristique des éprouvettes cylindriques est que la répartition des contraintes à leur surface est uniforme , et reflète ainsi bien les propriétés du béton. Si nous prenons le cube standard (15\*15\*15) comme base de comparaison. La différence dans les résultats des test des échantillons cubique, cylindriques et prismatique est comme indiqué dans le tableau . Cependant, le pourcentage indiqué dans le tableau . diffère selon l'age du béton à l'essai il vraie aussi selon la résistance du mélange testé, il dépend aussi de la nature des matériaux constituant le béton , par exemple , nous constatons que le rapport de la résistance du prisme à la résistance du cube augmente chaque fois que le bétons testé a une plus grande proportion de sable et de matériaux fins.

Facteur de correction	Dimensions (cm)		forme de moule
0,97	10×10×10		cube
1,004	10, AX10, AX10, A	ou 10×10×10	cube
1,00	20×20×20		cube
1,12	30×30×30		cube
1,20	20×10		cylindre
1,25	30×104		cylindre
1,304	25×50		cylindre
1,25	31,6 × 15,8 × 15,8	أو 30×15×15	Publié
1h30	EV, Ex10, AX10, A	أو 20×10×10	Publié
1,32	60×15×15		Publié

Figure(1.21): valeurs indicatives du facteur de correction pour résultat de résistance à la pression selon le code égyptien 2001

Nous avons utilison moule eprouvette cylindrique 16\*32



Figure 1.22: Moule cylindrique

# **CHAPITRE 2**

## **Etude expérimentale**

**II-1 les essai :****II-1-1 Analyse granulométrique des granulats:****II-1-2 Définition :**

les granulats utilisés dans le domaine de bâtiment et de génie civil Sont des matériaux roulés ou concassés d'origine naturelle ou artificielle de dimension comprise entre 0 et 80 mm; Ils ne sont généralement pas constitués par des éléments de taille égales mais par un ensemble de grains de taille variées se répartissent en deux limites : la plus petite  $d$  et la plus grande  $D$

**II-1-3 but:**

- Déterminer les dimensions des grains
- Déterminer la distribution dimensionnelle des grains
- En déduire le module finesse (Mf)(pour l'échantillon du sable)

**Principe :**

L'analyse granulométrique consiste à fractionner des granulats au moyen d'une colonne de tamis dont les dimensions des mailles sont normalisées et décroissantes du haut vers le bas entre 5 mm et 0.075 mm on appelle tamis à ou passant l'ensemble des grains qui passent à travers le tamis, et refus l'ensemble des grains qui sont retenus sur le tamis.

**Matériels utilisés:**

- Appareil tamiseur
- Série de tamis
- Balance de précision
- Récipients



Fig II.1 : appareil de tamisage / tamis .

**Résultale :**

**Sable :**

Le sable utilisé dans notre production de béton est: de Sable naturel concassé (sable de chaux) d'une taille de grains de 0/3 mm provenant de la carrière de sable djamaa

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
5	0	0	0	100
2.5	20.00	20.00	2.00	98.00
1.25	50.00	70.00	7.00	93.00
0.63	210.00	280.00	28.00	72.00
0.315	556.00	836.00	83.60	16.40
0.16	75.50	911.50	91.15	8.85
0.08	30.00	941.50	94.15	5.85

**Tab II.1 :** analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / Sable djamaa Échantillon de masse: 1000 g

**Gravier touta :**

Le gravier utilisé dans notre production de béton est: Gravier de carrière Granules

Touta ( 3/8- 8/15 -15/25 ) .

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
10	0	0	0.00	100
8	20	20	0.67	99.3
6.3	680	700	23.3	76.6
4	940	1640	54.6	45.3
2	805	2445	81.5	18.5
1	530	2975	99.1	0.83
0.5	5	2980	99.3	0.67

**Tab II.2 :** analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (3/8)

touta Échantillon de masse: 3000 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
20	0	0	0.0	100.0
16	0	0	0.0	100.0
12.5	590	590	11.8	88.2
10	1975	2565	51.3	48.7
8	1670	4235	84.7	15.3
6.3	655	4890	97.8	2.2
5	80	4970	99.4	0.6
4	15	4985	99.7	0.3

**Tab II.3 :** analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (8/15) touta

Échantillon de masse: 5000 g

ouverture des tamis (mm)	refus partiel	Retenu cumulés	pourcentage refus (%)	pourcentage Passant(%)
31.5	0	0	0.0	100.0
25	0	0	0	100.0
20	1465	1465	29.3	70.7
16	2395	3860	77.2	22.8
14	675	4535	90.7	9.3
12.5	375	4910	98.2	1.8
10	50	4960	99.2	0.8

**Tab II.4** : analyse granulométrique par tamisage selon la norme NF P 18-554 / gravier (15/25) toute Échantillon de masse: 5000 g

#### II-1-4 Module de finesse (Mf) :

Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion.

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF)

Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins.

#### Norme Française [NFP 18-540]

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un sable. Le module de finesse est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimée en pourcentages sur les tamis **0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5mm**.

$$Mf = 1/100 \text{ Refus cumulés en \% des tamis } [0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5]$$

#### Norme Européenne [EN 12620]

$$Mf = 1/100 \text{ Refus cumulés en \% des tamis } [0.125 - 0.25 - 0.50 - 1 - 2 - 4]$$

#### Lorsque MF est compris entre :

- De 1,8 à 2.2 : Sable est à majorité de grains fins,
- De 2.2 à 2.8 : On est en présence d'un Sable préférentiel
- De 2.8 à 3.3 : le sable est un peu grossier . Il donnera des bétons résistants mais moins

maniable

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

Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables destinés à utilisation en bétons [BEL 14]

**résultats :**

- |   |                                       |     |
|---|---------------------------------------|-----|
| ➤ | Module de finesse sable djamaa        | 2.3 |
| ➤ | Module de finesse gravier toute 3/8   | 3.2 |
| ➤ | Module de finesse gravier toute 8/15  | 3.3 |
| ➤ | Module de finesse gravier toute 15/25 | 2.7 |

**II-1-5 Équivalent de sable : [NF P18 -598]**

**Définition:**

La propreté désigne:

D' une part , la teneur en fines argileuses ou autres particules adhérentes à la surface des grains ,ce qui se vérifie sur le chantier par les traces qu' elles laissent lorsqu on frotte le sable entre les mains .

D' autre part , les impuretés susceptibles de nuire à la qualité du béton , parmi lesquelles on peut citer les scories , le charbon , les particules de bois, les feuilles mortes, les fragments de racine..

**But :**

Permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans le sable de béton , ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les granulats .

**Principe :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier .Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout .Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

**Matériel utilisé:**

Balance de précision 1/10g

Machine agitatrice

Tamis de 5mm

Chronomètre

Eprouvette cylindrique de 43 cm de hauteur

Bonbonne de 5 l

Tube laveur métallique plongeant

Règle métallique

Piston taré à masse coulissante de 1 kg



**Fig II.2** : matériel pour ES

### Mode opératoire :

- Remplir de la solution lavante jusqu'au premier trait.
- Peser 120g de sable sec
- Laisser le sable imbibé pendant 10 mn dans la solution lavante
- Eprouvette d'un mouvement rectiligne horizontal (90 cycles en 30 secondes)
- Laver le sable avec la solution lavante jusqu'au trait supérieur
- Laisser l'éprouvette en repos pendant 20 mn
- Mesurer la hauteur totale  $h_1$  (floculat) et  $h_2$  (sédiment) par la règle métallique , mesure visuelle
- Mesure la hauteur  $h_2$  (sédiment) au piston.

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

**ES**: équivalent de sable mesuré au piston

**ES<sub>v</sub>** : équivalent de sable mesuré visuellement

**h<sub>1</sub>** : hauteur du sable propre seulement

**h<sub>1</sub>** : hauteur du sable propre seulement au piston

**h'<sub>2</sub>** : hauteur du sable propre et élément fins

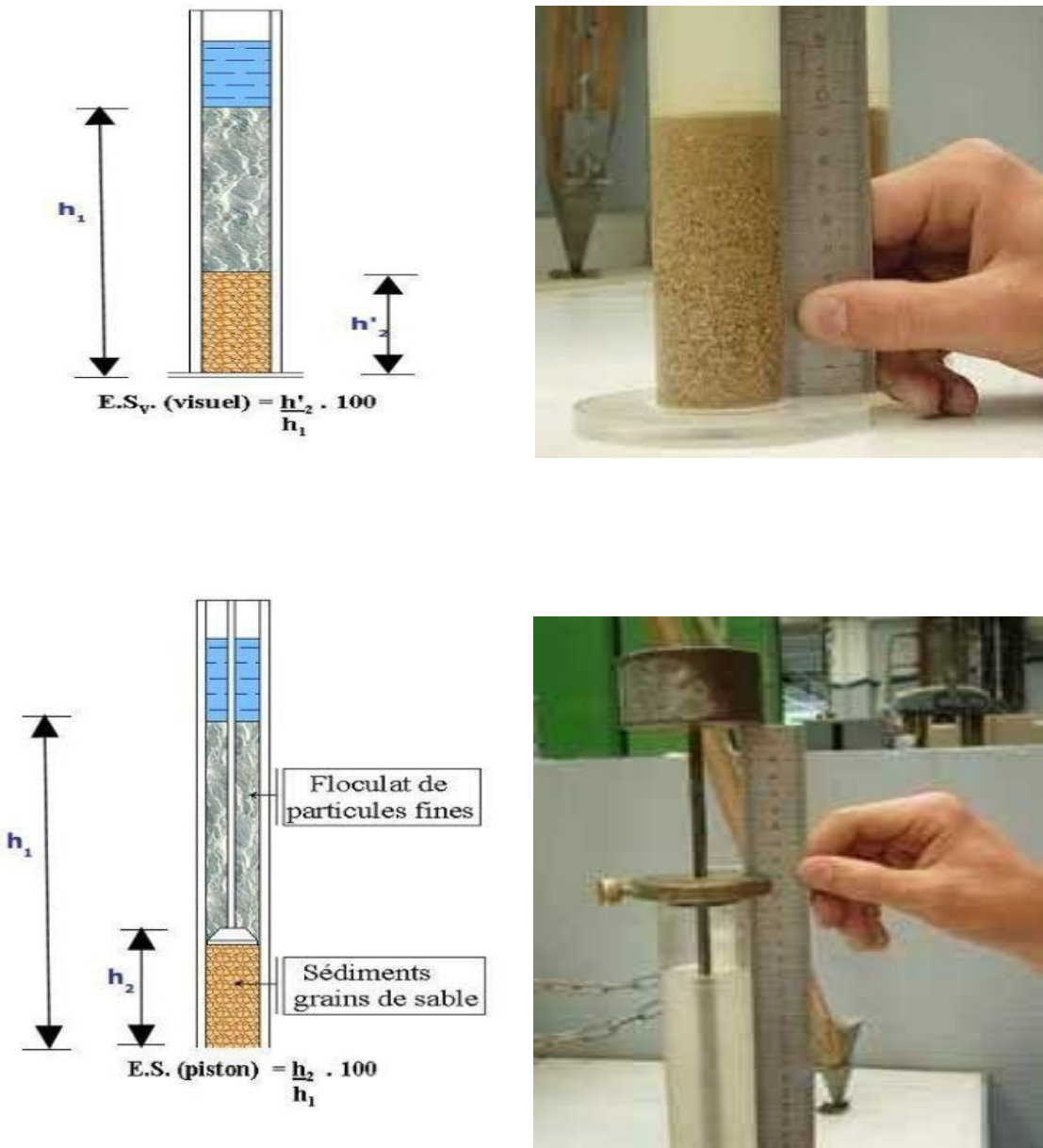


Fig II.3 : essai d'équivalent du sable .

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

**Tab II.5 :** Nature et qualité du sable en fonction de l'ES [DAD 19] .

**résultats :**

$$h_1=8.6 \quad h_2=6.9 \quad 6.9/8.6*100=80.23$$

➤ Équivalent de sable djamaa = 80.23 %

**II-1-4-1 Masse volumique apparente : [ NF P 18-554]**

La masse volumique apparente ou plus précisément masse volumique apparente sans tassement, souvent appelée improprement densité apparante, est une grandeur utilisée essentiellement avec les substances se présentant sous forme de granulés, dans l'agroalimentaire, en pédologie pour la description des sols, ou dans le Btp par exemple, afin de rendre compte de la masse de matériau contenue dans un volume donné, comprenant le volume d'air interstitiel.

De ce point de vue, la masse volumique apparente d'un même matériau granulé ou pulvérulent peut varier en fonction du mode de manutention, selon qu'il est plus ou moins tassé ou, au contraire, aéré.

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



**Fig II.4** : Mesure de la masse volumique apparent

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

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

Avec :

- **$\rho_{app}$**  : La masse volumique apparente (g/cm<sup>3</sup>)
- **M** : La masse du sable contenu dans le récipient (g)
- **V** : Le volume du récipient utilisé dans l'essai (cm<sup>3</sup>)

-Diamètre : 15.2 cm

-Hauteur : 20.4 cm

-Volume :  $7.6 \times 7.6 \times 3.14 \times 20.4 = 3699.8$

-Masse de moule : 8.47 kg

Gravier (15\*25):

$5.600 / 3699.8 = 1.51$

Gravier (8\*15):

$5.485 / 3699.8 = 1.48$

Gravier (3\*8) :

$5.545 / 3699.8 = 1.49$

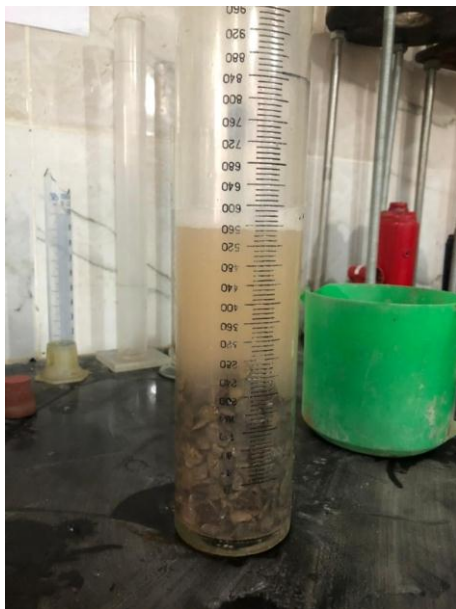
Sabel (0/3):

$$6288.3/3699.8 = 1.7$$

- sable djamaa                    **1.7 g/cm<sup>3</sup>**
- gravier touta 3/8                **1.49 g/cm<sup>3</sup>**
- gravier touta 8/15              **1.48 g/cm<sup>3</sup>**
- gravier touta 15/25            **1.51 g/cm<sup>3</sup>**

#### II-1-4-2 Masse volumique absolue : [ NF P 18-555]

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



**Fig II.5 :** essai Masse volumique absolue .

#### **résultats :**

- Masse de l'eau déplacé correspond au volume du corps :  $\underline{ME = M1 + M2 - M3}$
- Volume de l'eau déplacé :

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

- La masse volumique absolue est donnée par la formule :

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

➤

sable djamaa **2.59** g/cm<sup>3</sup>

➤ gravier touta 3/8 **2.52** g/cm<sup>3</sup>

➤ gravier touta 8/15 **2.52** g/cm<sup>3</sup>

➤ gravier touta 15/25 **2.53** g/cm<sup>3</sup>

-Sable (0/3):

Volume d'eau : 150 ml

Volume de sable : 150 g

$$150/58 = 2.586$$

-Gravier (15\*25):

Volume d'eau : 400 ml

Masse : 400 g

$$558-400=158 \quad 400/158=2.52$$

-Gravier (3\*8)(8\*15):

Volume d'eau : 400 ml

Volume : 558

$$558-400=158 \quad 400/158= 2.52$$

### II-1-5 Coefficient d'absorption d'eau : [NT 21-04-1984 , NF 18-554-1990]

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

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

**but :**

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

**Principe :**

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

**Mode opératoire :**

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

**résultats :**

	Échantillon de masse 1500 g	24 heures dans l'eau	écher l'échantillon à l'étuve à 105 ° c
Sable Djamaa	1500g	1738	1641
Gravier touta 0/3	1500g	1611	1577
Gravier touta 8/15	1500g	1538	1518
Gravier touta 15/25	1500g	1522	1506

**Tab II.6 :** résultats Coefficient d'absorption d'eau .

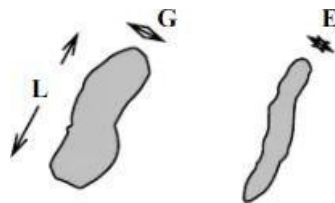
**II-1-6 Coefficient d'aplatissement [NF P 18-561 ] :****but :**

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

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

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

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



**Fig II.6 :** forme d'un granulats .

**Mode opératoire :**

- Le tamisage classique sur une colonne de tamis normalisés à mailles carrées afin de séparer les granulats en une succession de classes granulaires  $d/D$  dont les dimensions sont telles que  $D = 1.25 d$ .
- Les différentes classes granulaires  $d/D$  ainsi isolées sont tamisées une à une sur des grilles à fentes parallèles d'écartement  $E = d/ 1.58$ .
- On peut donc associer à chaque classe granulaire  $d/D$  un tamis à fente correspondant

de largeur E, ce qui permet de définir des coefficients d'aplatissement  $A_i$  partiels. Ensuite, on détermine un coefficient d'aplatissement global A.

Équipements :

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



**Fig II.7:** Appareillage Coefficient d'aplatissement .

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

**Tab II.7 :** Correspondance entre classes granulaires et largeurs des grilles à fentes

**résultats :**

- gravier touts 3/8 16.82 %
- gravier touts 8/15 13.74 %
- gravier touts 15/25 11.25 %

**II-1-7 Essai Micro Deval [ NF P 18-572 ] :****But :**

A pour but la détermination de la résistance à l' usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat .

**Description de la machine micro-Deval:**

La machine micro-Deval comporte un à quatre cylindres creux en acier inox ayant un diamètre intérieur de 20 cm et une longueur utile de 15.4 cm . Ces cylindres ont une épaisseur supérieure ou égale à 3 mm . Ils sont posés sur deux arbre horizontaux soudés sur châssis métallique tubulaire et sont aussi très è tanches grace un joint placé sur le couvercle .

Un moteur assure une rotation de 100 tours par minute et s'arrête en achevant le 12000 tours pour un échantillon de granulométrie variant entre 4-14 mm et 14000 tours pour un échantillon ayant une granulométrie variant de 25-50mm .

Elle a des billes d'inox de 10 mm .



**fig II.8:** Appareillage- Micro Deval.

**Principe de l'essai:**

Le matériau soumis à cet essai è volue par forttement des éléments les uns sur les autres , sur le cylinder de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive)

**Préparation de l'échantillon:**

La granulométrie de l'échantillon doit etre conforme à l'une des classes granulaires types : 4-6.3 ,

6.3-10 ; 10-14 ; 25-50 .

-Laver l'échantillon et le faire sécher à l'étuve jusqu' à une température 150C et un poids constant ( 5h au minimum)

- pour une granulométrie qui vraie 4-14mm prendre 500 g de l'échantillon et pour celle variant entre 25-50mm prendre 10 kg de l'échantillon.

**Mode opératoire :**

Concernant l'essai sur les gravillons compris entre 4-14mm , la charge de boulets relative à classe granulaire choisi

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

**Tab II.8 :** Classe granulaires, poids d'échantillons et boulets équivalent .

**Résultats :**

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

$$\mathbf{m = M - m'}$$

$$\mathbf{Cmd = 100 \times m / M}$$

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

Échantillon de masse :500 g

- gravier touts 3/8 20.07 %
- gravier touts 8/15 20.74 %
- gravier touts 15/25 23.02 %

**II-1-8 Essai los Angeles [N.F. P18.573] :****But :**

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

**Description de la machine los Angeles:**

-Un cylindre creux en acier de 12 mm d'épaisseur, fermé à ses deux extrémités ayant un diamètre intérieur de 711 mm et une longueur intérieure de 508 mm. Le cylindre est porté par deux axes horizontaux fixés à ses deux parois latérales, mais ils n'entrent pas à l'intérieur du cylindre. Sur toute la longueur de 150mm de largeur qui permet d'introduire l'échantillon. Au cours de l'essai cette ouverture est bouchée hermétiquement aux poussières par un couvercle immobile tel que la surface intérieure reste cylindrique ;

-Une tablette en saillie placée à 40 cm du rebord du couvercle. Elle est démontable, en acier dur et de section rectangulaire. Elle repose suivant un plan diamétral, le long d'une génératrice et est fixée par des boulons sur les parois latérales;

-Un moteur assurant au tambour de la machine une vitesse de rotation comprise entre 30 et 33 tours par minute;

-un bac destiné à ramasser les matériaux après l'essai ;

-Un compte-tours de type rotatif, arrêtant au nombre de tours voulu;

-une charge qui est constituée par des boulets sphériques de 47 mm de diamètre et pesant 420 et 445 g. Ces boulets ne doivent pas s'user de façon asymétrique.



**Fig II.9 :** Appareillage los Angeles .

**Mode opératoire :**

Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant mat\_riau aux chocs de boults et aux frottements réciproques de la machine Los Angeles . pour cela évolue pendant l'essai . la granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi six classes granulaires qui sont :

1. 4/6.3 mm
2. 6.3/10 mm
3. 10/14 mm
4. 10/25 mm
5. 16/31.5 mm
6. 25/50 mm

Selon le type de granulé , la masse de la charge de boults varie si M est la masse du matériau soumis à l'essai , M1 est la masse des éléments supérieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai qui est égoutté et séché l'étuve jusqu'à poids constant . On définit alors le coefficient Los Angeles LA qui un pourcentage en masse du rapport des éléments passant aux tamis de 1.6 et la masse initiale sèche .

$$LA = 100 * (M - M1) / M$$

LA: c'est la résistance à la fragmentation par chocs et par frottements réciproques des éléments du granulé .

**Résultats :**

Le coefficient Los-Angeles(LA) :

$$LA = m * 100M$$

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

**résultats :**

- gravier tout 3/8      **15.92 %**
- gravier tout 8/15      **15.45 %**
- gravier tout 15/25      **15.22 %**

**II-1-9 Propreté superficielle de gravier :****Définition et But de l'essai :**

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



**Fig II.10 :** gravier toute .

**Principe:**

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

**Matériel utilisé :**

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

**Mode opératoire:**

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

$$P(\%) = \frac{M0 - M1}{M0} * 100$$

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

**résultas :**

Échantillon de masse : 1500 g

- gravier touta 3/8     **0.87 %**
- gravier touta 8/15    **0.73 %**
- gravier touta 15/25    **0.60 %**

**II-2 L'eau de gâchage :**

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

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

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent).
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs

à condition de vérifier aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâche à l'Aure, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation .

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

**devant pas être utilisées comprennent :**

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

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

**Eaux usées:**

Eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au béton sa plasticité, donc son ouvrabilité. La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme NF EN 1008. L'eau utilisée pour le gâchage du notre béton est de l'eau potable

II-3 ciment utilisé :

FICHE TECHNIQUE



fig II.11 : La qualité du ciment utilisé .

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



















- **CEM II/A-L 42.5R** : Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013)

**domaine d' application :**

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

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

**formulation conseillée :**

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

Tab II.9 : formulation conseillée

**Remarque:** un bidon = 10 litres .

caractéristiques techniques :

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

#### II-4 Formulations du béton :

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

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

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

**II-4-1- Méthode de Dreux-Gorisse :**

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

- **Résistance souhaitée :**

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

**Résulta :**8.1.1 / DOSAGE EN EAU EST CIMENT :

En appliquant la formule suivante :

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

- $\sigma'_{28}$  = résistance moyenne du béton à 28 jours
- G = coefficient granulaire tableau 01
- $\sigma'_{c}$  = résistance moyenne du ciment par  $m^3$  de béton 55 mpa
- C = masse de ciment par  $m^3$  de béton
- E = masse d'eau par  $m^3$  de béton.
- Résistance à 28 jour  $f_{c28}$  en = 25 mpa
- L'affaissement 3 cm
- $M_v$  = réelle en  $g/cm^3 = 3.1$

On va tirer la valeur de coefficient granulaire en fonction qualité des granulats et

- D max selon méthode de DREUX GORISSE suivant le tableau : **Valeurs approximatives du coefficient granulaire G. [15] tableau 01**

Qualité des granulat	Dimension maximale D des granulats		
	Fin $D \leq 12.5$ mm	Moyen $20 \leq D \leq 31.5$ mm	Gros $D \leq 50$ mm
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	<b>0.50</b>	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

**Tab II.10: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G. [15]**

Résistance moyenne à 28 jour : calcul de  $f_{cm} = f_{c28} \times 1.15 = 25 \times 1.15 = 28.75 \text{ mpa}$

$\Rightarrow 28.75 = 0,5 \times 55 (C/E - 0,5) ; \quad \Rightarrow C/E = (28.75/27.5)+0.5$

$C/E = 1.6$  donc  $A=3 C/E = 1.6$  de la courbe  $C=350 \text{ kg/m}^3$

$C/E = 1.6 \quad E = C/1.6 \quad E = 350/1.6 \Rightarrow E = 219 \text{ L}$

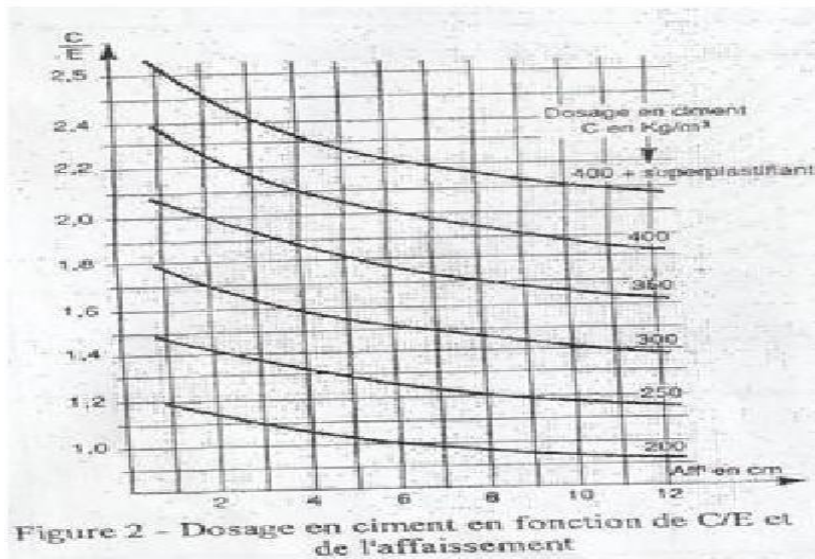


fig II.12 : Dosage approximatif en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée .

**8.1.2 Correction sur le Dosage en eau :**

Pour un mélange granulaire de diamètre,  $D_{max} = 25$  on va tirer la valeur de

Correction sur le dosage en eau selon méthode de DREUX GORISSE (Voir le tableau n°2) :

Donc :  $E = 219 - 0 = 219 \text{ l/m}^3$  LE RAPPORT  $E/C = 219/350 = 0.62$

**Tableau n°02 : la correction sur le dosage en eau.**

Dimension maximale des granulats en mm	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction sur le dosage en eau en%	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

Tab III1: la correction sur le dosage en eau.

**8.1.3 / 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  $X = 12.5$  mm, son ordonnée est :

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

- Ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D} + K'$  ;  $D = 25.0$  mm

- Détermination  $K'$  :

- $K' = K_p + K_s + K$

- $K_p = 6$  (béton pompé) - si la qualité du béton est précisée – pompable – il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité courante. On pourra pour cela majorer la terme correcteur K de la valeur  $K_p = +5$  à  $+10$  environ, selon le degré de plasticité désiré.

- $K_s = 6 * M_f - 15$  (étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2.5 pour laquelle la correction préconisée est alors nulle)  $K_s = 6 * 2.12 - 15 = -2.28$

- K : Terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la  $K = 0$

- Forme des granulats roulés ou concassés, pour notre cas vibration normale et dosage en

- Ciment = 350 et forme des granulats concassé la valeur de coefficient correcteur

- Donc :  $K' = -2.28$        $Y_A = 50 - \sqrt{25} - 2.28$        **$Y = 42.72$**

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

Vibration		Faible	Normale	Puissante
Forme des granulats (du sable en particulier)		Concassée	Concassée	Concassée
Dosage en ment	400	+ 2	0	-2
	370	+3	+1	-1
	350	+ 4	+ 2	0
	250	+ 8	+ 6	+ 4

Tab II 12: valeur du terme correcteur K.

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

- Gravier de classe 15/25 ..... **40** %
- Gravier de classe 8/15... ..... **21** %
- Gravier de classe 3/8 ..... **12** %
- Sable 0/3..... **27** %

Le volume absolu des 03 granulats pour 01 m<sup>3</sup> de béton en œuvre sera :

Volume absolue des composants solides :  $1000 \times 0,818 = 818$  l.

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

Volume absolu des granulats :  $818-113 = 705$  L.

En déduit :

1. Masse sable  $0,40 \times 705 \times 2,590 = 730.38 \text{ kg/m}^3$ .
2. Masse gravier 3/8  $0,12 \times 705 \times 2,520 = 213.19 \text{ kg/m}^3$ .
3. Masse gravier 8/15  $0,21 \times 705 \times 2,520 = 373.08 \text{ kg/m}^3$ .
4. Masse gravier 15/25  $0,27 \times 705 \times 2,530 = 481.58 \text{ kg/m}^3$ .
5. Masse ciment  $= 350 \text{ kg/m}^3$ .
6. Masse d'eau (hors adjuvant)  $= 219 \text{ kg/m}^3$

☒ Poids total



**2367.23 kg/m<sup>3</sup>**

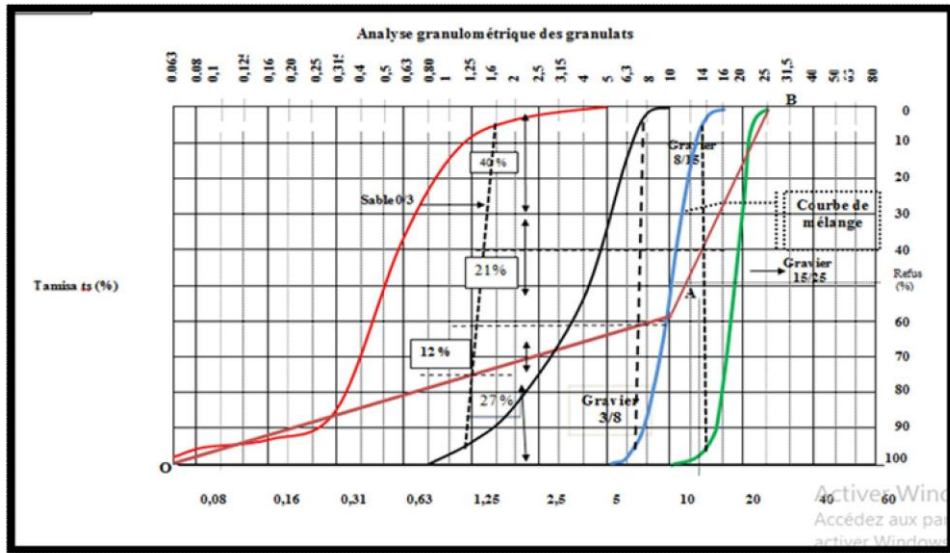


Fig II.13 : Le traçage de la courbe granulaire de référence AOB

## II-5 Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

- Cet essai est réalisé suivant la recommandation de la norme EN 12350-2 ( EN 12350- 2,1999), Il s'agit de donner l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids. Le béton est introduit dans le moule en 3 couches d'égales hauteurs qui seront mises en place au moyen d'une tige de piquage actionnée 25 fois par couche. Après avoir arasé en roulant la tige de piquage sur le bord supérieure du moule, le démoulage s'opère en soulevant le moule avec précaution. Le béton n'étant plus maintenu s'affaisse plus ou moins suivant sa consistance. La mesure doit être effectuée sur le point le plus haut du béton et dans la minute qui suit le démoulage comme la montre

But :

- L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance.

### **Mode opération:**

Pour réaliser cet essai une plaque et un cône d'Abrams sont utilisés:

- La plaque est en acier et a une surface dure et non-absorbante;
- Le cône d'Abrams est un cône en acier galvanisé. Il a un diamètre intérieur à sa base de 200mm , un diamètre intérieur à son sommet de 100 mm et une hauteur de 300mm . il porte le nom de son inventeur Duff Abrams .
  - Une tige d'acier lisse de diamètre 16 mm et à extrémité arrondie .
  - L'essai se déroule en suivant les étapes suivantes:
  - Le cône d'Abrams est placé puis fixé la plaque;
  - Le cône d'Abrams est rempli avec du béton frais en trois fois . A chaque couche est piquée par 25 coups à l'aide de la tige;
  - Le cône est arasé avec une tige;
  - Le cône est levé immédiatement, verticalement et doucement en le tournant un peu pour le démouler
  - L'affaissement du béton frais est mesuré.

L'affaissement est la distance mesurée entre le sommet du cône et le haut du béton

affaissé.



**fig II.14 :** Essai cône d'Abrams .

### **Interprétation des résultats:**

L'affaissement peut prendre différentes formes:

- Un effondrement complet du béton;
- Un affaissement par cisaillement , la partie supérieure du béton cisaille et glisse latéralement;
- Un véritable affaissement , le béton s'abaisse simplement , en gradant plus ou moins de forme .

Plus l'affaissement est élevé , plus le béton est fluide .

En dessous de 10 mm, l'essai d'affaissement au cône d'Abrams peut être remplacé

par l'essai véré.

Au-dessus de 220 mm , on parle de béton autoplaçant et l'essai d'affaissement au cone d'Abrams est remplacé par l'essai d'étalement au cone d'Abrams.

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

**Tab II.13:** La norme NF EN 206 classe l'affaissement du béton en cinq groupes

#### II-6 Nature de essais (DIS et N D ):

Dans ces expériences, nous avons utilisé 1 types de combinaisons

#### Quadruple :

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

de ces 01 formulation Nous avons coulé 12 moules Dimensionné (16\* 32

cm) Nous avons 24 Moules

+



**fig II.15 :** l'éprouvette 16 \* 32 cm

Nous avons coulé 12 moules pour chaque

---

combinaison Nous avons divisé 12 moule par 4 :

1. 3 moule 7 jour
2. 3 moule 14 jour
3. 3 moule 21 jour
4. 3 moule 28 jour

Après la fin du temps spécifié pour chaque prouvette

Nous faisons **presse a beton** et **ultrason** pour chaque brouvette

-Nous avons coulè 12 moules pour chaque combinaison nous avone divisè 12 moule par

4

Exposez-le à haute température pendant 12 heures :

1. 3 moule 7 jour
2. 3 moule 14 jour
3. 3 moule 21 jour
4. 3 moule 28 jour



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	

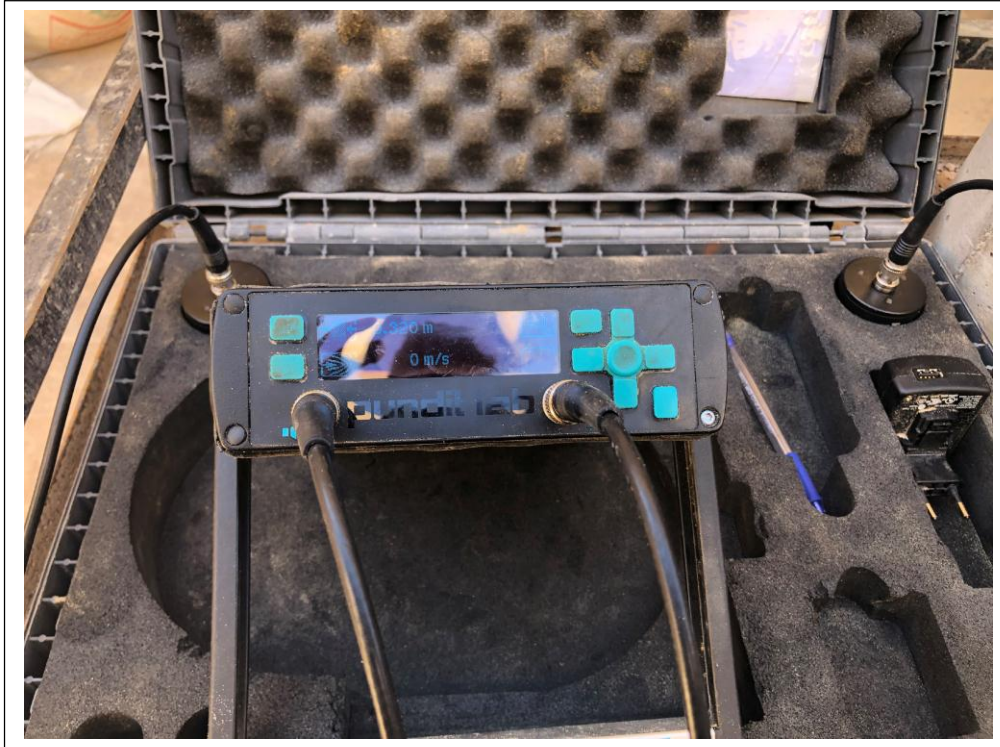
(La délivrance d'un certificat d'étalonnage SOCOVEC garantit la traçabilité des résultats aux étalons internationaux)

**RESULTATS DE L'ETALONNAGE**

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

**Conclusion :** Equipement Conforme est de classe 1





Société de Contrôle et de Vérification

**CERTIFICAT D'ETALONNAGE**

N° 794.MET.ZM.20

Délivré à : SARL NIZOLB.CONTROLE  
(EI 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 - EI 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  $\mu\text{s}$

*(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 ( $\mu\text{s}$ )	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		
25,4	25,4		



## II-1 résultats des essais : (sont le tableau Les suivants ):

Formulation	temps	Jour de collage	Date essai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason ( T =us/ =m/s)	Résultats de écrasement ( MPA) /(KN )
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	05-04- 2022	12-04-2022	T=80.3 V= 3985	20.7 448.4
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	05-04- 2022	12-04-2022	T= 81.5 V= 3926	18.2 433.5
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	05-04- 2022	12-04-2022	T= 84.7 V= 3778	19.1 398.7
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	05-04- 2022	19-04-2022	T=79.2 V=4040	22.3 479.7
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	05-04- 2022	19-04-2022	T=79.7 V=4015	22.1 476.4
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	05-04- 2022	19-04-2022	T=79.2 V=4040	22.5 488.1
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	05-04- 2022	26-04-2022	T= 89.0 V=3596	24.8 578.4
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	05-04- 2022	26-04-2022	T=92.0 V= 3478	25.3 671.7
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	05-04- 2022	26-04-2022	T=79.5 V=4025	28.3 748.5
0/3 – 3/8 – 8/15 – 15/25	28 j	05-04- 2022	04-05-2022	T=78 V=4103.9	28.3 742.5
0/3 – 3/8 – 8/15 – 15/25	28 j	05-04- 2022	04-05-2022	T=85 V=3780	30.1 710
0/3 – 3/8 – 8/15 – 15/25	28 j	05-04- 2022	04-05-2022	T=75 V=4248.6	30.6 804.1

Tableau II.14 : Formulation (sable DJAMAA + gravier 3/8 + gravier 8/15 + gravier 15/25)

A des températures plus élevées, nous avons trouvé :

Formulation	temps	Jour de collage	Date essai (ultrason/ écrasement)	Résultats de Ultrason ( T =us/ =m/s )	Résultats de écrasement (MPA) /(KN )
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	12-04-022	20-04-2022	T=120 V= 2666.7	11.7 268.4
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	12-04- 2022	20-04-2022	T= 122 V= 2596	8.2 223.3
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	7 J	12-04- 2022	20-04-2022	T= 121 V= 2613	13.8 250.1
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	12-04- 2022	27-04-2022	T=120.3 V=2655	14.3 237.1
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	12-04- 2022	27-04-2022	T=116 V=2749	13.4 263.4
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	14 J	12-04- 2022	27-04-2022	T=118 V=2700	12.9 258.6
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	12-04- 2022	04-05-2022	T= 111.5 V=2855	17.1 371.5
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	12-04- 2022	04-05-2022	T=106 V= 3025	16.6 332.3
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	21 J	12-04- 2022	04-05-2022	T=107.5 V=2974	16.2 311.3
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	28 J	12-04- 2022	11-05-2022	T=105 V=3050	19.3 483.2
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	2 8 J	12-04- 2022	11-05-2022	T=113.6 V=2789	20.6 544.7
0/3 - 3/8 8/15 - 15/25	2 8 J	12-04- 2022	11-05-2022	T=109.4 V=2900	21 578.4

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

## **Chapitre 03 : Analyse des résultats**

### III-1 Résultat Pour La Formulation:

- Résultat Ultrason (Vitesse Et Résistance)

D (cm)	T ( $\mu$ s )	V ( m/s )	Ed (MPA)	RC (bars)
32,00	80,30	3985,0	35444,7	223
32,00	81,50	3926,0	34402,9	221
32,00	84,70	3778,0	31858,0	217
32,00	79,20	4040,0	36429,8	225
32,00	79,70	4015,0	35980,3	224
32,00	79,20	4040,0	36429,8	225
32,00	89,00	3596,0	28862,5	211
32,00	92,00	3478,0	26999,4	208
32,00	79,50	4025,0	36159,8	224

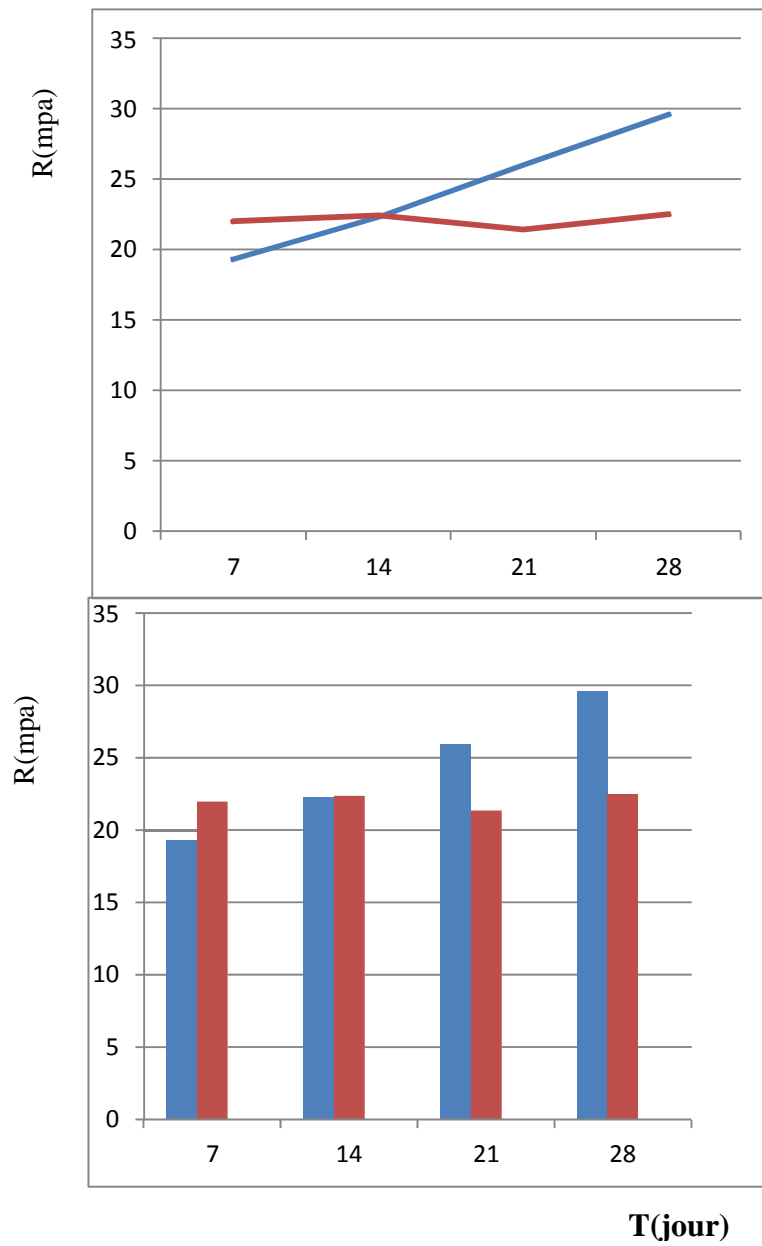
D (cm)	T ( $\mu$ s )	V ( m/s )	Ed (MPA)	RC (bars)
32,00	78,00	4103,9	37591,3	227
32,00	85,00	3780,0	31891,7	217
32,00	75,00	4248,6	40288,9	232
32,00	79,00	4015,0	35980,3	224

Tab III.1:Formulation/Résultat Ultrason vitesse et BAR

## Chapitre03

Formulation	temp s	Date de collage	Date eessai (ultrason Comprission)	Résultatsde Ultrason (T=us/ V=m/s)	Résultats de Ultrason (MPA )	Résultatsde Ecrasement (MPA ) / (KN)
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	05-04-2022	12-04-2022	T=80.3V=3985	22.3	20.7 448.4
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	05-04-2022	12-04-2022	T=81.5 V=3926	22.1	18.2 433.5
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	05-04-2022	12-04-2022	T=84.7 V=3778	21.7	19.1 398.7
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	05-04-2022	19-04-2022	T=79.2V=4040	22.5	22.3 479.7
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	05-04-2022	19-04-2022	T=79.7V=4015	22.4	22.1 479.4
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	05-04-2022	19-04-2022	T=79.2V=4040	22.5	22.5 488.1
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	05-04-2022	26-04-2022	T=89.0V=3596	21.1	24.8 578.4
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	05-04-2022	26-04-2022	T=92.0V=3478	20.8	25.3 671.7
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	05-04-2022	26-04-2022	T=79.5V=4025	22.4	28.3 748.5
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	05-04-2022	04-05-2022	T=78 V=4103.9	22.7	28.3 742.5
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	05-04-2022	04-05-2022	T=85 V=3780	21.7	30.1 710
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	05-04-2022	04-05-2022	T=75 V=4248.6	23.2	30.6 804.1

TabIII.2:Formulation(sableDJAMAA+gravier3/8+gravier8/15+gravier15/25)



**Fig III.1:** Comparaison des résultats de **Ecrasement** et Ultrason **R(mpa)/T(jour)**

**Bleu:** compression

**Rouge :** ultrason

### **III-1-1- Analyse des résultats:**

#### **1- Variation de la résistance à la compression en fonction de la vitesse ultrasonore:**

La vitesse des ondes sonores du béton résulte du temps nécessaire aux ondes pour traverser la pâte de ciment durcie.

Le tableau présente les résultats des ultrasons, de la vitesse et de la charge de chaque échantillon de la résistance à la compression et des vitesses des ondes sonores en 28 jours.

Nous constatons également que la résistance à la compression vraie de 7 jours à 28 jours dans le cas normal. nous avons également constaté que la vitesse dépend du module d'élasticité du granulats utilisés et de la quantité dans le béton, il n'y a pas de relation unique entre la résistance à la pression et la vitesse des ondes sonores, et le taux de propagation des ondes dépend des changements dans la pâte de ciment, car le pourcentage d'eau dans le ciment affecte le module d'élasticité. Nous constatons également que les vagues se déplacent plus rapidement à travers des espaces remplis d'eau ou d'air, donc l'humidité affecte le béton et sur la base de la vitesse des vagues, nous pouvons en déduire que la vitesse des vagues est liée à des facteurs externes tels que l'humidité, la température .....Etc.

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

Les figures (courbes et graphiques) montrent la variation de la résistance à la compression par écrasement et l'autre par ultrasons au cours du temps jusqu'à ce que le béton atteigne sa résistance normale après environ 28 jours. Parmi les différents composants du béton, on constate que l'échantillon ou le matériau a la capacité de supporter des charges sur sa surface sans aucune fissuration ni déflexion. Quant à la résistance aux ultrasons, on constate une légère augmentation avec l'âge. Ceci s'explique par l'absence de fissures dans la matrice cimentaire car la méthode des ultrasons est une méthode non destructive.

Il a été observé qu'il existe un écart entre les courbes de résistance à l'écrasement et de résistance aux ultrasons, qui peut s'expliquer des ondes ultrasonores.

A une température 315C:

D (cm)	T ( $\mu$ s )	V ( m/s )	Ed (MPA)	RC (bars)
32,00	120,00	2666,7	15872,0	190
32,00	122,00	2596,0	15041,9	189
32,00	121,00	2613,0	15239,6	189
32,00	120,30	2655,0	15733,4	190
32,00	116,00	2749,0	16867,2	192
32,00	118,00	2700,0	16271,3	191
32,00	111,50	2855,0	18193,1	194
32,00	106,00	3025,0	20424,2	197
32,00	107,50	2974,0	19741,3	196

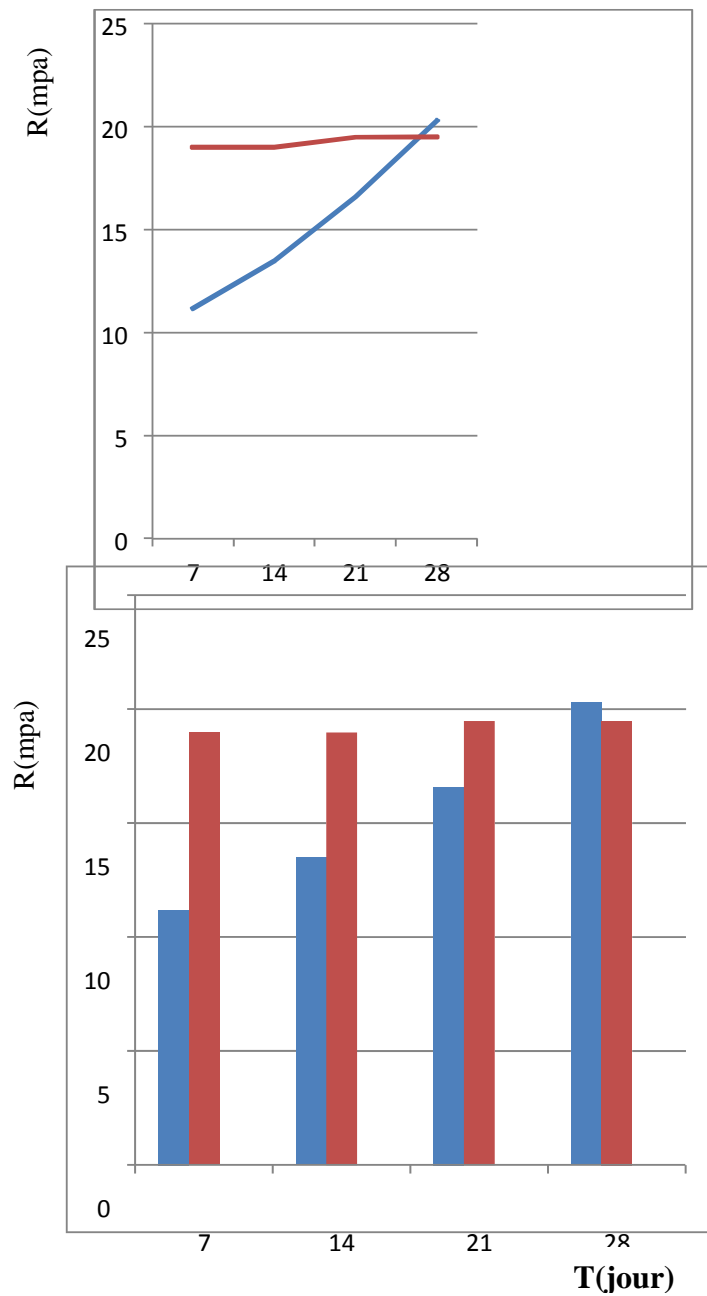
D (cm)	T ( $\mu$ s )	V ( m/s )	Ed (MPA)	RC (bars)
32,00	105,00	3050,0	20763,2	198
32,00	113,60	2789,0	17361,7	192
32,00	109,40	2900,0	18771,1	195

Tab III.3:Formulation/Résultat Ultrason vitesse et BAR

## Chapitre03

Formulation n°06	temp s	Date de collage	Date essai (ultrason Comprission)	Résultatsde Ultrason (T=us/ V=m/s)	Résultats de Ultrason (MPA )	Résultatsde Ecrasement ( MPA) / (KN)
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	12-04-2022	20-04-2022	T=120V=2666.7	19	11.7 268.4
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	12-04-2022	20-04-2022	T=122 V=2596	18.9	8.2 223.3
0/3 -3/8 8/15- 15/25	7 J	12-04-2022	20-04-202	T=121 V=2613	18.9	13.8 250.1
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	12-04-2022	08-05-2021	T=120.3 V=2655	19	14.3 237.1
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	12-04-2022	08-05-2021	T=116 V=2749	19.2	13.4 263.4
0/3 -3/8 8/15- 15/25	14 J	12-04-2022	08-05-2021	T=118V=2700	19.1	12.9 258.6
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	12-04-2022	20-05-2021	T=111.5V=2855	19.4	17.1 371.5
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	12-04-2022	20-05-2021	T=106V=3025	19.7	16.6 332.3
0/3 -3/8 8/15- 15/25	21J	12-04-2022	20-05-2021	T=107.5 V=2974	19.6	16.2 311.3
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	12-04-2022	11-05-2022	T=105 V=3050	19.8	19.3 483.2
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	12-04-2022	11-05-2022	T=113.6 V=2789	19.2	20.6 544.7
0/3 -3/8 8/15- 15/25	28j	12-04-2022	11-05-2022	T=109.4 V=2900	19.5	21 578.4

**TabIII.4:**Formulation(sableDJAMAA+gravier3/8+gravier8/15+gravier15/25)  
Dans température 315C



FigIII.2: Comparaison des résultats de **Ecrasement** et **Ultrason R (mpa)/T(jour)**

**Bleu : compression**

**Rouge : ultrason**

### **III-1-2- Analyse des résultats:**

#### **1-Variation de la résistance du béton en fonction de la température par ultrason et par encrassement :**

Les figures ( colonnes et courbes interlinéaires ) montrent la variation de la résistance du béton pour la résistance à l'écrasement et la résistance aux ultrason à une température élevée de 315 degrés pendant 12 heures à l'intérieur du four en termes de jours 7 à 28 jours .

Le but de ces mesures est de obtenir le maximum d'informations sur la qualité du béton exposé à haut température et la fiabilité des deux techniques .

La courbe de contraste de la résistance à la compression par ondes ultrasonores l'illustre , on remarque que la température élevée n'a pas d' effet notable sur la résistance et peut s'expliquer par l'absence de fissures dans la matrice cimentaire car cette technique n'est pas destructive .

D'autre part , la courbe de résistance à l'écrasement montre une différence de résistance par fissuration à la résistance est devenue faible avec la température élevée , ce qui s'explique par l'apparition cimentaire , en effet la température élevée entraine l'apparition de fissures et de ruptures à la surface de l'élément en béton .

Ces résultats confirment que la méthode par ultrason est tout à fait adaptée et fonctionne avec elle .

# Conclusion

### Conclusion

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

Deux tests ont été effectués pour la formule du béton dans des conditions normales et dans des conditions de haute température , 7 jours 14 jours 21 jours 28 jours à compter de la date de fabrication des échantillons afin de suivre les développements de la résistance à l'écrasement et de la compaction ultrasonique du béton au fil du temps l'objectif de ces mesures est d'obtenir un maximum d'informations sur la qualité du béton exposé à haute température , la fiabilité des techniques ultrasonores et la méthode de concassage

La température élevée n'a pas d'effet notable sur la résistance des ondes ultrasonores , et cela parce qu'il n'y a pas de fissures dans la matrice cimentaire, car cette technique n'est pas destructive . la température élevée entraîne une déchirure de la surface de l'élément en béton, car ces résultats confirment que la méthode par ultrasons y est bien adaptée.

Certaines études ont montré que la vitesse de propagation des ondes ultrasonores et la résistance à la pression sont affectées par plusieurs facteurs : humidité-taille de l'échantillon et granulats – type de mélange de ciment.

Cette méthode est utilisée dans le domaine du béton pour dériver : la valeur de la résistance du béton à la pression – la mesure des critères de flexibilité du béton – le degré d'homogénéité du béton – découverte des fissures et des vides.

# **Référence Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

---

### Site Internet

- 1- <http://thesis.univ-biskra.dz/1328/5/partieI%20chapitre%2003.pdf>.
- 2- Mahmoud Imam, sur le lien : Books.library.net

### Cours Pédagogique

- 3- Taher Zerig, Cours technologie de béton , Université Hama Lakhdar, Département génie civile.
- 4- GHOMRI Fouad, La formulation de béton, université Aboubaker Belkaid, Département Génie civil, Tlemcen, Algérie.

### Livre

- 5- Marc Goueygou, Fethi Soltani, Zoubeir Lafhaj, Bogdan Piwakowski, Pawel Safinowski, Jean-Paul Balayssac (2007), « Relation entre la vitesse ultrasonore et la porosité dans le mortier et le béton ». Groupe Electrique-Acoustique, IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole Centrale de Lille ; Laboratoire de Mécanique de Lille, LML UMR CNR CNRS 8107, Ecole Centrale de Lille ; Laboratoire matériaux et durabilité des constructions, INSA de Toulouse.
- 6- Fethi Soltani, Zoubeir Lafhaj, Marc Goueygou, (2007), « Etude expérimentale de la propagation de l'onde de surface dans un milieu poreux sec et saturé ». LML UMR CNRS 8107, Ecole Centrale de Lille ; IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole Centrale de Lille. Villeneuve d'Ascq, France.
- 7- A .Lambert, Y .Pralus et J. Rivenez, (1997), « Ultrasons Propagation des ondes ultrasonores ». Niveau 2, Centre Technique des Industries Mécanique (CETIM), pp 43.
- 8- SHAILESH GOKHALE, (2007), «Determination of applied stresses in rails using the acoustoelastic effect of ultrasonic Waves». Thesis of doctorat, Mumbai University, Mumbai, India.
- 9- P. Safinowski, B. Piwakowski, J-P .Balayssac, M. Goueygou, A.Kosecki, (2007), « Contrôle non destructif du béton par ultrason a laide d'un dispositif automatise ». Groupe Electrique-Acoustique, IEMN DOAE UMR CNRS 8520, Ecole centrale de Lille ; Laboratoire matériaux et durabilité des constructions (LMDC INSA-UPS).