

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

680

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



## Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université du 8 Mai 1945 Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie Civil

Option : Structures

Présenté par : Bounefla Moufida

Benzaid Wided

---

**Thème : Influence de la granulométrie sur la résistance du béton**

---

Sous la direction du : Mme KHALDI NACERA

Juin 2011

---

# Remerciements



*Nous tenons, d'abord à remercier en premier lieu et avant tout, notre DIEU le tout puissant qui nous a donné la force et la patience pour effectuer le présent travail.*

*Nous remercions nos très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.*

*Nous souhaitons également exprimer notre gratitude aux personnes qui nous ont aidé à effectuer ce travail et notamment notre encadreur : M me khaldi nacera pour son suivi et ses conseils durant l'évolution de ce travail ainsi qu'à tout les enseignants et personnel administratif du département de génie civil de l'université du 8 mai 1945 Guelma.*

*Nous tenons aussi à remercier tous les étudiants de la promotion 2010-2011 de master structure en particulier ainsi que tout les autres camarades du département génie civil.*

*Et tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

**MOUFIDA**

**WIDED**



---

## Résumé

Notre travail vise à déterminer la variation de résistance avec différente manière destructive et non destructive et nous avons utilisé dans ce travail différentes compositions de béton pour la réalisation des éprouvettes, en variant la taille des graviers utilisés

L'importance réside dans la résistance de béton en compression que nous avons mesuré expérimentalement, sur des éprouvettes après 7, 14 et 28 jours.

On considère que l'expérience de la résistance au choc (scléromètre) l'une des expériences qui été fait sur place ou au laboratoire sur l'éprouvette.

Le but d'essai d'ultrason est d'établir une relation entre la vitesse de propagation des ultrasons et la résistance. Seulement des différences peuvent exister, si on considère différentes compositions et âges des bétons, dans la relation vitesse des ultrasons / résistance en compression car les ultrasons peuvent être influencés par des propriétés des bétons qui n'affectent pas la résistance en compression au même degré.

On a étudié, dans ce travail, les incertitudes entre la  $v_{pu}$  et  $f_c$ , introduites par la différence de la granulométric

### Mots clés:

**Eprouvette cylindrique, presse, ultrason, scléromètre, essai destructif, essai non destructif**

---

## الملخص

لقد استعملنا تراكيب مختلفة للخرسانة في هذا العمل عند انجاز المخبرات وذلك بتغيير نوع الحصى. يهدف عملنا إلى معرفة مدى تغيرات مقاومة الخرسانة بطرق مختلفة منها تحطيمية والغير تحطيمية وقد اعتمدنا على الطرق التالية:

\* إن أهمية الخرسانة تكمن في قوة مقاومتها للضغط وتقاس هذه المقاومة تجريبيا بتحطيم مخبرات من الخرسانة بعد 7 و14 و28 يوم من خلطها.

\* تعتبر تجربة المقاومة للصدم (سكليرومتر) إحدى التجارب التي تقام ميدانيا على مخبرات \* أما تجربة الموجات فوق الصوتية فهي تهدف إلى تأسيس علاقة بين سرعة توليد الأمواج فوق صوتية والمقاومة. غير انه يمكن إيجاد اختلافات ، إذا أخذنا تراكيب وأعمار متعددة من الخرسانة في علاقة سرعة الأمواج فوق صوتية بالنسبة للمقاومة في الضغظ لأن الأمواج فوق صوتية يمكن أن تتأثر بخصائص الخرسانة التي لا تؤثر على مقاومة الخرسانة تحت الضغظ في الدرجة نفسها.

لقد درسنا في هذا العمل الارتياح بين سرعة توليد الأمواج فوق الصوتية والمقاومة باختلاف التراكيب.

### الكلمات الدالة

مخبرة اسطوانية, جهاز ضغط تحطيمي, جهاز الأمواج فوق الصوتية, scléromètre, تجربة تحطيمية, تجربة غير تحطيمية

# SOMMAIRE

## *PRESENTATION ET OBJECTIF DE L'ETUDE*

I. Problématique.....	01
II. Objectif.....	01
III. Présentation de l'étude.....	02

## *PARTIE I*

### CHAPITRE I :

### *ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE*

#### **I NOTIONS GENERALES**

I-1 Introduction.....	03
I-2 Définition du béton.....	03
I-3 Composition du béton.....	03
I-4 Caractéristiques des matériaux.....	05
* <b>Constitution du béton</b> .....	05
a) Le ciment.....	05
* Dosage du ciment.....	07
b) Granulats fins.....	07
* Dosage des granulats .....	08
c) Sable.....	11
d) Gravier.....	13
e) Eau de gâchage .....	13
* Dosage en eau.....	13
f) Adjuvants.....	13
I-6 Préparation du béton.....	14
a) Le malaxage.....	14
b) le Vibration.....	14
c) Moule des éprouvettes cylindriques.....	14

d)Durcissement.....	15
e)Le coulage .....	15
f) Le coffrage.....	16
g) Le décoffrage.....	16
I-7 Propriétés mécaniques du béton.....	16
a)Résistance à la compression.....	16.
b)Résistance à la traction.....	17
I-8 La plasticité.....	18
I-9 Porosité.....	18

## **CHAPITRE II:**

### ***ETUDE EXPERIMENTALE***

#### **II.1 Les essais sur béton**

<b>II .1.1 Essais destructifs.....</b>	<b>19</b>
a)Essais de compression.....	19
h)Essais de traction	19
<b>II.1.2 Essai non destructif.....</b>	<b>20</b>
* Définition .....	20
* Les principaux désavantages .....	20
* Les différents essais non destructifs.....	20
<b>II.2 PRESENTATION DES METHODES UTILISEES.....</b>	<b>23</b>
<b>a)Essais sclérométriques (NF P 18-417).....</b>	<b>23</b>
* Définition.....	23
* L'objectif de l'essai .....	23
* Principe de l'essai.....	24
* Utilisation d'un scléromètre.....	24
<b>b)Essai ultrasonique.....</b>	<b>25</b>
* Définition.....	25
* Principe de mesure.....	30.
* Mesure du temps propagation et de la longueur de parcours.....	30.

* Estimation de module élastique .....	31
*Relation vitesse du son résistance.....	31
<b>c) Essais destructifs (essais de compression avec la presse (NFP 18-406)).....</b>	<b>32</b>
*But de l'essai.....	32
*Présentation de la presse utilisée.....	32
*Conduite des essais.....	34
*Cure appliquée.....	34
*Confection des éprouvettes .....	35
<b>II-3 Résultats d'essais sur les éprouvettes.....</b>	<b>36</b>

## **PARTIE II**

### ***INTERPRETATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS***

<b>III.1</b> Etude comparative des résistances de différentes méthodes.....	45.
<b>III.2</b> Etude comparative des résistances de différent type de béton .....	47
<b>III.3</b> Conclusion générale.....	50

---

## *LISTE DES TABLEAUX*

<b>Tableau I.1:</b> dimensions de fabrication des moules éprouvettes cylindrique.....	15
<b>Tableau II.1 :</b> vitesses acoustique.....	27
<b>Tableau II.2:</b> Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions.....	30
<b>Tableau II.3:</b> Résultat d'essais du béton A à 7 j avec ultrason.....	37
<b>Tableau II.4:</b> Résultat d'essais du béton A à 7 j avec scléromètre .....	38
<b>Tableau II.5:</b> Résultat d'essais du béton A à 7 j avec la presse .....	38
<b>Tableau II.6:</b> Résultat d'essais du béton A à 14 j avec ultrason .....	39
<b>Tableau II.7:</b> Résultat d'essais du béton A à 14 j avec scléromètre .....	39
<b>Tableau II.8:</b> Résultat d'essais du béton A à 14 j par la presse .....	40
<b>Tableau II.9:</b> Résultat d'essais du béton A à 28 j avec ultrason .....	40
<b>Tableau II.10:</b> Résultat d'essais du béton A à 28 j avec scléromètre .....	40
<b>Tableau II.11:</b> Résultat d'essais du béton A à 28 j avec la presse.....	41
<b>Tableau II.12:</b> Résultat d'essais du béton B à 7 j avec ultrason.....	41
<b>Tableau II.13:</b> Résultat d'essais du béton B à 7 j avec scléromètre .....	42
<b>Tableau II.14:</b> Résultat d'essais du béton B à 7 j avec la presse .....	42
<b>Tableau II.15:</b> Résultat d'essais du béton B à 14 j avec ultrason .....	43
<b>Tableau II.16:</b> Résultat d'essais du béton B à 14 j avec scléromètre .....	43
<b>Tableau II.17:</b> Résultat d'essais du béton B à 14 j avec la presse .....	43
<b>Tableau II.18:</b> Résultat d'essais du béton B à 28 j avec ultrason .....	44
<b>Tableau II.19:</b> Résultat d'essais du béton B à 28j avec scléromètre .....	44
<b>Tableau II.20:</b> Résultat d'essais du béton B à 28 j avec la presse .....	44
<b>Tableau III.1:</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction l'âge du béton selon les différents méthodes utilisée.....	45
<b>Tableau III.2 :</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction l'âge du béton selon les différents types de béton.....	46
<b>Tableaux III.3:</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour ultrason.....	47
<b>Tableaux III.4:</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour scléromètre .....	48

---



---

**Tableaux III.5:** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour la presse .....48

---

---

## ***LISTE DES FIGURES***

<b>Figure I.1:</b> Stade de fabrication de ciment.....	<b>05</b>
<b>Figure I.2:</b> Courbe granulométrique d'un sable.....	<b>12</b>
<b>Figure I.3:</b> Malaxeur utilisé .....	<b>14</b>
<b>Figure I.4 :</b> Moule des éprouvette.....	<b>15</b>
<b>Figure I.5:</b> Différents essais sur les résistances d'un béton en traction.....	<b>18</b>
<b>Figure II.1:</b> Appareil sclérométique.....	<b>23</b>
<b>Figure II.2:</b> Utilisation du scléromètre.....	<b>24</b>
<b>Figure II.3:</b> Appareil ultrasonique .....	<b>25</b>
<b>Figure II.4:</b> L'appareil ultrasonique utilisé et principe de d'utilisation.....	<b>29</b>
<b>Figure II.5:</b> Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours.....	<b>32</b>
<b>Figure II.6:</b> Machine d'écrasement (la presse).....	<b>33</b>
<b>Figure II.7:</b> Géométric de l'éprouvette.....	<b>36</b>
<b>Figure II.8:</b> Les moules utilisées.....	<b>36</b>
<b>Figure III.1:</b> Evolution de la résistance en fonction des méthodes utilisées pour le béton <b>A</b> sur éprouvette cylindrique.....	<b>45</b>
<b>Figure III.2:</b> Evolution de la résistance en fonction des méthodes utilisées pour le béton <b>B</b> sur éprouvette cylindrique.....	<b>46</b>
<b>Figure III.3:</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour ultrason.....	<b>47</b>
<b>Figure III.4:</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour scléromètre.....	<b>48</b>
<b>Figure III.5 :</b> Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour la presse.....	<b>49</b>

---

---

### Notation

$f_{cj}$	[MPa]	Résistance en compression à j jours
$E_s$	[MPa]	Module élastique statique
$E_d$	[MPa]	Module élastique dynamique
$G_d$	[MPa]	Module d'élasticité transversale dynamique
$V_T$	[Km/s]	Vitesse de propagation des ondes transversales
$V_L$	[Km/s]	Vitesse de propagation des ondes longitudinales
$V$	[Km/s]	Vitesse de propagation
$\gamma$	[Kg/m <sup>3</sup> ]	Masse volumique
$\lambda$	[Hz]	Fréquence de ultrasons
$L$	[mm]	Longueur de parcours
$T$	[ $\mu$ s]	Temps de propagation
$R$	[MPa]	Résistance du béton
$P_{max}$	[KN]	Charge appliquée
$S$	[MPa]	Ecart type
$R_c$	[g]	Refus cumulé
$W$	[%]	Humidité
$n$	[-]	Nombre de coups
$v_{pu}$	[m/s]	Vitesse de propagation ultrasonique
$E/C$	[-]	Rapport Eau/Ciment
$S/S+G$	[-]	Rapport Sable/Granulats
$\mu_d$	[-]	Coefficient de Poisson dynamique
$\mu_s$	[-]	Coefficient de Poisson statique
$E.S.P$	[-]	Equivalent de sable Piston
$M_f$	[-]	Module de finesse
$a$	[cm]	Le diamtre de éprouvette
$b$	[cm]	Hauteur de éprouvette
$\nu$	[-]	Coefficient de poisson

---



## **I -Problématique**

Le béton est un matériau de construction qui trouve son champ d'utilisation dans pratiquement, tous les domaines du génie civil.

Actuellement il est sans doute le plus utilisé pour les avantages économiques techniques qu'il présente.

Cependant bien que largement utilisé depuis presque deux siècles, il s'agit d'un matériau dont le comportement n'a pas encore été totalement compris, sa microstructure poreuse rend son comportement difficilement prévisible, spécialement lorsque sa granulométrie change

Ce travail vise à apporter une étude de contribution à l'étude de la résistance du béton en fonction de sa granulométrie.

Plusieurs méthodes de contrôle peuvent être envisagées, parmi les quelles on peut citer les plus couramment utilisées à savoir :

- Les méthodes de contrôle destructives.
- Les méthodes de contrôle non destructives.

La première méthode est généralement évitée car elle présente divers inconvénients, d'une part, par sa nature destructive, et d'autre part, les éprouvettes et les carottes ne sont pas tout à fait représentatives du béton de structure correspondante.

A fin de contourner les inconvénients de la méthode destructive, une gamme d'essais, appelés essais non destructifs, a été développée, étant entendu que la structure peut être contrôlée sans toutefois modifier, ni sa performance ni son apparence.

## **II –objectif:**

L'objectif principal de ce travail est de faire une étude expérimentale qui sera réalisée sur des éprouvettes cylindriques dont l'objectif est de mesurer la résistance en compression, en faisant varier les dimensions des granulats par trois méthodes différentes.

Ces méthodes sont les suivantes :

- Le scléromètre (en fonction de la dureté de surface).
- La presse (en fonction de l'écrasement).
- Les vitesses de propagation ultrasoniques.

### **III –Présentation de l'étude**

Ce présent mémoire sera composé de deux parties :

#### **Partie 1 :**

**Chapitre 1:**Etude bibliographique qui consiste en un aperçu global sur le béton.

**Chapitre 2:**Etude expérimentale qui présente les différentes méthodes utilisées avec une présentation des appareils d'essais utilisés.

**Partie 2:** Présentation et interprétation des résultats obtenus avec conclusion.

---

# Chapitre I

## Etude bibliographique

---

## *Chapitre 1*

### *Etude Bibliographique*

## **I) NOTIONS GENERALES**

### **I-1) Introduction [1]**

Le béton a été depuis longtemps, le matériau le plus utilisé dans la construction il demeurera sans aucun doute le matériau le plus employé, au cours des prochaines décennies dans la construction de divers ouvrages.

Ce pendant l'utilisation d'un tel matériau est loin de se limiter à une simple application, sa mise en œuvre doit obéir à des règles strictes au-delà des quelles de sérieux problèmes peuvent apparaître.

Il est alors évident que la conception correcte d'un ouvrage quel qu'il soit requiert.

- 1) la connaissance des propriétés des matériaux utilisés.
- 2) le calcul de dimensionnement des pièces.

Cette connaissance des propriétés des matériaux implique qui en premier lieu, sont comme la constitution de ceux-ci c'est précisément l'objet de cet ouvrage qui traite:

- Des constituants des bétons et de leurs propriétés.
- Des propriétés pratiques et technologiques du béton lui-même.

### **I-2) Définition du béton [2]**

Le béton est un matériau hétérogène formé d'un mélange de plusieurs constituants. les granulats (gravillon et sable) le liant qui est généralement le ciment, l'eau et essentiellement les adjuvants en faible quantités tous ces constituants sont dosés dans des proportions convenable, pour obtenir une consistance convenable, et les qualités requises selon la destination du béton ce mélange fait prise, il devient alors un élément monolithique.

On appelle le mélange ciment - eau, la pâte de ciment et les particules des Granulats.

### **I-3) Composition du béton**

Le dosage de différents constituants du béton dépend de type de matériau recherché, déterminé par ses utilisations.

En effet, ses propriétés physiques et mécaniques dépendent de sa composition et de ses facteurs extérieurs, tel que la température. [7]



350kg de ciment.

400kg de sable.

800kg de gravillon.

175L d'eau de gâchage. [4]

#### **a) Méthodes de composition des bétons**

La recherche de la granulométrie optimum d'un béton est fondamentale, car c'est elle qui conditionne toutes les qualités du béton, ouvrabilité résistance imperméabilité, les méthodes de composition sont nombreuses on distingue celles qui utilisent des courbes de référence et celles basées sur d'autres principes. [6]

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées dont notamment:

-Méthode de BOLOMEY.

-Méthode D'ABRAMS.

-Méthode de FAURY.

-Méthode de VALLETTE.

-Méthode de BARON et LESAGE.

-Méthode de DREUX - GORISSE.

La méthode la plus utilisée est la méthode de Dreux- Gorisse puisque c'est une méthode simplifiée tirée par monsieur George Dreux de la méthode précédente. [9]

#### **b) Méthode Dreux-Gorisse[1]**

Cette méthode permet de définir d'une façon simple, et rapide une formule de composition à peu près adoptée au béton étudié, toute fois, seules quelques gâchées et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux, la composition définitive en fonction des qualités souhaitées et des matériaux utilisés.

#### **I-4) Caractéristiques du béton [8]**

Le comportement du béton évolue dans le temps. Il est d'abord fluide, puis, progressivement, il devient dur et résistant. Le durcissement est un phénomène de "cristallisation" du mélange eau et ciment qui "emprisonne" les granulats. Ce processus se produit pendant plusieurs jours.

A l'état frais (quand le processus de prise n'a pas encore débuté), le béton est suffisamment fluide ou maniable pour être transporté, pompé et pour remplir des coffrages ou des moules de toutes formes.

A l'état durci, le béton est caractérisé par :

- la résistance à la compression.
- la durabilité qui offre une importante pérennité, même dans les environnements extrêmes.
- les propriétés d'isolation thermique et acoustique.

Toutes ces propriétés, dépendent de la qualité des constituants du béton, (des quantités des divers éléments contenus dans un mètre cube de béton).

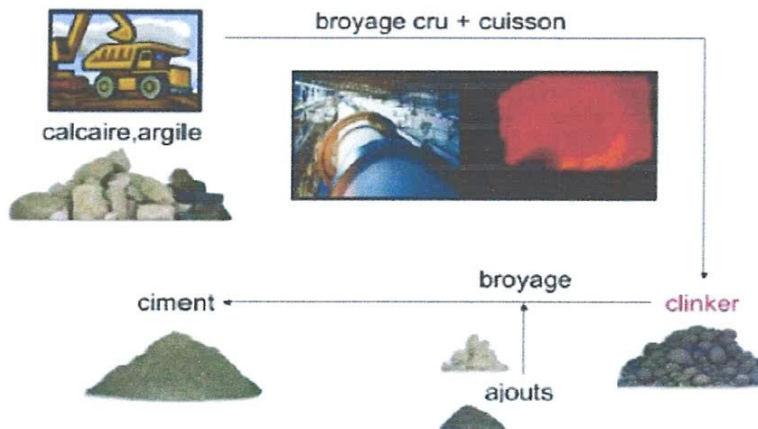
### **I-5 Caractéristiques des matériaux**

#### **\*Constitution du béton**

Pour fabriquer un béton, il faut des granulats (gravillons- sable) du ciment de l'eau et éventuellement des adjuvants ou des additions minérales. [9]

##### **a) Le ciment [3]**

Les ciments sont des poudres fines, obtenues par cuisson à haute température, et broyage d'un mélange minéral constitué de calcaire et d'argile, ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier les silicates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par hydratation, de faire prise et de durcir progressivement cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau, d'où le nom de liant hydraulique.



**Figure I.1:** Stade de fabrication de ciment [11]

---

\* **Les types de ciment [3]**

**1-ciment portland**

**a)ciment portland artificiel (CPA)**

Constitué on moins de 95 %de clinker:

**b) ciment portland composé (CPJ)**

Constitué au moins de 65% de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs de constituons secondaires suivants : laitier, pouzzolane, cendre, filler (dreux-1979) actuellement le ciment le plus utilisé (CPJ).

**c) Présentation du ciment portland composé**

Le ciment CPJ, est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts, du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

**2) ciment de haut fourneau (CHF)**

Le ciment de haut fourneau est constitué d'un mélange de clinker et de laitier de haut fourneau granule et broyé.

**3) ciment pouzzolanique**

Il existe deux classes de ciment pouzzolanique:

\*CPZ-CEM IV/A : dont le pourcentage en cendre on pouzzolane est compris entre 10et 35%.

\*CPZ –CEM IV/B: dont le pourcentage en cendre on pouzzolane est compris entre 36et55%.

**4) ciment au laitier et aux cendres**

Les constituants de ce type de ciment autre que le clinker sont le laitier, (le laitier est un sous produit de la sidérurgie) et la pouzzolane ou cendre volante

(La pouzzolane est un produit naturel d'origine volcanique), il existe deux types:

\*CLS-CEM V/A : dont le pourcentage de pouzzolane on cendre volante entre 18 et 30%.

\*CLS-CEM V/B : dont le pourcentage de pouzzolane ou cendre volante est compris entre31et 55%.

---

### **\*Dosage du ciment [5]**

Pour bien comprendre le caractère primordial du dosage en ciment il faut rappeler celui-ci remplit deux fonctions essentielles:

- la fonction de liant déterminante dans la résistance du béton.
- la fonction filler le ciment complète la courbe granulométrique du béton.

### **\*Origine géologique des granulats [25]**

La désagrégation des roches primitives par l'eau, le vent et le gel, entraîne la formation de dépôts sédimentaires en couches meubles plus ou moins épaisses d'éléments de grosseurs très variables, allant du sable fin aux gros blocs. Ces dépôts sont caractérisés par leur composition minéralogique, leur texture, leur état d'altération, et leur porosité. De ces caractéristiques dépendront les propriétés des granulats.

### **b) Granulats fins [3]**

Le granulat est un constituant essentiel du béton qui conditionne les caractéristiques mécaniques et physiques.

Les granulats sont définis comme un ensemble de grains minéraux de dimension compris entre 0 et 125mm, destinés à la confection des bétons ... etc.

On distingue:

#### **1) les granulats naturels**

Issus de roches meubles ou massives in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécaniques.

#### **2) Les granulats artificiels**

Qui provient de transformation mécanique des roches, de minerais de sous produits artificiels industriels ou encore de la démolition d'ouvrage ou d'un bâtiment de divers bétons.

#### **3) les granulats légers**

Sont de produit dont la masse volumique réelle est inférieure à  $2\text{t/m}^3$ , ce sont essentiellement des schistes des laitiers ou encore des pouzzolanes.

#### **4) les granulats courants**

Ont des masses volumiques réelles supérieures ou égales à  $2\text{t/m}^3$ .

## **5) les granulats de carrière**

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

### **\* Production des granulats**

Les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et les propriétés des granulats dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement, la production de granulats à partir des roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes:  
Le décapage - l'extraction - le traitement.

### **\* Dosage des granulats [5]**

Deux facteurs ont longtemps été considérés comme ayant une influence sur les qualités du béton, la proportion relative G/S est traduite par le facteur G/S que les études récentes ont fait apparaître comme moins importante, qu'on ne le pensait auparavant lorsque ce facteur reste inférieur à 2.

La granulométrie du sable peut par exemple être caractérisée par son module de finesse, le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2.2 et 2.8.

### **\* Classification granulométrique des granulats**

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans la série normalisée, ils sont désignés par d et D représente respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions de l'appellation commerciale des granulats.

### **\* Famille des granulats**

- Filler  $D \leq 2\text{mm}$  et contenant ou moins 70 % de passant à 0.063.
- Sable  $D \leq 6.3\text{mm}$  ramenant à 4mm pour le sable à béton.
- Sablons  $D \leq 1\text{mm}$  et contenant ou moins 10% de passant à 0.063.
- Gravillons  $d \geq 1\text{mm}$  et  $D \leq 31.5\text{mm}$ .

- Cailloux  $d \geq 20$  et  $D \leq 125$ mm.
- Gravier  $D > 6.3$ mm.

### **\*Influence des propriétés des gros granulats [23]**

Comme les trois quarts du volume d'un béton sont occupés par les granulats, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais selon leurs propriétés, ils affectent la durabilité et les performances structurelles du béton.

La contrainte à partir de laquelle se développent les fissures dépend en grande partie des propriétés des gros granulats : elle est plus faible lorsque les granulats présentent une surface lisse contrairement à ce que l'on obtient avec des granulats concassés de surface rugueuse, sans doute parce que l'adhérence est influencée par les propriétés de surface, et par la forme des granulats.

Les propriétés des granulats influencent aussi la charge de fissuration et la charge de rupture, lorsque le béton est sollicité en flexion et en compression. Dans le cas des bétons à haute performance, la forme et la texture du granulat influencent relativement moins la résistance de Rupture à la compression que la résistance à la traction, la première étant beaucoup plus dépendante de la résistance à la compression des granulats. Pour des bétons de laboratoire, L'utilisation de granulats dont la surface est lisse conduit à des résistances à la compression d'environ 10 % inférieures à celles obtenues avec des granulats de surface rugueuse. L'influence du type de gros granulats sur la résistance du béton est fonction du rapport E/C.

Pour des rapports E/C inférieurs à 0,40, les résistances obtenues peuvent être majorées de près de 40 % lorsque des granulats concassés sont utilisés plutôt que des gravier roulés.

La forme et la surface du gros granulat influencent, également la résistance aux chocs du béton de la même façon que la résistance à la flexion.

La liaison entre les granulats et la pâte de ciment est un facteur important pour la résistance des bétons, spécialement celle à la traction. La liaison est engendrée en partie par l'imbrication des granulats et de la pâte de ciment hydraté due à la rugosité de la surface des granulats. Une surface plus rugueuse, comme les granulats concassés, génère une meilleure liaison en raison de l'imbrication mécanique.

---

**Conditions requises pour l'utilisation des Granulats en construction[25]**

L'utilisation d'un granulat comme renfort dans le béton nécessite la vérification d'un ensemble de conditions, notamment :

- La nature minéralogique.
- La forme des grains.
- La dureté.
- La propreté.
- La granulométrie.
- Le pourcentage d'humidité.
- Le non réactivité chimique vis-à-vis du liant.

**\*Le rôle des granulats pour béton [24]**

Les granulats pour bétons sont des grains minéraux classés en fillers, sables, gravillons, graves ou ballasts, suivant leurs dimensions comprises entre 0 et 125mm.

Selon un concept traditionnel, les granulats constituent le squelette du béton.

Les granulats, qui sont généralement moins déformables que la matrice de ciment, s'opposent à la propagation des microfissures provoquées dans la pâte par le retrait.

Ils améliorent ainsi la résistance de la matrice.

La nature des liaisons qui se manifestent à l'interface granulat/pâte de ciment, conditionne les résistances mécaniques du béton.

Le choix d'un granulat est donc un facteur important de la composition du béton, qui doit toujours être étudiée en fonction des performances attendues, spécialement sur le plan de la durabilité.

**\*Propreté des granulats [24]**

Les granulats employés doivent être propres, car les impuretés perturbent l'hydratation du ciment et entraînent des défauts d'adhérence entre les granulats et la pâte.

La propreté est caractérisée par la teneur en particules fines (<0.5mm) essentiellement argileuses ou d'origine végétale ou organique dont la valeur acceptable P, mesurée conformément à la norme P 18-591, en ce qui concerne les granulats >2mm doit être <1.5.

Dans le cas des sables le degré de propreté est fourni par l'essai appelé «équivalent de sable piston PS», qui consiste à séparer le sable des particules très fines qui remontent par floculation à la partie supérieure de l'éprouvette ou l'on a effectué le lavage, l'essai est fait

uniquement sur la fraction de sable 0/2mm, la valeur de PS doit selon les cas être supérieure à 60 ou 65.

### c) Sable [3]

On appelle sable d'une manière générale le mélange meuble de grains de 0 à 6.3mm de provenance naturel ou artificiel.

#### \*Caractéristique géométrique du sable

\*Granularité : 0/1, 0/2, 0/4.

\*Exigences demandées.

1) teneur en fines.

2) module de finesse.

#### \* Composition granulométrique des sables

Les sables de carrières et les sables artificiels contiennent généralement diverses grosseurs des grains, presque tous les sables de carrières sont fins les meilleurs contiennent peu d'éléments moyen, la composition granulométrique d'un sable se définit par la proportion des grains des Diverses grosseurs qui le composent.

#### \*Module de finesse [9]

C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable , il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles 0.16-0.315-0.63-1.25-2.5, et 5mm sur 100 et calculé par la relation suivante:

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100}$$

Avec

Rc: refus cumulé sur tamis de module 23-26-32-35-38.

$M_f \geq 3.2$  sable gros.

$1.8 \leq M_f \leq 3.2$  sable moyen.

$M_f < 1.8$  sable fin .

#### \*Caractéristiques physiques [10]

##### \*Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique d'un matériau divisé a pour but de déterminer les dimensions des grains qui le constituent.



D'une manière générale, les particules d'un matériau divisé ont une forme quelconque et la définition Les granulats des mortiers sont analysés par des tamis ou passoire. La

Dimension d'un grain est alors, par définition le diamètre de la passoire qui le laisse juste passer.

Tout granulat est désigné par 2 nombres (d/D) représentent respectivement la plus petite (d) et la plus grande dimension (D) de ses grains. Tout interpelle (d/D) ainsi défini également appelé classe granulaire. De leurs n'est pas aisée.

**\*Courbe granulométrique**

Les Courbes granulométriques sont tracées en coordonnées semi logarithmiques. En ordonnées on porte le pourcentage, en poids, des tamisats sous les tamis dont les mailles sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

Toutefois, il convient de signaler si la dimension D des grains est mesurée sur tamis ou sur Passoires.

$D \text{ passoire} = 1.25 D \text{ tamis}$

On obtient en effet les mêmes résultats à travers un tamis de maille Dt qu'à travers une passoire à trous Dp.

Seulement, lors d'une représentation graphique, les dimensions D tamis seront décalées d'une graduation par rapport à la graduation D passoire.

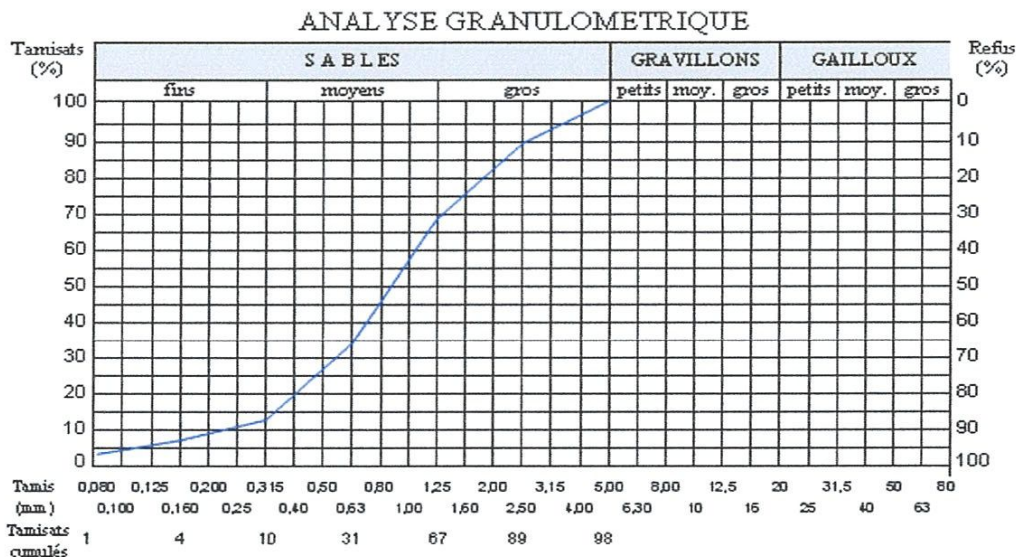


Figure I.2: Courbe granulométrique d'un sable

**\*La granulométrie [17]**

La granulométrie permet de déterminer l'échelonnement des dimensions des grains contenus dans un granulat.

Elle consiste à tamiser le granulat sur une série de tamis à mailles carrées, de dimensions d'ouverture décroissantes et à peser le refus sur chaque tamis. Les ouvertures carrées des tamis sont normalisées et s'échelonnent de 0,08 mm à 80 mm.

La courbe granulométrique exprime les pourcentages cumulés, en poids, de grains passants dans les tamis successifs.

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique.

**d) Gravier [18]**

Le gravier est composé de particules rocheuses, lisses quand elles sont issues d'une rivière (c'est le gravier le plus recherché), ou concassées quand elles proviennent d'une carrière il faut impérativement que gravier soit débarrassé de la boue et des saletés qu'il pourrait contenir avant de fabriquer le béton il existe différents calibres de gravier les plus gros calibres, sont utilisés en général pour les fondations et le gros œuvre.

La résistance du béton sera d'autant plus grande vous mélangerez différents calibres de gravier.

**e) Eau de gâchage [3]**

L'eau de gâchage la quantité totale ajoutée au mélange sec du béton elle est nécessaire pour l'hydratation de liant, le moulage des granulats et la facilité de la mise en œuvre

**\*Dosage en eau [5]**

Le dosage en eau est un facteur très important de la composition du béton, on pressent bien l'influence que le dosage en eau a sur la porosité du béton par les vides créés lorsque l'eau s'élimine pour différentes raisons.

Par exemple avec un C/E couramment utilisé de 2, on estime que la moitié de l'eau de gâchage sert à l'hydratation du ciment, l'autre moitié est une eau de mouillage interstitielle qui contribue à la plasticité du béton requise pour sa mise en œuvre.

**f) Adjuvants [3]**

Les adjuvants (additifs) sont incorporés au béton en faible quantité (moins de 10 kg/m<sup>3</sup>)

Les super plastifiants ou fluidifiants ont des propriétés similaires à celles de réducteurs d'eau mais, avec une efficacité beaucoup plus importante, ils permettent des fluidités extrêmes utiles pour produire des bétons autoplaçants.

## **I-6 Préparation du béton**

### **a) Le malaxage [12]**

Le mélange intime des constituants s'effectue dans les bétonnières ces appareils fonctionnent de manière discontinue gâchée par gâchée les bétonnières de capacité inférieure à 500 litres comportent une cuve basculante de révolution ou tambour animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe auquel, on peut donner des inclinaisons différentes selon que l'on veut remplir le tambour assurer le malaxage ou extraire le béton la cuve comporte un seul orifice centré sur l'axe de rotation.



**Figure I.3:** Malaxeur utilisé

### **b) Vibration du béton [12]**

Le béton doit être mis en place et compacté convenablement dans les moules ou dans les coffrages, le compactage opération qui permet l'élimination de l'air présent dans le béton est une opération qui demande le plus de main d'œuvre.

### **c) Moule des éprouvettes cylindriques**

**Tableau I.1:** dimensions de fabrication des moules éprouvettes cylindrique

D (mm)	Section (cm) par un plan		Dimensions de fabrication (mm)		de format
	Diamétral	orthogonal	hauteur	Diamètre	
	$\leq 25$	248	100	220	
$\leq 40$	511	200	320	159.6	Cylindre de 16
$\leq 63$	262	500	500	252.5	Cylindre de 25



Figure I.4 : Moule des éprouvettes

#### d) Durcissement [13]

Le durcissement est la période qui vient après la fin de prise, elle se poursuit pendant des mois à cause du phénomène d'hydratation, mais considère qu'après 28 jours d'âge le ciment a atteint la presque totalité de sa résistance.

#### e) Le coulage [14]

Un béton ne devrait jamais être "coulé", puisqu'il ne devrait jamais être liquide. Un bon béton est "placé". Le plus difficile, c'est le placement du béton dans des armatures. C'est pourquoi,

naturellement, pour soulager ses muscles, on est tenté par un béton liquide (qui glisse tout seul, bref un mauvais béton). Ce d'autant plus, qu'une fois sec on ne verra pas la différence ... (si ce n'est dans un laboratoire de résistance des matériaux sur des échantillons).

#### **f) Le coffrage [14]**

Même si le coffrage sera défait quelques jours plus tard. Il doit être fait avec un très grand soin. il serait totalement inadmissible qu'un coffrage lâche ... sous la pression du béton, des vibrations, de coups de marteaux et autres chocs. Malgré tout ... prévoir un endroit où on pourrait "jeter le béton" avant la prise. Le coffrage sera autant que possible plastifié. (Planches + feuille de plastique, bétonplex, ..).

#### **g) Le décoffrage [14]**

La résistance mécanique du béton sera 100 % après 21 jours (et atteindra plus de 120 % après un an). Décoffrer le plus tard possible. Cependant, s'il faut, un décoffrage (sans chocs) peut avoir généralement lieu.

### **I-7 Propriétés mécaniques du béton**

Un béton est défini par les caractères suivants:

#### **a) Masse volumique [7]**

La masse volumique des bétons est comprise entre 2200 et 2400 Kg/m<sup>3</sup> cette masse volumique peut augmenter avec la modalité de mise en œuvre, en particulier avec la vibration, on prendra dans notre cas une masse volumique de 2500 Kg/m<sup>3</sup>.

#### **b) Résistance à la compression**

Cette résistance est déterminée après de nombreux essais réalisés sur éprouvettes cylindriques.

Le béton est connu par sa résistance de compression définie à 28 jours

$$f_{cj} = (j/4.76 + 0.83j) f_{c28} \quad \text{si: } f_{c28} < 40 \text{ MPa}$$

et

$$f_{cj} = (j/1.40 + 0.95j) f_{c28} \quad \text{si: } f_{c28} > 40 \text{ MPa [4]}$$

La valeur  $f_{cj}$  est conventionnellement bornée supérieurement à 28j pour d'autres types de vérifications, on peut admettre une valeur au plus égale à  $1.10 f_{c28}$ , lorsque l'âge dépasse 28j on peut alors évaluer la valeur de  $f_{cj}$  par :

$$f_{cj} = (j/4.76 + 0.83j) f_{c28} \quad 28 < j < 60$$

Et

$$F_{cj} = 1.10 f_{c28} \quad \text{pour} \quad j \geq 60 \text{ [2]}$$

### c) Résistance à la traction

La résistance à la traction du béton à "j" est conventionnellement donnée par la relation du

$$f_{ij} = 0.6 + 0.06 f_{ij}$$

Cette formule est valable pour  $f_{cj} \leq 60 \text{ MPa}$  [2]

Nous pouvons à ce propos citer les essais suivants:

#### \* l'essai en traction directe:

La résistance à la traction  $f_{ij}$  est donnée par:

$$f_{ij} \text{ (MPa)} = F/s$$

Avec

F: effort maximal de traction.

S: la section droite de l'éprouvette.

#### \* l'essai de traction par fondage

La résistance est donnée par la formule suivante:

$$f_{ij} = 2 \times (F/3.14DH)$$

Avec F: la charge de rupture en (N)

D et H: c'est le diamètre et la hauteur en (mm) [4]

#### \* l'essai de traction par flexion [15]

Les essais le plus courants sont des essais de traction par flexion. Ils s'effectuent en général sur des éprouvettes prismatiques d'élanement 4, reposant sur deux appuis (Figure2):

- soit sous charge concentrée unique appliquée au milieu de l'éprouvette (moment maximal au centre).
- soit sous deux charges concentrées, symétriques, égales, appliquées au tiers de la portée (moment maximal constant entre les deux charges) (Figure.5)

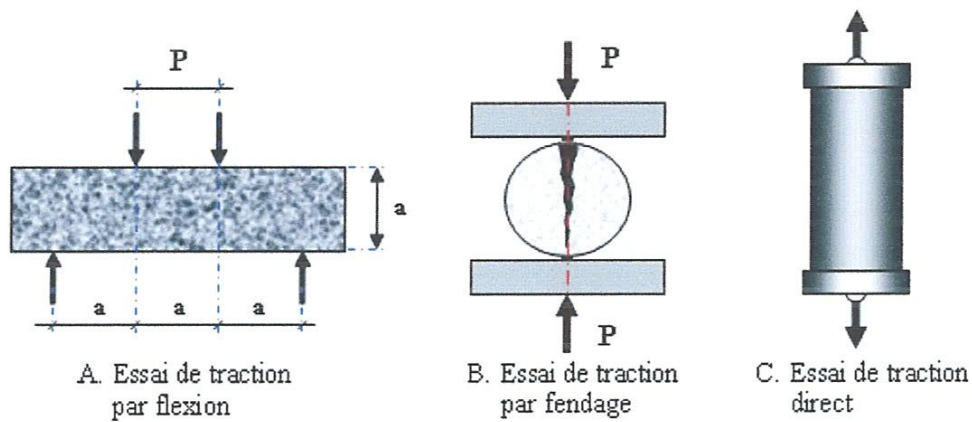


Figure I.5: Différents essais sur les résistances d'un béton en traction

### I-8 La plasticité [16]

La plasticité du béton frais, appelée aussi consistance ou maniabilité, se mesure par l'affaissement au con d'Abrams (slump test), elle doit être juste suffisante Pour permettre une mise en œuvre correcte, le dosage en eau des bétons conditionne leur plasticité, un dosage en eau élevé diminue leurs performances mécaniques ainsi que leur imperméabilité et augmente les risques de fissuration.

### I-9 Porosité [3]

C'est une mesure de pore accessible à l'eau elle est déterminé en mesurant l'augmentation de la masse d'un échantillon sèche, au four après avoir été émergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement.

Le rapport entre l'augmentation de la masse et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage est défini comme étant l'absorption  $A_b$  (NEV-2000), qui ne doit pas dépassé le 5%.

Une absorption d'eau élevée diminue le module d'élasticité et accroît le fluage.

---

# Chapitre II

Étude expérimentale

---



## *Chapitre 2*

### *Etude expérimentale*

## II ETUDE EXPERIMENTALE

### II-1 Les essais sur béton

#### II-1-1 Essais destructifs

L'essai destructif est mené sur des échantillons de bétons (éprouvettes cylindriques de type  $16 \times 32$ ) cm<sup>2</sup>, l'essai pose, entre autres, le problème de la représentativité des échantillons prélevés et du nombre d'essais limité au nombre d'échantillons.

#### a) Essais de compression [13]

L'essai de compression est un essai simple, représentatif, reproductible, c'est pourquoi on utilise souvent ses résultats pour caractériser un béton.

La norme AFNOR impose le surfaçage pour chaque éprouvette, celle-ci est destinée à obtenir des éprouvettes cylindriques ayant leurs faces de chargement planes, orthogonales aux génératrices et frettées dans les mêmes conditions par les plateaux de la presse, cette opération étant relativement longue, nous contenterons de placer deux plateaux métalliques au dessus et dessous les éprouvettes.

L'éprouvette est placée verticalement entre les plateaux d'une machine de compression, l'effort de compression est appliqué progressivement sur l'éprouvette et la résistance à la compression pour expression:

$$R_c = P_{\max} / S$$

$S = 200 \text{ cm}^2$  pour une éprouvette ( $16 \times 32 \text{ cm}^2$ ).

#### b) Essais de traction par fendage [13]

L'éprouvette ( $16 \times 32$ ) est placée horizontalement entre les plateaux d'une machine de compression ; la rupture de l'éprouvette se fait suivant une fissure verticale, la valeur de la résistance à la traction est déterminée par la relation suivante:

$$R_t = (2 \times F_{\max}) / (3T \times a \times h)$$

a : le diamètre de l'éprouvette.

b : hauteur de l'éprouvette.

## **II 1-2 Essai non destructif [20]**

### **\*Définition**

Les essais non destructifs ou encore contrôles non destructifs (ces derniers évoquant mieux l'aspect qualité industrielle que les premiers, qui évoquent plutôt les examens en laboratoire) c'est l'ensemble des techniques et procédés aptes à fournir des informations sur la santé d'une pièce, ou d'une structure sans qu'il en résulte des altérations préjudiciables à leur utilisation ultérieure.

L'objectif des contrôles non destructifs est la mise en évidence de toutes les défauts susceptibles d'altérer la disponibilité, la sécurité d'emploi et ou, plus généralement, la conformité d'un produit à l'usage auquel il est destiné.

### **\*Les principaux désavantages [21]**

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

### **\*Les différents essais non destructifs**

#### **A) l'auscultation dynamique [19]**

Se fait par mesure de la vitesse du son, laquelle est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. On admet en général que la connaissance de la vitesse du son permet de porter sur le béton, une appréciation sur la résistance en compression mais pour que cette appréciation soit valable pour un certain béton un étalonnage sur éprouvette est pratiquement indispensable: on le réalise par des mesures jumelées de résistance en vitesse du son : en effet, la vitesse de son n'est pas une fonction simple de la résistance mais d'autres paramètres interviennent (densité, module d'élasticité) pour un béton de granulat léger par exemple de:

Résistance  $\sigma = 275$  bars, la vitesse du son n'est que de 3800m/s alors que pour un béton dense de granulat silico-calcaire elle serait de l'ordre de 4200 m/s pour une résistance du même ordre : mais pour ce béton léger la densité n'est que 1.65 et le module d'élasticité instantané 180 000 bars.

### **B) Essais de détection [19]**

Essais ayant pour but de s'assurer dans une certaine mesure la régularité de la fabrication et de vérifier, si les caractéristiques prescrites sont bien atteintes, mais dans des conditions moins rigoureuses que celles prescrites par l'ensemble des normes relatives aux essais de contrôle, cette catégorie d'essais a été demandée par certains bureaux de contrôle qui savaient par expérience, qu'il ne serait pas facile de respecter en toute rigueur toujours et sur tous les chantiers les prescriptions relatives aux essais de contrôle, ces essais dits de détection ont donc essentiellement pour but d'attirer l'attention des services de contrôle sur des résistances jurées insuffisantes, mais seules les valeurs obtenues par des essais de contrôle définissent la résistance du béton destiné à être mise en œuvre par rapport à ses valeurs contractuelles, il est à signaler que dans un même souci de facilités à accorder à certains chantiers de moindre importance et dans le cas de béton de qualité courante.

Ces essais sont exécutés dans des conditions moins rigoureuses que les essais de contrôle ou d'information, mais le principe est de tenter de se rapprocher le plus possible de la technique d'exécution soit de l'un de ces essais soit de l'autre, suivant ce que l'on cherche c'est particulièrement en ce qui concerne condition de conservation que l'essai de détection se montre plus tolérant.

### **C) Essais de résistance à la pénétration**

La sonde de Windsor est généralement reconnue comme le meilleur moyen pour exécuter l'essai de résistance à la pénétration. L'équipement comprend un pistolet à poudre, des sondes en alliage durci, des cartouches chargées, une jauge de profondeur pour mesurer la pénétration des sondes et d'autres accessoires connexes. Une sonde de (6.5 mm) de diamètre et de (8.0 cm) de longueur est enfoncée dans le béton au moyen d'une charge de poudre de précision. La profondeur de la pénétration fournit une indication de la résistance du béton à la compression. Quoique des tableaux d'étalonnage soient fournis par le fabricant, l'instrument doit être étalonné selon le type de béton et le type de la grosseur des granulats utilisés.

Limites et avantages. Cette méthode donne des résultats variables, et il ne faut pas s'attendre à obtenir des mesures précises de la résistance du béton. Cet essai a toutefois l'avantage de fournir un moyen rapide de contrôler la qualité et la maturation du béton coulé sur place. Il fournit aussi un moyen d'évaluer le développement de la résistance par le cure. Cet essai est essentiellement non destructif puisqu'il peut être effectué sur place sur le béton et les éléments de charpente, et qu'il ne nécessite qu'un rebouchage mineur des trous sur les faces qui ont subi l'essai.

#### **D) Essais d'arrachement**

Un essai d'arrachement permet de mesurer, à l'aide d'un instrument spécial, la force nécessaire pour extraire du béton une tige d'acier spécialement profilée et dont l'extrémité élargie a été noyée dans le béton à une profondeur de (7.6 cm). Le béton est soumis simultanément à un effort de traction et de cisaillement, mais la force nécessaire pour provoquer l'arrachement peut être fonction de sa résistance à la compression. L'essai d'arrachement permet ainsi de mesurer quantitativement la résistance du béton coulé sur place lorsque des corrélations appropriées ont été effectuées. On a constaté que dans un grand nombre de cas, la résistance à l'arrachement a un coefficient de variation comparable à celui de la résistance à la compression.

Limites et avantages. Quoique les essais d'arrachement ne permettent pas de mesurer la résistance intérieure du béton de masse, ils fournissent des indications sur la maturation et le développement de la résistance dans une partie représentative du béton de masse. De tels essais ont l'avantage de donner une mesure quantitative de la résistance du béton coulé sur place. Le principal désavantage de ces essais est qu'ils exigent une préparation, et que l'ensemble nécessaire à l'arrachement doit être mis en place dans le coffrage avant que le béton soit coulé. L'arrachement cause bien sûr quelques dommages mineurs. Cet essai peut toutefois être non destructif si l'application de la force minimale d'arrachement est arrêtée avant la rupture, mais il faut s'assurer qu'une résistance minimale a été atteinte. Ces renseignements sont d'une grande valeur pour savoir à quel moment les coffrages peuvent être enlevés sans danger.

## II-2 PRESENTATION DES METHODES UTILISEES

### a) Essais sclérométriques (NF P 18-417) [19]

#### \*Définition:

Le scléromètre est un appareil que l'on applique sur le béton durci ,a tester et une compression manuelle entraîne la projection d'une petite masselotte sur le béton : grâce à un index mobile on enregistre le rebondissement de cette masselotte, lequel est d'autant plus important que le béton est plus dur. Donc en principe, plus résistant ,il faut considérer la moyenne d'un assez grand nombre de points (une douzaine au moins). par comparaison avec des essais d'écrasement d'éprouvettes du même béton on peut étalonner l'indice sclérométrique S; c'est indispensable à notre avis (par exemple .en passant au scléromètre une éprouvette prismatique d'assez gros volume ;prisme de 20 par exemple ) bétonnée en même temps que des cylindres que l'on écrase.

La formule  $\sigma$  (en bars).

$$\sigma \approx (S^2/3) - 2 \times S$$

Avec:

S: indice sclérométriques.



Figure II.1: Appareil sclérométrique

#### \*L'objectif de l'essai [22]

Cet essai permet de tester l'homogénéité du béton in situ et d'obtenir une estimation rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de Béton durci par carottage.

### **\*Principe de l'essai**

En fait il s'agit de tester la dureté de surface d'un béton durci. Cette dureté étant d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné

### **\*Utilisation d'un scléromètre [23]**

1- Lorsque le scléromètre est dans son coffret de rangement, la tige de percussion se trouve bloquée dans le corps du scléromètre. Pour la faire sortir appuyer la tige de percussion sur une surface dure afin qu'elle se libère.

2- préparer la surface à tester en enlevant, si nécessaire, l'enduit appliqué, avec la pierre abrasive fournie avec le scléromètre.

Appliquer la tige perpendiculairement à la surface et appuyer le scléromètre d'une manière continu, et uniforme contre la surface jusqu'à ce que la masselotte percute.

Ne jamais presser le bouton de blocage lors d'une lecture .il faut appuyer dessus seulement à la fin de l'essai pour maintenir la tige dans le boîtier.

3- après l'impact, la masselotte rebondit en entraînant un curseur de référence. Plus le béton est dur, plus le curseur avancera. lors de l'appui sur le bouton de blocage le curseur est maintenu dans sa position maximale et le capteur électrique relève sa position pour la transformer en valeur digitale.



**Figure II.2:** Utilisation du scléromètre

**b) Essai ultrasonique [23]**

Les ultrasons sont des vibrations mécaniques prenant naissance et se propageant dans tout support matériel (solide, liquide ou gaz), présentant une certaine élasticité. En continuation de la gamme sonore, les ultrasons correspondent à des fréquences oscillatoires supérieures à la limite d'audibilité humaine et s'étendant dans une large gamme, allant de 15 kilohertz (nettoyage) à plus de 100 MHz (microscopie acoustique, application électronique).

La gamme 1 à 10 MHz couvre la grande majorité des applications des ultrasons en contrôle non destructif industriel, car ces fréquences correspondent, pour les matériaux courants, à des longueurs d'onde ultrasonore de l'ordre du millimètre.

Valeur réalisant un bon compromis entre directivité, absorption, détectabilité des petits défauts, facilité de réalisation d'appareillages électroniques et de transducteurs faibles et économiques.

**\* Définition**

L'appareil d'auscultation sonique est utilisé pour mesurer le temps et la vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques à travers le béton par cette méthode. Il est possible d'obtenir de manière non destructive des informations sur :

- uniformité et homogénéité du béton.
- présence de fissures ou de cavités.
- la détermination du module d'élasticité dynamique (E et  $\nu$ ).
- évaluer le moment de décoffrage.



Figure II.3: Appareil ultrasonique

### **\* Champ d'application**

Le champ d'application du contrôle ultrasonore concerne principalement, outre bien entendu le domaine médical, l'examen des pièces métalliques et de leurs assemblages en fabrication et en service, donc l'ensemble des industries métallurgiques, mécaniques, nucléaires et aéronautiques. Ce champ s'élargit de plus en plus au contrôle des matériaux et assemblages non métalliques, céramiques, polymères, matériaux composites, béton; cela s'effectue lentement, en égard aux difficultés pratiques rencontrées et dues à la nature même de ces produits à structure peu homogène et anisotrope.

Les ultrasons sont très employés pour les mesures d'épaisseur, et plus récemment, dans l'évaluation de certains paramètres métallurgiques comme les grosseurs de grains, les textures, les profondeurs de traitements thermochimiques superficiels sur les aciers, et enfin l'estimation des contraintes mécaniques.

### **\* Caractérisation ultrasonore**

Les techniques ultrasonores sont devenues l'outil privilégié pour le contrôle et l'évaluation non destructifs des propriétés mécaniques des matériaux.

Ces techniques sont largement mises en œuvre dans nombreuses applications parmi lesquelles on retiendra comme exemple la détermination de défauts microscopiques ou macroscopiques et la détermination des propriétés intrinsèques des matériaux.

Les caractéristiques ultrasonores principales qui sont exploitées sont:

- la vitesse de propagation dans le milieu, qui est directement associée à la densité du matériau et ses propriétés élastiques.
- l'atténuation dans le matériau, qui est liée à la viscosité du matériau.

### **\* Vitesse [9]**

Les vitesses de propagation (théorie d'élasticité) des ondes ultrasonores longitudinales (VL), transversales (VT) et de Rayleigh (VR), sont déduites à partir de la résolution de l'équation de propagation.

Quelques exemples de vitesses moyennes VL et VT pour les matériaux couramment utilisés en contrôle non destructif, sont données par le tableau 1. Il s'agit de valeurs moyennes, car les paramètres élastiques des matériaux dépendent de l'état physique et chimique précis de ceux-ci (analyse et microstructure pour les métaux, par exemple).



<b>Matériau</b>	<b>Masse volumique (10<sup>3</sup>Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>V<sub>L</sub> (m/s)</b>	<b>V<sub>T</sub> (m/s)</b>
<b>aciers</b>	7.8	5900	3250
<b>béton</b>	2.5	4500	3250
<b>eau</b>	1.0	1480	3250
<b>air</b>	1.3.10 <sup>3</sup>	330	3250

Tableau II.1 : vitesses acoustique

Les ondes de Lamb sont des ondes dispersives; leur vitesse dépend de la fréquence et, de plus, la vitesse de propagation du front d'onde (vitesse de phase) est différente de la vitesse de propagation de l'impulsion énergétique donnée par l'émetteur (vitesse de groupe). Des diagrammes donnent ces valeurs en fonction du mode de vibration et du produit (fréquence x épaisseurs) de la tôle.

### Le son

Le son est une sensation auditive due à une vibration acoustique. Chez l'homme, la sensibilité au son, ou audition, correspond aux vibrations qui atteignent l'oreille interne et dont les fréquences sont comprises entre 15 Hz et 20 000 Hz. L'unité de fréquence du son, le Hertz (Hz), représente un cycle par seconde. Le terme de son est parfois restreint aux ondes acoustiques qui se propagent dans l'air, mais les physiciens actuels en étendent la portée aux vibrations similaires qui se produisent dans les milieux liquides et solides. Les sons de fréquence supérieure à 20 000 Hz sont appelés ultrasons.

D'une manière générale, une onde peut se propager transversalement ou longitudinalement dans un milieu. Dans les deux cas, seule la quantité d'énergie véhiculée par l'onde se déplace, tandis que le milieu demeure pratiquement inchangé. Un exemple simple d'onde transversale se présente lorsqu'on secoue l'extrémité libre d'une corde attachée à un poteau. Une onde va parcourir la corde jusqu'au poteau, avant de se réfléchir et de revenir à son point de départ. Chaque portion de la corde se sera déplacée transversalement et à tour de rôle, de haut en bas et de bas en haut. Ce type de déplacement d'onde s'appelle onde transversale. Un autre exemple d'onde transversale est celui de la pierre qu'on jette dans l'eau. À partir du point d'impact vont se former des séries de vaguelettes. Un bouchon flottant placé près du point

d'impact va monter et descendre, perpendiculairement à la direction de la propagation de l'onde. En revanche, le bouchon ne subira pas ou peu de déplacement longitudinal.

### **\*Essais ultrasoniques**

Le principe de base du contrôle ultrasonore consiste à envoyer une onde élastique par l'intermédiaire d'un transducteur dans le matériau à contrôler, il existe en général, deux modes principaux d'utilisation des ultrasons, au contact et en immersion.

dans notre cas, les transducteurs ultrasonores sont directement placés sur les faces de l'échantillon à contrôler, la bonne liaison acoustique est assurée par un agent de couplage, ainsi l'onde acoustique est générée et réceptionnée au contact direct de l'échantillon, l'épaisseur du couplant est de l'ordre du dixième de millimètre.

Le principe de l'essai consiste à mesurer la vitesse du son à l'intérieur du béton cette vitesse est d'autant plus élevée que le béton est plus résistant, cela permet d'avoir un ordre de grandeur de la résistance atteinte par un béton à un âge donné.

Dans notre travail on, utilise la méthode ultrasonique pour estimer l'homogénéité de notre béton.

Le but principal est de mesurer la période de passage d'impulsions ultrasoniques dans le béton.

La vitesse d'impulsion dépend de la densité et des propriétés d'élasticité du matériel.

En comparant des vitesses d'impulsion, il est possible d'évaluer l'homogénéité et d'identifier la présence des fissures, des vides, des anomalies et des hétérogénéités des propriétés élastiques.

Pour recueillir plus d'information au sujet d'un matériau, différentes méthodes d'essai peuvent être combinées, en particulier les lectures ultrasoniques avec des marteaux de rebond afin d'obtenir l'information additionnelle au sujet de la résistance du béton.

### **\*Caractéristiques de l'appareil d'essai utilisé**

Dans le cas de nos travaux la mesure du temps du parcours, de l'impulsion ultrasonique, à travers le béton est effectué par un appareil d'auscultation sonique CONTROLS model 58-E0049/B.

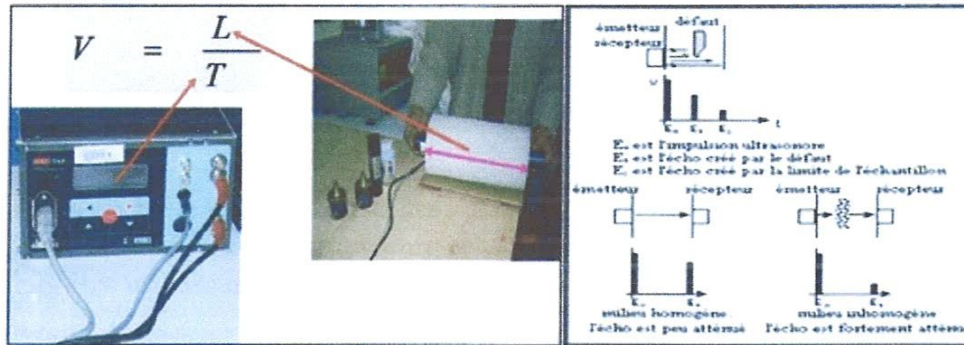


Figure II-4:L'appareil ultrasonique utilisé et principe de d'utilisation

L'appareil comprend:

- l'instrument électronique, fonctionnant sur batterie, à affichage digital, clavier et embases de connexion.
- deux transducteurs 54 KHz, dont un avec bouton d'échantillonnage.

NB:les transducteurs ayant une fréquence de 40KHz à 60KHz convienne pour la plupart des applications.

- deux câbles de connexion pour transducteurs avec prises BNC.
- un câble de connexion pour bouton d'échantillonnage avec prise jack.
- un barreau de calibrage.
- une bouteille de produit couplant pour auscultation sonique.
- un câble série pour connexion PC.

Pour effectuer des mesures ultrasoniques, les deux transducteurs doivent être connectés à l'instrument : (récepteur émetteur).

L'impulsions émises: 0.5 KV énergie basse, car on considère que le béton est homogène et la distance entre transducteurs faible 32(mm) ou 16(mm).

Les deux transducteurs sont interchangeable et peuvent des lors être utilisés indifféremment comme émetteur et récepteur.

Avant d'effectuer des mesures, il est nécessaire d'appliquer une fine couche de produit couplant sur les faces des deux transducteurs et/ou sur la surface à examiner, puis d'appuyer les sondes sur la surface avec une légère pression.

Toutefois, un taux d'impulsion de 1 ou aussi faible que possible est utilisé, ce qui à également l'avantage de réduire l'instabilité du signal causé par les bruits de fond électriques.

Le transfert des données vers un PC s'effectue via un port série.

**\*Principe de mesure [23]**

L'appareil génère des impulsions ultrasonique qui sont transmises au béton par un transducteur mis en contact avec la zone à évaluer le temps de propagation, à travers le béton est visualisé sur un afficheur digital.

**\*Mesure du temps propagation et de la longueur de parcours [23]**

En transmission direct la longueur de parcours est la distance entre les deux transducteurs et sa mesure devra être effectuée si possible à une précision +/-1%.

En transmission semi directe il est généralement suffisant de déterminer la distance de centre à centre des transducteurs, la précision d'estimation de la longueur de parcours dépendra de la dimension des transducteurs comparée à la distance centre à centre.

En transmission directe et semi directe .la vitesse de propagation sera calculée selon la formule suivante:

$$V=L/T$$

Où:

V:est la vitesse conventionnelle de propagation en km/s.

L: est la longueur de parcours en mm.

T: est le temps de propagation en ms.

Qualité	Vitesse de propagation des impulsions m/s
Excellente	Supérieure à 4575
Bonne	3660-4575
Douteuse	3050-3660
Mauvaise	2135-3050
Très mauvaise	inférieure à 2135

**Tableau II.2:** Qualité du béton et vitesse de propagation des impulsions

La méthode de mesure de la vitesse de propagation d'ondes ultrasoniques à travers le béton peut nous renseigner sur l'homogénéité du béton, l'estimation du module élastique et même la profondeur des fissures.

### **\* Présence de fissure ,vides.zones dégradées**

Lorsqu'une onde ultrasonique rencontre une interface béton air, il ya une diffraction et une réflexion qui atténue les vitesses et allonge donc le temps de propagation .en utilisant ce phénomène il est possible de localiser les défauts. vides. zones dégradées et fissures. [23]

### **\*Estimation de module élastique [23]**

A partir des mesures de vitesse de propagation il est possible de calculer le module élastique dynamique  $E_D$  selon la formule:

$$E_D = V^2 \gamma \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

Où:

V: vitesse en km/s.

$\gamma$  : densité du béton en kg/m<sup>3</sup>.

$\nu$ : coefficient de poisson (0.15 pour béton haute résistance et 0.30 pour béton de faible résistance).

$E_D$ : Module élastique dynamique MN/m<sup>2</sup>.

### **\*Relation vitesse du son résistance [24]**

D'une façon générale, la résistance augmente avec la vitesse du son. Mais il n'existe pas de relation unique valable pour tous les bétons. Comme pour le scléromètre, un certain fuseau de dispersion est constaté et la corrélation est surtout bonne pour les bétons de faible résistance. Pour les hautes résistances, la vitesse du son ne croit pratiquement plus au-delà de 350 bars environ car elle est principalement fonction de la compacité du béton ; étant donné béton de résistance supérieure à 350 bars est pratiquement toujours un béton compact, ceci explique Cela. C'est d'ailleurs une des raisons qui font que l'on a encore besoin des essais destructifs sur éprouvettes.

Bon nombre de bétons aujourd'hui, en particulier pour les ouvrages d'art, ont en effet des résistances assez élevées ; dans ce cas, il est bien difficile de savoir si la résistance est de 400 Ou de 500 bars.

Par contre, les bétons poreux, gelés, etc., sont assez facilement détectés par la vitesse du son. La vitesse du son est fonction également de la nature des granulats employés. Mais c'est à nouveau une question de compacité et les granulats poreux, les granulats légers en particulier,

procurent pour une même résistance à la compression, une vitesse plus faible. Il est donc nécessaire, quand cela est possible, d'établir au préalable un étalonnage avec les granulats et le dosage en ciment qui sera utilisés pour l'ouvrage considéré.

Nous citons cependant celles proposées:

$$R=16.7\exp (E_d/122500)$$

### Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours

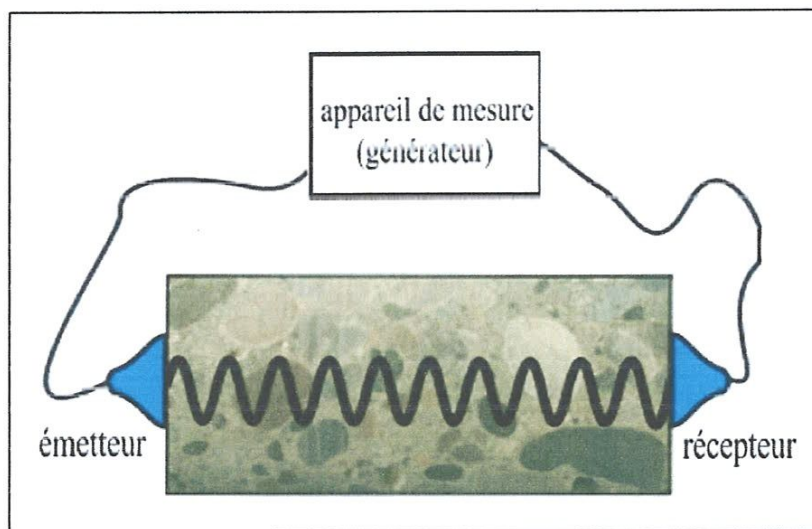


Figure II.5: Mesure du temps de propagation et de la longueur de parcours

### c) Essais destructifs (essais de compression avec la presse (NFP 18-406))

#### \* But de l'essai

Il s'agit d'un essai destructif mené sur un échantillon de béton, cet essai couramment utilisé en laboratoire, permet de connaître le comportement mécanique du béton en compression et notamment sa résistance ultime.

#### \* Matériel nécessaire

Presse hydraulique.

#### \* Présentation de la presse utilisée[21]

L'essai a été effectué sur une presse hydraulique de type **CONTROLAB**, asservie en charge. L'éprouvette en béton, placées entre les plateaux d'une presse. Elles sont placées de telle

façon que l'axe des sections de compression soit centré sur la rotule du plateau supérieur, et la charge appliquée doit croître (une vitesse de montée en charge constante de 0.5 MPa par seconde  $\pm$  0.2 MPa par seconde).

Pendant l'essai, l'éprouvette est chargée jusqu'à la rupture. La force exercée par la presse est mesurée à partir de la pression du circuit hydraulique par un capteur de force, relié à ce même appareil.



(A)



(B)



(c)

Figure II.6: Machine d'écrasement (la presse)

Avec :

A : Machine d'écrasement avec deux dispositifs (compression et traction par flexion).

B : les plateaux de la presse.

C : le digital (écran qui affiche les résultats de l'écrasement).

Les éprouvettes du béton écrasées sont :

- cylindrique de dimensions  $16 \times 32$  cm<sup>2</sup>,

### **\*Conduite des essais [9]**

-Nettoyer les plateaux de la presse.

-Mettre en place l'éprouvette verticalement et la centrer sur le plateau.

-Amener le plateau supérieur au contact de l'éprouvette.

-Remettre les capteurs à zéro.

-Mettre en charge est appliquer une contrainte de 0.5 MPa et effectuer des mesures avec la presse.

### **\*Matériaux utilisés**

12 éprouvettes cylindriques (16×32) fabriquées lors de la première série de TP.

### **\*Cure appliquée**

Toutes les éprouvettes utilisées dans ce travail ont suivi la même cure.

Après coulage, les éprouvettes ont été décoffrées de leurs moules après 24 heures au laboratoire L.G.C.H.

Pour la préparation des éprouvettes, nous avons procédé de la façon suivante:

1- Huiler les moules.

2-Vérifier le serrage des moules.

3-Préparer un mélange homogène du béton (ciment sable et gravier), bien déterminé, avec un rapport E/C bien précis, puis poser le béton frais dans le récipient.

4-Remplir les moules par le béton frais avec la pelle métallique.

5-Vibrer le béton.

6-Une fois le moule est rempli, araser la surface à l'aide d'un réglet.

7-Décoffrer le moule après 24heures.

8-Répéter la même opération pour les deux compositions. [9]



**a- Malaxage :**

Le malaxage est effectué dans une bétonnière, et le volume de la gâchée doit être compris entre la moitié et le tiers du volume total de la cuve.

**b- Moule et éprouvettes :**

En ce qui concerne les moules et éprouvettes, leurs dimensions, leurs tolérances de forme, etc., seront selon les normes NF P 18-401 et NF P 18-402 et SIA 262 et SIA 162

**c- Remplissage du moule :**

Pour faciliter le démoulage, on a enduit les parois latérales d'une légère couche d'huile (la graisse et l'huile employées en doivent pas être réactives au liant).

Introduire le béton dans les moules au moyen d'une truelle ou d'une pelle à coque cylindrique de dimension appropriée au volume des éprouvettes : accompagner l'introduction d'un mouvement de répartition.

**d- Démoulage :**

Le démoulage s'effectue après 24 heures. [21]

**Confection des éprouvettes**

Les constituants du béton ont été introduits dans le malaxeur par ordre décroissant de granulométrie et ont été mélangés à sec pendant 30 secondes, l'eau a été ensuite introduite pendant 1 minute et le malaxage poursuivi durant 3 minutes.

-essai pour béton frais.

-essai pour béton durci.

Les éprouvettes ont été confectionnées par deux gâchées, béton A: contient le gravier (G 5/15 et G 15/25) et le béton B contient le gravier (G 3/8 et G 8/15), douze éprouvettes cylindriques, de dimensions (16×32) cm, ont été coulées dans des moules, leurs dimensions, leurs tolérances de forme, sont conformes aux normes en 12390-1. [9].

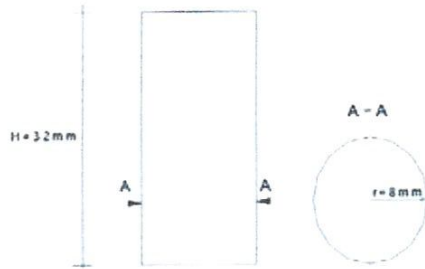


Figure II.7: Géométrie de l'éprouvette

figure II.8: Les moules utilisées

### Remarque

- Le béton utilisé dans les essais est un béton ordinaire de masse volumique  $1710 \text{ Kg/m}^3$ .
- Les dosages en matériaux secs :
  - Sable de mer :  $400 \text{ Kg/m}^3$ .
  - Gravier 5/15:  $400 \text{ Kg/m}^3$ .
  - Gravier 15/25:  $400 \text{ Kg/m}^3$ .
  - Gravier 3/8:  $400 \text{ kg/ m}^3$ .
  - Gravier 8/15:  $400 \text{ kg/ m}^3$ .
  - Ciment :  $350 \text{ Kg/m}^3$ .
  - Eau de gâchage :  $160 \text{ Kg/m}^3$

### II-3 Résultats d'essais sur les éprouvettes

Les résultats des essais expérimentaux effectués sont présentés dans l'ordre suivant :

- Détermination de la résistance en compression par l'essai non destructif (Scléromètre).
- Détermination de la résistance en compression par l'essai destructif (presse).
- Détermination de la résistance en compression par l'essai non destructif par la détermination des vitesses de propagation d'ondes ultrasoniques.

Ces propriétés sont déterminées pour différents âges du béton..

Ces résultats sont regroupés dans les tableaux qui suivent :

Pour le béton A : gravier (5/15et15/25):

Age de béton: 7 jours

### Ultrason

éprouvett e	V (km/s)	T (ms)	Ed (MPa)	R (MPa)
1	4.199	762	28553.85	21.06
2	4.087	782	27510	21
3	4.750	673	36540	22.48
4	3.956	808	25345	20.52
5	3.884	823	24431	20.37
6	3.944	811	25191	20.50
			moyenne	21

Tableaux II.3 : Résultat d'essais du béton A à 7 j avec ultrason

### Exemple de calcul

$$V = 4199 \text{ m/s} \approx 4.199 \text{ Km/s.}$$

$$V = L/T$$

$$L = 0.32 \text{ m} \Rightarrow T = 762 \mu\text{s} = 762 \times 10^{-6} \text{ s}$$

### Estimation du module élastique dynamique $E_D$

$$E_d = V^2 \gamma \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)}$$

$$\nu = 0.15, \gamma = 1710 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow E_D = 28378 \text{ MPa.}$$

$$\Rightarrow R = 16.7 \text{ Exp} \frac{E_d}{122500} \quad R = 21.04 \text{ MPa}$$

Scléromètre:

nombre de coups n=10

épreuve	S	R (MPa)
1	2.1	20.8
2	3.2	21.2
3	3	22.6
4	1.9	18.6
5	1.5	20.2
6	2.9	22
	<b>moyenne</b>	<b>20.9</b>

Tableaux II.4 : Résultat d'essais du béton A à 7 j avec scléromètre

La presse

épreuve	F (kN)	R (MPa)
1	338	18
2	382	17.25
	<b>moyenne</b>	<b>17.62</b>

Tableaux II.5 : Résultat d'essais du béton A à 7j par la presse

Age de béton : 14 jours

Ultrason:

épreuve	V (km/s)	T (m/s)	Ed (MPa)	R (MPa)
3	4.203	761	28608.28	21.10
4	4.203	761	28608.28	21.10
5	4.135	773	27690.10	21
5	4.109	778	27343	21
			<b>moyenne</b>	<b>21.05</b>

**Tableaux II.6 : Résultat d'essais du béton A à 14 j par ultrason**

Le scléromètre: nombre de coups n=10

épreuve	S	R (MPa)
3	4.2	24.8
4	4.3	23.5
5	3.9	30.1
6	2.3	23.5
	<b>moyenne</b>	<b>25.47</b>

**Tableaux II.7 : Résultat d'essais du béton A à 14 j par scléromètre**

**La presse:**

épreuve	F (KN)	R (MPa)
3	403	20.10
4	404	20.12
	<b>moyenne</b>	<b>20.11</b>

**Tableaux II.8 : Résultat d'essais du béton A à 14 j par la presse**  
Age de béton : 28jours

**Ultrason:**

épreuve	V (km/s)	T (ms)	Ed (MPa)	R (MPa)
5	4.299	744	29930.08	21.30
6	4.212	760	28731	21.10
			<b>moyenne</b>	<b>21.1</b>

**Tableaux II.9 : Résultat d'essais du béton A à 28 j par ultrason**

**Le scléromètre:** nombre de coups n=10

épreuve	S	R (MPa)
5	2.9	32.3
6	1.6	28.2
	<b>moyenne</b>	<b>30.25</b>

**Tableaux II.10 : Résultat d'essais du béton A à 28 j par scléromètre**

**La presse:**

épreuve	F (KN)	R (MPa)
5	460	23
6	350	18
	<b>moyenne</b>	<b>20.50</b>

**Tableaux II.11 : Résultat d'essais du béton A à 28 j par la presse**

Pour le béton B de graviers (3/8+815)

Age de béton : 7 jours

**Ultrason:**

épreuve	V (km/s)	T (ms)	Ed (MPa)	R (MPa)
1	3.956	808	25345	20.52
2	3.964	807	25448	20.54
3	4.040	792	26433	20.70
4	4.026	794	26250	20.67
5	4.892	654	38757	22.89
6	4.052	789	26590	20.73
			<b>moyenne</b>	<b>21</b>

**Tableaux II.12: Résultat d'essais B à 7 j par ultrason**

Age de béton 14 jours

**Ultrason:**

épreuve	V (km/s)	T (ms)	Ed (MPa)	R (MPa)
3	4.185	764	28364	21.03
4	4.203	761	28608.28	21.07
5	4.185	764	28364	21.03
6	4.135	773	27690.07	21
			<b>moyenne</b>	<b>21.03</b>

**Tableaux II.15 : Résultat d'essais du béton B à 14 j par ultrason**

**Le scléromètre:** le nombre de coups n=10

épreuve	S	R (MPa)
3	3.2	27.1
4	2.6	26.9
5	3.4	29.3
6	2.9	26.4
<b>Moyenne</b>		<b>27.24</b>

**Tableaux II.16 : Résultat d'essais du béton B à 14 j par scléromètre**

**La presse:**

épreuve	F (KN)	R (MPa)
3	456	22.7
4	382	19
<b>Moyenne</b>		<b>20.85</b>

**Tableaux II.17 : Résultat d'essais du béton B à 14 j par la presse**



Age de béton : 28 jours

**Ultrason:**

épreuve	V (km/s)	R (ms)	Ed (MPa)	R (MPa)
5	4.212	760	28731	20.09
6	4.222	757	28867.5	21.12
			<b>moyenne</b>	<b>21.10</b>

**Tableaux II.18 : Résultat d'essais du béton B à 28 j par ultrason**

**Le scléromètre:** nombre de coups n=10

épreuve	S	R (MPa)
5	2	31.3
6	4.1	29.2
<b>moyenne</b>		<b>30.15</b>

**Tableaux II.19 : Résultat d'essais du béton B à 28j par scléromètre**

**La presse**

épreuve	F (KN)	R (MPa)
5	441	22.1
6	381	20
<b>Moyenne</b>		<b>21.05</b>

**Tableaux II.20: Résultat d'essais du béton B à 28 j par la presse**

---

# Chapitre III

Étude expérimentale  
Et interprétation des résultats

---

*Chapitre 3*  
*Etude expérimentale*  
*Et interprétation des résultats*

### III Interprétation et exploitation des résultats

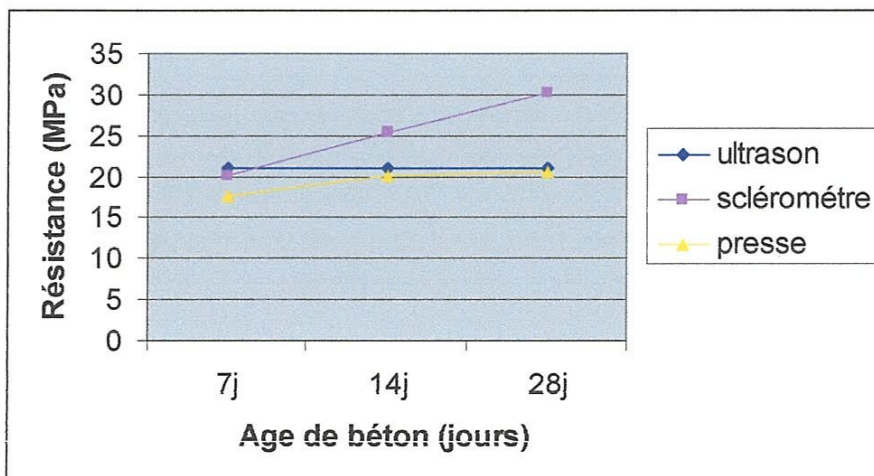
#### III.1 Etude comparative des résistances de différentes méthodes:

Dans cette partie de travail, on s'est intéressé à la comparaison des résistances du béton dans différents âges pour les éprouvettes (cylindrique), déterminées avec les trois méthodes (ultrason, scléromètre et la presse).

**Béton A:**

<i>Jours</i>	<i>7j</i>	<i>14j</i>	<i>28j</i>
<i>Méthodes</i>			
<i>ultrason</i>	21	21,05	21,10
<i>scléromètre</i>	20,09	25,47	30,25
<i>presse</i>	17,62	20,11	20,50

**Tableau III.1:** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton A selon les différentes méthodes utilisées

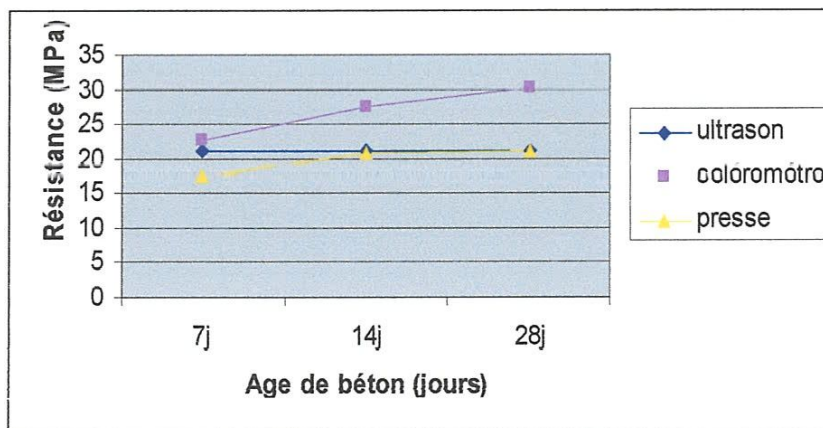


**Figure III.1:** Evolution de la résistance en fonction des méthodes utilisées pour Le béton A

**Béton B**

<i>Jours</i> <i>Méthodes</i>	<i>7j</i>	<i>14j</i>	<i>28j</i>
<i>ultrason</i>	21	21.03	21.10
<i>scléromètre</i>	22.55	27.42	30.15
<i>presse</i>	17.5	20.85	21.05

**Tableau III.2:** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton **B** selon les différentes méthodes utilisées



**Figure III.2:** Evolution de la résistance en fonction des méthodes utilisées pour Le béton **B**

A la lecture de ces deux courbes, on peut remarquer que :

- Les résistances déterminées par écrasement sont toujours inférieures à celles déterminées par scléromètre et ultrason.
- Les résistances à 07 jours, déterminées par scléromètre sont supérieures à celles déterminées par ultrason et par la presse.
- Les résistances à 28 jours sont plus proches avec une légère augmentation dans le cas du scléromètre. Ce qui reflète que l'essai au scléromètre est plus adopté au cas des bétons durcis

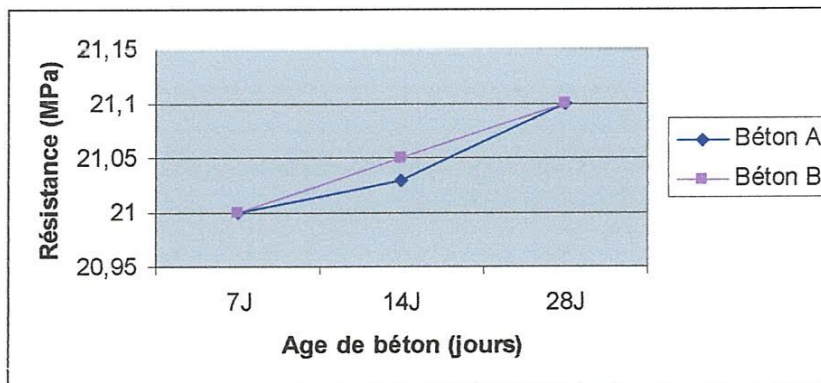
- Les résultats des résistances déterminés par la presse sont très faibles dans les différents âges du béton et prennent une forme croissante après l'âge de 07 jours avec une légère augmentation.
- L'évaluation de la résistance en fonction du temps présente la même allure quelque soit le type de béton

### III.2 Etude comparative des résistances de différent type de béton

#### Ultrason:

<i>Jours</i> <i>Béton</i>	<i>7j</i>	<i>14j</i>	<i>28j</i>
<i>Béton A</i>	21	21.03	21.10
<i>Béton B</i>	21	21.05	21.10

**Tableaux III.3 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour ultrason



**figure III.3 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour ultrason

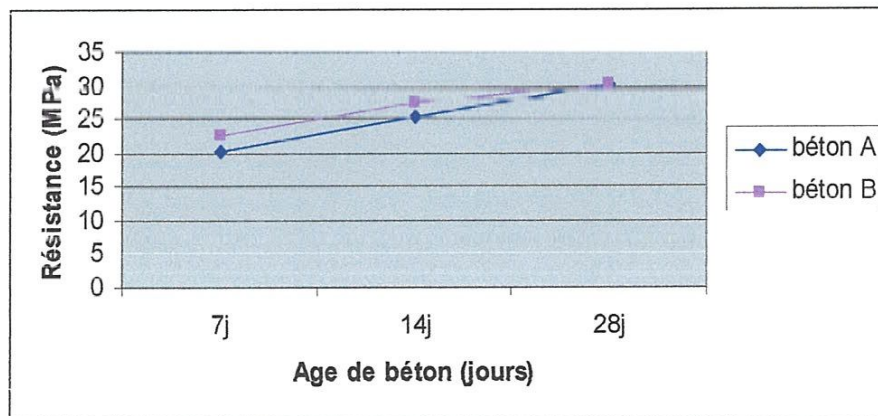
Une comparaison des résultats montre :

- Les résistances à 7jours et 28jours se reprochent avec une légère différence (pour le béton B qui a une résistance toujours supérieure à celle du béton A)
- Ce qui explique que l'ultrason détecte les vides et par conséquent la résistance diminue

Scléromètre:

<i>Jours</i>			
<i>Béton</i>	<i>7j</i>	<i>14j</i>	<i>28j</i>
<i>Béton A</i>	20.09	25.47	30.25
<i>Béton B</i>	22.55	27.42	30.15

**Tableaux III.4 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour scléromètre

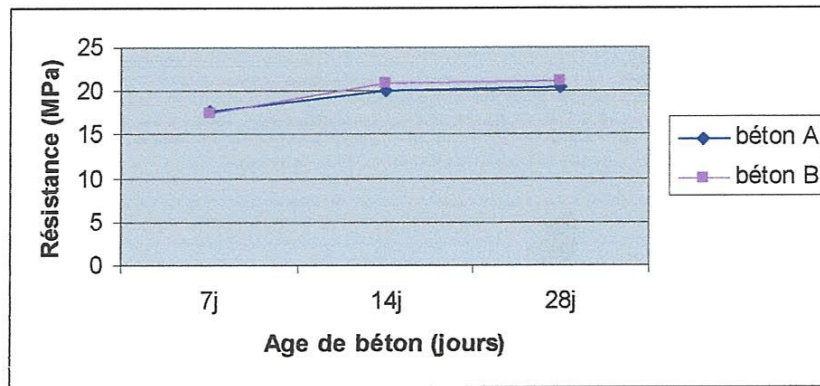


**figure III.4 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour scléromètre

Presse:

<i>Jours</i>			
<i>Béton</i>	<i>7j</i>	<i>14j</i>	<i>28j</i>
<i>Béton A</i>	17.62	20.11	20.50
<i>Béton B</i>	17.5	20.85	21.05

**Tableaux III.5 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour la presse



**figure III.5 :** Variation de la résistance (MPa) en fonction de l'âge du béton selon les différents types de béton pour la presse

En observant ces courbes on constate que:

- la variation de la taille des granulats a un effet significatif sur la résistance à 28 jours pour les trois méthodes utilisées
- la résistance mécanique (compression) des bétons testés augmente en fonction de l'âge de durcissement
- on observe également une augmentation de la résistance en compression pour le béton B pour les différentes méthodes

## Conclusion générale

La granulométrie des granulats doit être la plus continue que possible selon la disponibilité des granulats.

Les résultats expérimentaux montrent que la taille des granulats est un facteur non négligeable sur la résistance du béton, En effet plus elle augmente, plus le risque de blocage croit et la résistance diminue pour les trois méthodes utilisées.

- Les résistances déterminées par écrasement sont toujours inférieures à celles déterminées par scléromètre et ultrason.
- Les résistances à 07 jours, déterminées par scléromètre sont supérieures à celles déterminées par ultrason et par la presse.
- Les résistances à 28 jours sont plus proches avec une légère augmentation dans le cas du scléromètre. Ce qui reflète que l'essai au scléromètre est plus adopté au cas des bétons durcis.
- Les résultats des résistances déterminés par la presse sont très faibles dans les différents âges du béton et prennent une forme croissante après l'âge de 07 jours avec une légère augmentation.
- L'évaluation de la résistance en fonction du temps présente la même allure quelque soit le type de béton.
- Les résistances à 7 jours et 28 jours se reprochent avec une légère différence (pour le béton B qui a une résistance toujours supérieure à celle du béton A)
- Ce qui explique que l'ultrason détecte les vides et par conséquent la résistance diminue.
- la variation de la taille des granulats a un effet significatif sur la résistance à 28 jours pour les trois méthodes utilisées.
- la résistance mécanique (compression) des bétons testés augmente en fonction de l'âge de durcissement.
- on observe également une augmentation de la résistance en compression pour le béton B pour les différentes méthodes.

En fin, il est important de mentionner que les formulations présentées ne sont pas idéales ces formulations ont été établies pour étudier la variation de la taille des granulats sur la résistance en compression du béton, ou en déduit alors que les granulats doivent être mélangés pour



obtenir la meilleure compacité possible, c'est-à-dire un mélange qui contient le plus de matière et le moins de vide possible.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] **A.Brahma** ; « *Le béton* » ; édition OPU ; 1996
- [2] **D Achouche** «cours béton armé»
- [3] **F Bchiri** «*l'effet de la nature du sable sur les propriétés des mortiers* » mémoire de magister en génie civil. Université de Guelma 2009
- [4] **H Dilmi – A Zadam** « étude comparative d'un bâtiment à usage d'habitation(R+3) selon les deux versions du RPA du 88et 2003» mémoire DUA en génie civil. Université de Guelma 2007
- [5] **Edition Waka** «*les technique de construction*»
- [6] **N Kedjour** «*Le laboratoire du béton* », Office des publications universitaires, 03-2003.
- [7] **A Rahmane- F Gherboudj** « étude d'un bâtiment en R+8+2S/SOL avec un système de contreventement mixte» mémoire d'ingénieur 2004
- [8] «*Histoire du béton : naissance et développement 1818-1970*» CT-B90A.  
Edlté par : Collection Technique Cimbéton. 2009
- [9] **A Grini** « *contribution à la détermination de la porosité des bétons* » mémoire de magister en génie civil. Université de Guelma 2008
- [10] **Cours en ligne** : « *matériaux de construction chapitre 3 : les granulats* » ; disponible sur site web :  
[http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre trois exp.html](http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre_trois_exp.html)
- [11] **M.S.Bouglada** ; « *effet de l'activation du ciment avec ajout minéral par la chaux fine sur le comportement mécanique du mortier* » ; mémoire de magister ; université de M'SILA ; 2008.
- [12] **Y. Cherait – Z. Nafa** ; « *Élément de matériau de construction et essais* » ; édition OPU ; 2007.
- [13] **ML Benmalek** «cour béton»
- [14] [users.swing.be/compagnons-eole/.../art77.htm](http://users.swing.be/compagnons-eole/.../art77.htm))
- [15] [www.la.refer.org/.../chapitre\\_six\\_six.html](http://www.la.refer.org/.../chapitre_six_six.html)
-

- [16] [www.infociments.fr/telecharger/CT-B65.17-22](http://www.infociments.fr/telecharger/CT-B65.17-22)
- [17] S Saadani «*Comportement des bétons à base de granulats recyclés*» mémoire de magister en génie civil
- [18] [www.jexpo.com/512-le-materiaux-beton](http://www.jexpo.com/512-le-materiaux-beton)
- [19] H Chourfi «*détermination des caractéristiques mécaniques des essais* »  
Mémoire de DUEA en génie civil
- [20] M. Deghe «*application de l'essai de la dureté pour la caractérisation du béton*» mémoire de magistère en génie civil
- [21] N Khaldi «*détermination des propriétés des bétons par ultrasons (influence de la composition sur la résistance et le module élastique)* »  
mémoire de magistère en génie civil
- [22] ([www.casteilla.fr/fr/images\\_db/GSCB.pdf](http://www.casteilla.fr/fr/images_db/GSCB.pdf))
- [23] T. Tahenni«*Fissuration en béton avec référence particulière au béton à haute performance*» mémoire de magistère en génie civil
- [24] [www.granulats.fr](http://www.granulats.fr)
- [25] A.KOMAR «*Matériaux et éléments de construction*, Edition Mir, 1978».
-