

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ de Bouira



Faculté des Sciences et des Sciences Appliquées
Département Génie civil

Mémoire de fin d'études

Présenté par :

ZOUGGARI LYNDA
DAHMANI SELMA

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 2** en :

Filière : Génie civil

Option : Matériaux en génie civil

Thème :

**Evaluation de la résistance à la compression du béton de
structure en béton armé :**

Devant le jury composé de :

Mr HAMI BRAHIM	MCB	président
Mr MESBOUA NOUREDINE	MCB	examinateur
Mr ARIBI CHOUAIB	MCA	promoteur
Mr BENIDIR ADEL	MRA, HDR, CNERIB	Co-promoteur

Année Universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

Le premier remerciement c'est pour Dieu qui nous a permis d'être dans cette situation et d'avoir accompli ce travail.

Nous adressons nos profonds remerciements à notre promoteur de mémoire M. BENIDIR.A et M. ARIBI.CH qui ont veillé sur le bon déroulement de notre projet, merci pour leurs conseils et orientations qui ont mené à l'élaboration de ce travail de recherche.

Nous voudrions également remercier l'ensemble de notre jury de mémoire, qui a bien voulu examiner ce travail.

Nous remercions le staff enseignant et administratif de département génie civil.

Nous adressons nos remerciements à tous le personnel de CNERIB qui nous ont beaucoup aidé au cours de ce stage, et à tous les responsables du laboratoire de CNERIB qui ont toujours été disponibles pour nous donner un petit coup de main et beaucoup d'encouragements.

Dédicaces

Je remercie Allah de m'avoir donné la force et le courage pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Je dédie ce travail

À mes parents

Pour leur soutien et leurs encouragements sans faille tout au long de parcours scolaire mais aussi personnel. Aucun mot ne serait exprimé tout mon amour et toute ma gratitude, merci pour vos sacrifices le long de ces années merci pour présence rassurante, et si j'en suis arrivée là c'est grâce à vous.

À mon cher père Saïd que je ne remercierais jamais assez pour sa patience et ses encouragements

À ma source de bonheur, la prunelle de mes yeux, ma chère mère Fatma

Qu'Allah vous gratifie de santé et de bonheur.

À Mon frère Mohamed Ces quelques lignes, ne sauraient traduire le profond amour que je te porte. Ta bonté, ton précieux soutien, ton encouragement tout au long de mes années d'étude, ton amour et ton affection, ont été pour moi l'exemple de persévérance. Que ce travail soit l'expression de mon estime pour toi et que Dieu te protège, t'accorde santé, succès et plein de bonheur dans ta vie.

À Mes chères sœurs qui ont toujours été présentes pour moi et qui me comblent d'amour : Saliha, Farida, Akila, Aicha, Fazia et Sabrina.

À ma très chère amie et binôme Selma et toute sa famille ; je te dédie notre travail, nos efforts fournis avec tous mes vœux de bonheur, santé et de réussite.

Et je remercie chaleureusement ma chère Mimi à son soutien indéfectible dans ma vie, et merci pour tous les moments agréables ; que Dieu te garde à moi.

À toute ma famille, oncles et tantes, cousins et cousines, à mes chers neveux et nièces.

À mes très chères amies : Chahra et Radia.

À mon encadrant M Benidir Ade : merci pour votre patience, vos efforts intenses et votre disponibilité permanente.

À tous mes chers professeurs tout au long de mon parcours universitaire.

À toute personne que je connais de près ou de loin.

Et je tiens à remercier le nombre de jury pour l'attention qu'ils ont accordé à ce modeste travail.

LYNDA

Dédicaces

A l'occasion de mon obtention de diplôme master2 en matériaux en génie civil, je dédie d'abord et avant tout ce succès à mon père LAIFA celui qui sans le savoir m'a tantôt servi de source d'inspiration, tantôt de modèle, tantôt de repoussoir, à partir de quel j'ai forgé mon identité et que je suis devenu qui je suis, à celui qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, j'espère qu'il apprécie cet humble geste comme preuve de reconnaissance et en témoignage de brut d'années de sacrifices de sollicitude et d'encouragement. En ce jour, j'espère réaliser l'un de tes rêves. A ma chère mère, YAMINA ma source inépuisable de tendresse, de patience et de sacrifice. Ta prière m'a été d'un grand secours tout au long de ma vie. Quoique je puisse dire et écrire, je ne pourrais exprimer ma grande affection et ma profonde reconnaissance. J'espère de jamais te décevoir, ni trahir ta confiance et tes sacrifices. Que la vie et votre santé vous gardent à nos côtés et vous préserve tout le bonheur que vous nous avez donnés et souhaités.

A toute ma famille, frères KARIM, HOCINE, NOUREDDINE et BILAL, et sœurs, FATIHA, RACHIDA et RAZIKA, qui constituaient une partie de mon existence et qui m'ont donné la chance d'arriver là où je suis, à mes oncles, tantes, cousins et cousines cette réussite et aussi la vôtre, à mes chers neveux et nièces et à tous mes chers amis, pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements. A tous ceux qui ont toujours été là pour moi.

A ma très chère amie et binôme LYNDA et à toute sa famille, ma fidele accompagnante, la plus belle sœur de monde, merci pour ton soutien moral et tes sentiments d'amour aux moments les plus difficiles, pour toute l'ambiance dont vous m'avez entouré, je te remercie d'être ma meilleure amie.

Une place spéciale a mon encadrant, BENIDIR ADEL qui, dès la première minute à cru en moi et a répondu toujours favorable et avec patience à mes préoccupations tout au long de mon stage et mon mémoire, à tous mes enseignants qui ont marqué mon passage scolaire depuis le primaire jusqu'à mon cursus universitaire. A chemins se sont croisées pendant toutes ces années je repense certainement avec nostalgie à tous ces rencontres et à tous ces moments de joie de succès, mais aussi de stresse de travail d'efforts et même d'échecs des fois. A tous ces intervenants durant cette longue histoire de matins tôt et de nuits blanches, tous ceux qui ont cru en moi je vous présentent mes remerciements et ma profonde gratitude et reconnaissance.

Et je tiens à remercier le nombre de jury pour l'attention qu'ils ont accordé à ce modeste travail.

SELMA

Résumé

Dans cette étude, deux techniques ont été utilisées pour estimer la résistance à la compression d'un béton : ultrason et écrasement sur des éprouvettes (cube, cylindre et carottes).

Les résultats des essais de mesure se caractérisent par une dispersion. Celle-ci est la conséquence du caractère hétérogène de ce matériau granulaire ainsi que de l'essai mécanique lui-même.

Il apparait clairement que les deux techniques donnent des résultats comparables. En effet, la résistance à la compression mesurée par la méthode destructive (écrasement) est très proche de celle mesurée par la méthode non destructive (ultrason), pour tous les échantillons testés. La résistance à la compression est influencée par la forme et les dimensions des éprouvettes. Les facteurs de conversion s'appliquent parfaitement aux résultats de mesure. L'éprouvette cylindrique donne des valeurs de résistance inférieure à celles données par le cube, par ailleurs les coefficients de conversion de forme et de géométrie donnent des valeurs comparables à ceux obtenus réellement.

Il est enfin à noter que les modes de rupture du béton sont différents d'une géométrie à l'autre. Le cube se rompt selon des plans obliques et donne une rupture pyramidale. Le cylindre donne de véritables ruptures de compression avec des lignes de fissurations parallèles à la direction de l'effort de compression.

Mots clés : résistance à la compression, ultrason, écrasement, destructive, non destructive, éprouvettes, rupture.

Abstract:

In this study, two techniques were used to estimate the compressive strength of concrete: ultrasound and crushing on test specimens (cube, cylinder and carrots).

The results of the measurement tests are characterized by a dispersion. This is the consequence of the heterogeneous nature of this granular material as well as of the mechanical test itself. It is clear that the two techniques give comparable results. Indeed, give compressive strength measured by the destructive method (crushing) is very close to that measured by the non-destructive method (ultrasound), for all the stakes tested. The compressive strength is influenced by the shape and dimensions of the specimens. The conversion factors apply perfectly to the measurement results. The cylindrical specimen gives resistances values comparable to those actually obtained. Finally, it should be noted that the failure modes of concrete are different modes of concrete are different from one geometry to another. The cube breaks along oblique planes and gives a pyramidal break. The cylinder gives true compression failures with lines of cracks parallel to the direction of the compression force.

Keywords : compressive strength, ultrasound, crushing, destructive, non-destructive, specimens, rupture.

ملخص:

في هذه الدراسة تم استخدام طريقتين لتقدير قوة الانضغاط للخرسانة : الموجات فوق الصوتية وتكسير العينات (المكعبة، الاسطوانية وجزرية الشكل). تتميز نتائج اختبارات القياس بالتشتت، نتيجة الطبيعة غير المتجانسة لهذه المادة الحبيبية وكذلك نتيجة الاختبار الميكانيكي نفسه. من الواضح أن الطريقتين تعطيان نتائج مماثلة. في الواقع، فان قوة الضغط المقاسة بالطريقة التدميرية (التكسير) قريبة جدا من تلك المقاسة بالطريقة غير المدمرة (الموجات فوق الصوتية)، لجميع العينات المختبرة. تتأثر قوة الانضغاط بشكل العينات وأبعادها. تنطبق معاملات التحويل بشكل مثالي على نتائج القياس. تعطي العينة الاسطوانية قيم مقاومة اقل من تلك التي قدمها المكعب، علاوة على ذلك فان معاملات تحويل الشكل والهندسة تعطي قيما مماثلة لتلك التي تم الحصول عليها بالفعل. أخيرا، تجدر الإشارة إلى أن أنماط فشل الخرسانة تختلف من هندسة إلى اخرى. يتكسر المكعب على طول المستويات المائلة ويعطي استراحة هرمية. تعطي الاسطوانة حالات فشل ضغط حقيقية مع وجود خطوط من الشقوق موازية لاتجاه قوة الانضغاط.

الكلمات المفتاحية : قوة الضغط، الموجات فوق الصوتية، التكسير، المدمرة، غير المدمرة، العينات، التمزق.

Table des matières

Résumé.....	I
I.Introduction générale.....	I
Chapitre I :Etude bibliographique	I
I.1. INTRODUCTION	4
I.2. HISTOIRE DU BETON	4
I.3. NOTION SUR LE BETON	4
I.3.1. Définition	4
I.3.2. Types du béton	5
I.3.2.1. Béton armé	5
I.3.2.2. Bétons ordinaires (BO)	5
I.3.2.4. Béton fibré.....	5
I.3.2.5. Béton hautes performances (BHP) (ou béton à hautes performances).....	5
I.3.3. TYPE DU BETON EN FONCTION DE DMAX	5
I.3.4. CONSTITUANTS.....	6
I.3.4.1. Granulats	6
I.3.4.2. Sable.....	6
I.3.4.3. L'eau	6
I.3.4.4. Le ciment.....	6
I.3.4.4 .1. Mécanismes d'hydratation d'un ciment Portland.....	6
i. Période initiale (gâchage).....	7
ii. Période dormante.....	7
iii. Période d'accélération	7
iv. Période de ralentissement.....	7
I.3.5. PROPRIETES MECANQUES	8
I.3.5.1. Le béton frais	8
I.3.5.2. Le béton durci	9
I.4. MISE EN ŒUVRE DU BETON	9
I.5. METHODES DE CONTROLE	9
I.5.1. Méthode non destructive	9
I.5.1.1. L'objectif END.....	10
I.5.1.2 Avantages de ces méthodes.....	10
I.5.1.3 Les inconvénients.....	10
a. L'inspection visuelle	10
b. Méthodes électriques (potentiel de corrosion, résistance de polarisation)	10
c. Méthodes électromagnétiques (radar, méthode capacitive)	10
d. Les méthodes radiographiques	11
e. Méthodes thermiques	11
f. Méthodes des ondes mécaniques.....	11
I.5.2. METHODE SEMI DESTRUCTIVE	11
I.5.3. METHODE DESTRUCTIVE	12
I.5.4. L'ESSAI D'AUSCULTATION SONIQUE (L'EN 12504-4)	12
I.5.4.1. Définition	12

I.5.4.2. Objectif des essais par ultrasons	12
I .5.4.3. Principe des essais par ultrasons	12
I.5.4.4. Préparation des essais et réalisation des mesures	13
I.5.4.5. Appareillage	13
I.5.4.6. Méthodes de mesure de la vitesse de propagation des ultrasons.....	14
I.5.4.6.1. Mesure en transparence (directe)	14
I.5.4.6.2. Mesures en surface (indirecte)	15
I.5.4.6.3. Mesures semi directe.....	15
i. Les avantages	15
I.5.5. L'ESSAI DU CAROTTAGE	16
I .5.5.1. Définition	16
a. Prélèvement de carottes de béton pour l'évaluation de la résistance du béton.....	16
b. Aire d'essai.....	16
c. Zone d'essai.....	16
I .5.5.2.2 Dimension de carottes	17
I .5.5.3. Nombre de carottes	17
I.5.5.4 Carottage d'un béton	17
I .5.5.5. Méthode de carottage	18
I.5.5.6. Les étapes du carottage	18
I.5.5.7. Utilité du carottage.....	18
I.5.5.8 Les avantages du carottage.....	19
I.5.5.9. Les inconvénients.....	19
I.5.5.10. La carotteuse	19
Chapitre II :Plan de travail au laboratoire.....	4
II.1. Introduction.....	21
II.2. ANALYSE GRANULOMETRIQUE	21
II.2.1. Norme EN 933-1	21
II.2.2. Domaine d'application	21
II.2.3. PRINCIPE DE L'ESSAI.....	21
II.2.4. PREPARATION DES PRISES D'ESSAI	21
II.2.5. Méthode de préparation	22
I. Lavage	22
II.2.5.2. Tamisage.....	23
II.2.5.3. Pesées.....	24
II.3. FORMULATION DU BETON	24
II.4. ESSAI SUR BETON	25
II.4.1. Consistance du béton	25
II.4.1.1. Le cône d'Abrams	25
II.4.1.2. Mode opératoire.....	25
II.4.1.4. Classe d'affaissement	26
II.4.2. LA RESISTANCE A LA COMPRESSION	26
II.4.2.1. Classe des bétons	27
II.4.2.3. Paramètres influençant la résistance mécanique	28
a. Le rapport E/C.....	28
b. Influence des granulats.....	28
c. L'influence de la taille maximale du granulat	28

d. L'influence des dosages en ciments	28
II.4. 3. LA MACHINE D'ESSAI D'ECRASEMENT	28
II.4. 3.1. Modalité d'essai de compression	29
II.4. 3.2. Expression des résultats	30
II.4.4. Salle de conservation	30
II.5. PLAN DE TRAVAIL EXPERIMENTAL	30
II.6. PLAN D'EXPERIENCE (COMBINAISON ENTRE METHODE DESTRUCTIVE ET NON-DESTRUCTIVE)	31
Chapitre III. Procédures expérimentales	21
III.1. INTRODUCTION	33
III.2. FERRAILLAGE	33
III.3. COFFRAGE	33
a. Coffrage vertical	33
b. Coffrage horizontal	34
c. Coffrage en bois	34
Chapitre IV. Résultats et discussions	36
IV.1. INTRODUCTION	37
IV.2. FORMULATION DU BETON	37
IV.2.1. Gravier 8/15	37
IV.2.1.1. Masse volumique absolue	37
IV.2.1.2. Masse volumique apparente	37
IV.2.2. Sable noir	38
IV.2.2.1. Masse volumique absolue	38
IV.2.2.2. Masse volumique apparente	39
IV.2.3. Sable jaune	39
IV.2.3.1. Masse volumique absolue	39
IV.2.3.2. Masse volumique apparente	40
IV.2.4. MODULE DE FINESSE	41
IV.2.4.1. Sable noir	41
IV.2.4.2. Sable jaune	41
IV.2.5. EQUIVALENT DE SABLE	42
IV.2.5.1. Sable noir	42
IV.2.5.2. Sable jaune	42
IV.2.6. METHODE DE DREUX-GORISSE	43
IV.2.6.1. Détermination du rapport C/E	43
IV.2.6.2. Mélange granulaire	45
IV.2.6.3. Courbe OAB	46
IV.2.7. INTERPRETATION DES RESULTATS	48
IV.3. MESURE SUR ELEMENTS DE STRUCTURES	49
IV.3.1. Mesures ultrasons	49
IV.3.1.1. Interprétation des résultats	50
IV.3.2. ESSAI DESTRUCTIF	50
IV.3.2.2. Interprétation des résultats	52
Conclusion générale	53
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	55

Liste des figures

Figure 1. Courbe caractéristique de calorimétrie isotherme d'un ciment.....	8
Figure 2. Appareil d'ultrason (pundit lab).....	13
Figure 3. Essai transparent sur une éprouvette à l'aide de l'appareil à ultrasons.....	14
Figure 4. Mesure en transparence.....	14
Figure 5. Mesure en surface.....	15
Figure 6. Mesure semi directe.....	15
Figure 7. Carottes.....	17
Figure 8. Poteaux après carottage.....	18
Figure 9. Mise en place d'un carottier à la surface du poteau.....	19
Figure 10. Série de tamis.....	22
Figure 11. Lavage des granulats.....	22
Figure 12. Mise de granulats dans l'étuve.....	23
Figure 13. Tamisage des granulats.....	23
Figure 14. Pesés des granulats.....	24
Figure 15. Cône d'Abrams.....	25
Figure 16. Essai d'affaissement (selon la NF18-451).....	26
Figure 17. Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	26
Figure 18. Essais de compression.....	29
Figure 19. Exemples de ruptures correctes d'éprouvettes.....	30
Figure 20. Ferrailage des poteaux.....	33
Figure 21. Coffrages des poteaux.....	34
Figure 22. Mélange du béton.....	35
Figure 23. Collage des poteaux.....	35
Figure 24. Essai de mesure de la masse volumique apparente.....	38
Figure 25. Essai de mesure de la masse volumique apparente par l'entonnoir.....	39
Figure 26. Etapes d'essai d'équivalent de sable.....	42
Figure 27. Abaque permettant la détermination de C_{opt}	45

Liste des tableaux

Tableau 1. Classification de béton en fonction de D_{max} (NF EN 206 : Classification des bétons)	5
Tableau 2. Masse des prises d'essai pour des granulats courants	22
Tableau 3. Classe de consistance du béton en fonction d'affaissement mesuré.....	26
Tableau 4. Classe de résistance à la compression	27
Tableau 5. Réglage des vitesses de presse	30
Tableau 6. Analyse granulométrique de gravier 8/15	37
Tableau 7. Masses volumiques absolues de gravier 8/15.....	37
Tableau 8. Masses volumiques apparentes de gravier 8/15	37
Tableau 9. Analyse granulométrique de sable noir	38
Tableau 10. Masses volumique absolues de sable noir	38
Tableau 11. Masses volumiques apparentes de sable noir	39
Tableau 12. Analyse granulométrique de sable jaune	39
Tableau 13. Masses volumiques absolues de sable jaune	39
Tableau 14. Masses volumique apparente de sable jaune	40
Tableau 15. Mesure de module de finesse de sable noir	41
Tableau 16. Mesure de module de finesse de sable jaune	41
Tableau 17. Coefficient granulaire G'	44
Tableau 18. K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.	47
Tableau 19. Résultats des dosages des constituants de béton	48
Tableau 20. Résistance de béton en fonction de la vitesse de propagation des ondes ultrasons.	49
Tableau 21. Résultats d'essai ultrason in situ.....	49
Tableau 22. Résultats de mesures ultrason et masses volumique sur carottes élancement 2	49
Tableau 23. Résultats d'essai de compression sur carottes (élancement2)	51
Tableau 24. Résultats d'essai de compression sur carottes (élancement1)	51
Tableau 25. Résultats d'écrasement et masses volumique des éprouvettes cubiques	51
Tableau 26. Résultats d'écrasement et masses volumique des éprouvettes cylindriques	51

Symboles et abréviations

CND : CONTROLE NON DESTRUCTIF

CD : CONTROLE DESTRUCTIF

END : EVALUATION NON DESTRUCTIVE

UPV : ULTRASONIC PULSE VELOCITY

RC : RESISTANCE DU BETON A LA COMPRESSION

RT : RESISTANCE DU BETON A LA TRACTION

E/C : RAPPORT EAU/CIMENT

G /S : RAPPORT GRAVIER /SABLE

FC₂₈ = RESISTANCE MOYENNE EN COMPRESSION DU BETON A 28 JOURS

FC : LA RESISTANCE A LA COMPRESSION

FCK ; CYL : RESISTANCE CARACTERISTIQUE A LA COMPRESSION DU BETON D'EPROUVETTE
EXPRIMEE EN EN RESISTANCE EQUIVALENTE D'UN CYLINDRE DE 300×150 MM

FCK, CUBE : RESISTANCE CARACTERISTIQUE A LA COMPRESSION DU BETON EXPRIMEE EN
RESISTANCE EQUIVALENTE D'UN CUBE DE 150MM

MF : MODULE DE FINESSE

SE : EQUIVALANT DE SABLE

M.V : MASSE VOLUMIQUE

MVR : MASSE VOLUMIQUE REELLE

D_{MAX} : DIMENSION MAXIMALE DES GRANULATS

M : MASSE DES GRANULATS

H : LA HAUTEUR

EL : ELANCEMENT

F : LA CHARGE MAXIMALE

AC : L' AIRE DE LA SECTION DE L'EPROUVETTE SUR LAQUELLE LA FORCE DE COMPRESSION
APPLIQUE

G' : COEFFICIENT GRANULAIRE.

AFF : AFFAISSEMENT

Introduction générale

I. Introduction générale

Le béton est le matériau le plus utilisé dans tous les domaines de la construction et du bâtiment à travers le monde. Il contient habituellement un mélange de ciment, d'eau et des granulats, mais il est considéré comme homogène. En effet, sa rapidité de fabrication sa mise en place, son faible coût et ses performances mécaniques ainsi que sa durabilité ont contribué à accroître son utilisation pour tous les ouvrages (immeubles de bureaux ou d'habitation, des ponts, des centrales nucléaires). [1].

Les problèmes de qualité rencontrés dans les structures en béton apparaissent à différentes phases de la réalisation des ouvrages. C'est pour cette raison que depuis longtemps il y a une demande accrue pour des méthodes plus précises et en même temps, plus souples d'évaluation de la qualité du béton. Pour cela on recourt aux essais destructifs et non destructifs (END) du béton qui ont une grande importance scientifique et pratique. [2]

Traditionnellement, la méthode normalisée utilisée pour évaluer la qualité du béton dans les bâtiments ou les ouvrages comprend les essais de la résistance à la compression, à la flexion et à la traction réalisés sur des éprouvettes coulées au même moment. Cependant, cette méthode a des inconvénients, tels que : les résultats ne sont pas obtenus immédiatement, l'influence accrue des conditions de conservation sur la résistance du béton et la dépendance des propriétés de résistance vis-à-vis de la taille et de la forme de l'éprouvette.

Bien qu'il ne soit pas possible de mesurer directement les propriétés de la résistance du béton sur une structure pour la simple raison que la détermination de la résistance entraîne des contraintes destructives, plusieurs contrôles non-destructifs ont été élaborés.

Les méthodes d'essai non-destructives des ouvrages en béton sont particulièrement intéressantes, tant par suite de la proportion élevée de ces constructions dans l'ensemble des ouvrages, que par suite de l'importance que représente le contrôle de la qualité directement sur la construction. Ces méthodes offrent plusieurs avantages tels que : la possibilité d'obtenir des informations dans des domaines inaccessibles aux méthodes classiques, économie de matériaux, de temps et d'outillages d'essai par la possibilité de faire les essais sur le matériau dans l'ouvrage et la possibilité de suivre le changement des propriétés du béton dans le temps. [1]

L'objectif de ce mémoire est la compréhension des différentes techniques d'évaluation de la résistance du béton par les méthodes non destructives et les méthodes destructives en vue d'obtenir des estimations fiables de cette résistance in situ. Cependant, la corrélation entre les vitesses des ondes ultrasoniques et la résistance réelle du béton est sujette à de récentes investigations. Ce projet se propose donc d'identifier quelques paramètres pouvant être à l'origine de la dispersion des résultats rencontrée lors de l'évaluation de la résistance à la compression du béton de structure.

Ce mémoire est structuré en quatre chapitres :

Le premier chapitre présente une recherche bibliographique, qui comporte une synthèse bibliographique sur le béton et les méthodes non destructives et destructives d'évaluation de la qualité du béton in situ en soulignant leurs avantages et leurs inconvénients.

Dans le deuxième chapitre nous allons aborder le côté pratique, en faisant référence aux matériaux et méthodes. Cette partie traitera la méthode suivie pour la formulation du béton. Dans ce chapitre, nous allons aussi présenter le potentiel de la combinaison entre les 2 méthodes (destructive et non destructive), et nous discuterons aussi de l'équipement utilisé dans cette étude.

Nous présentons ensuite dans le troisième chapitre, les étapes à suivre pour la réalisation d'un élément de structure sur lequel cette étude a été orientée.

Dans le quatrième chapitre nous présentons les résultats obtenus pour l'analyse granulométrique, la résistance à la compression et la vitesse de propagation d'ondes. Dans cette partie, une corrélation entre la résistance à la compression et la vitesse de propagation d'ondes est discutée.

Les dernières parties de ce manuscrit sont destinées aux conclusions, recommandations et les références bibliographiques.



Chapitre I :
Etude bibliographique

I.1. Introduction

Le béton est aujourd'hui le matériau le plus largement utilisé dans le monde, aussi bien dans le génie civil que dans le bâtiment. Ce matériau composite résultant du mélange judicieusement dosé d'un squelette granulaire (granulats) et d'une matrice pâteuse durcissable composé de ciment d'eau et le plus souvent d'adjuvants. [1]

Dans ce chapitre nous allons donner des définitions et des généralités sur les bétons ordinaires dans les deux cas, frais et durci, et leur propriété et ainsi les caractéristiques physiques et mécaniques de ces constituants. Les méthodes de contrôle (destructif et non destructif) et une petite partie sur la mise en œuvre du béton sera introduite.

I.2. Histoire du béton

Les Romains : La fabrication du béton était maîtrisée dès l'Antiquité par les Romains. Au II^e siècle on savait cuire le calcaire à 900°C pour en extraire le gaz carbonique et le transformer en chaux vive. Après extinction à l'eau, les Romains mélangeaient ensuite cette chaux à des additions minérales siliceuses telles que la brique pilée ou la poudre de roche volcanique (la pouzzolane). Ils obtenaient ainsi un corps résistant – un hydrate – qui durcissait dans l'eau. Cette chaux maçonnerie allait encore, des siècles durant, se ré-carbonater grâce au CO₂ de l'air. C'est pourquoi il reste de nombreux vestiges de constructions antiques en ciment. [24]

Louis Vicat : Il faut attendre le XIX^e siècle pour améliorer les performances du béton romain. Louis Vicat s'est interrogé sur les moyens de fabriquer des ciments encore plus résistants. Sa trouvaille a été de mélanger directement le calcaire et la silice (introduits par l'intermédiaire d'argile) et de les cuire en même temps à des températures de l'ordre de 1200°C. Il obtient différents composés qui réagissent avec l'eau pour former des hydrates d'une grande résistance. C'est la naissance du ciment moderne tel que nous le connaissons.

La barque de Lambot : En 1849 le premier ouvrage en béton armé est recensé. Joseph Lambot fabrique une barque qui flotte, avec un mélange de mortier coulé sur des armatures de fer constituant un grillage. Le béton armé se développe à la fin du XIX^e siècle. [3]

I.3. Notion sur le béton

I.3.1. Définition

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents (granulats, sable, eau, liant, adjuvants), qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ».

Ce matériau, outre ses nombreux avantages, évolue et réagit avec son environnement. En effet, au cours du temps, les ouvrages en béton armé développent de nombreuses pathologies (corrosion des aciers, gel-dégel, fluage, réactions chimiques, etc.)

Le béton est caractérisé essentiellement par une bonne résistance à la compression. Ses inconvénients résident dans sa mauvaise résistance à la traction ainsi que sa masse volumique relativement élevée.

I.3.2. Types du béton : [4]

Il existe différents types de béton en utilisation courante : béton armé, béton ordinaire, Le béton auto-plaçant, béton fibré, béton précontraint, béton hautes performances, béton projeté, béton prêt à l’emploi, béton lourd, béton léger, etc.

I.3.2.1. Béton armé

Le béton armé est un matériau composite qui est constitué de béton et de sections d’acier qui allient les résistances à la compression du béton. Il est utilisé comme matériau de construction.

I.3.2.2. Bétons ordinaires (BO)

Les bétons ordinaires sont caractérisés par une résistance à la compression de l’ordre de 20 à 45MPa. Ces bétons sont utilisés pour la réalisation d’ouvrages à usage d’habitations, commerces, écoles, administrations, lieux de culture, etc.

I.3.2.3. Béton auto plaçant :

Ajout d’adjuvants tels que les supers plastifiants et des agents de viscosité dans la composition. Béton très fluide se mettant en place sans avoir recours à un système de vibration.

I.3.2.4. Béton fibré

Ajout de fibres, de nature, de dimension et de forme différente. Réparties de manière homogène dans le mélange, ces fibres améliorent certaines caractéristiques du béton.

I.3.2.5. Béton hautes performances (BHP) (ou béton à hautes performances)

Est un béton caractérisé par une très forte résistance à la compression, puisque celle-ci est supérieure à 50MPa à 28 jours, et des propriétés exceptionnelles à l’état frais (notamment en termes de viscosité), à court ou à long terme.

I.3.3. Type du béton en fonction de Dmax

La classification se fait en fonction de la dimension maximale des granulats Dmax :

Tableau 1. Classification de béton en fonction de Dmax(NF EN 206 : Classification des bétons) [5]

Classe du béton	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
Dimension maximale des granulats (Dmax)	$8 \leq D \text{ max} < 16\text{mm}$	$16 \leq D_{\text{max}} < 31.5$ mm	$31.5 \leq D_{\text{max}} < 63$

I.3.4. Constituants

I.3.4.1. Granulats

Les granulats sont l'ensemble de grains minéraux de dimensions comprises entre 0 mm et 125 mm. Les granulats sont dits :

- Naturels : lorsqu'ils sont issus de roches meubles ou massives (granulat d'origine minérale) et n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (concassage, criblage...).
- Artificiels : lorsqu'ils résultent d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres, de roches ou de minerais (origine minérale), exemple : laitiers de hauts fourneaux, pouzzolanes, mâchefers, argile expansée, schiste expansé, verre expansé, cendres volantes, scories d'aciérie, bauxite calcinée, fumée de silice ...).
- Recyclés : lorsqu'ils sont obtenus par traitement d'une matière inorganique précédemment utilisée dans la construction (granulats recyclés à partir de démolition de bâtiment, d'ouvrages ou de chaussée...).
- Courants : lorsque leur masse volumique réelle $MVR \geq 2 \text{ t/m}^3$ (2000 kg/m^3)
- Légers : lorsque leur masse volumique réelle $MVR < 2 \text{ t/m}^3$ [6]

I.3.4.2. Sable

Le sable est un matériau granulaire composé de particules (quartz, micas, feldspaths) issues de la dégradation de roches comprise entre 100 μm et 5 mm. Selon la définition des matériaux granulaires en géologie, les matériaux granulaires comme le sable, notamment lorsqu'ils sont secs, présentent des propriétés physiques tout à fait particulières. Des propriétés qui se situent à mi-chemin entre celles des fluides et celles des solides. [7]

I.3.4.3. L'eau

L'eau doit être potable, sans impureté ni odeur. L'utilisation d'eau recyclée provenant du nettoyage des bétonnières est aujourd'hui monnaie courante. Cette pratique est fortement encouragée lorsqu'elle se fait dans le respect des normes techniques en vigueur.

I.3.4.4. Le ciment

Le ciment est une poudre finement broyée, obtenue par réaction de clinkérisation (1450°C) d'un mélange de 80% calcaire (CaCO_3) et 20% d'argile ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) environ. Qui se mélange avec de l'eau et sous l'action des processus physico-chimique deviennent solide. C'est le liant le plus utilisé pour la fabrication du béton (il représente entre 9 et 18% de la masse totale du béton, voir la norme EN 197-1)

I.3.4.4.1. Mécanismes d'hydratation d'un ciment Portland [8]

L'hydratation est l'ensemble des réactions chimiques qui s'effectuent lors et après le mélange du ciment avec l'eau. Les propriétés mécaniques de béton dépendent des caractéristiques de la pâte du ciment durci. Il est important donc de bien comprendre la structure de la pâte de ciment hydratée.

L'hydratation du ciment Portland implique la réaction des quatre phases minérales qui le composent. Comme le ciment est composé principalement de silicate tricalcique (C3S), c'est l'hydratation du C3S qui contrôle la cinétique globale de l'hydratation. Il existe cependant une synergie entre les différentes réactions. Il s'agit d'un processus complexe dans lequel les principaux composés du ciment C3S, le silicate bicalcique (C2S), l'aluminate tricalcique (C3A), et l'alumino-ferrite tétracalcique (C4AF) réagissent pour former de nouveaux composés insolubles qui entraînent la prise et le durcissement progressif du matériau.

La figure 1 représente la courbe caractéristique de calorimétrie isotherme d'un ciment qui contient quatre périodes :

i. **Période initiale (gâchage)**

Cette période débute dès le contact du ciment avec l'eau et son durcissement en quelques minutes. À ce moment il y a une activité chimique intense et un grand dégagement de chaleur à cause de la réaction de C3S et le C3A avec l'eau, en formant l'ettringite et de C-S-H (métastables).

ii. **Période dormante**

Une étape qui peut durer jusqu'à 4 heures en fonction de la consistance des pâtes, on aura dans cette période un dégagement faible de chaleur (réaction chimique faible).

iii. **Période d'accélération**

Dure de 8 à 12 heures, elle débute lorsque la concentration des ions Ca^{2+} et OH^- de la solution devient critique et la conductivité électrique de la solution étant à son maximum. Les produits de l'hydratation se mettent à former des ponts entre les particules de ciment. La prise est faite.

iv. **Période de ralentissement**

Représente le durcissement de la pâte. Elle dure un an ou plus, les grains anhydres se trouvent recouverts d'une couche d'hydrates s'épaissit de plus en plus. Pour poursuivre l'hydratation l'eau diffuse à travers les pores de gel, les rythmes de réaction diminuent et la pâte devient plus dense et plus résistante.

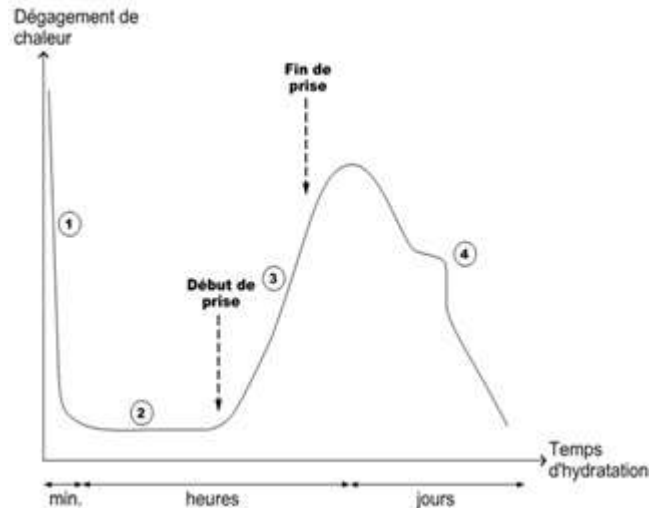


Figure 1. Courbe caractéristique de calorimétrie isotherme d'un ciment [9]

I.3.5. Propriétés mécaniques

Le béton possède deux comportements : l'état frais et l'état durci.

Parmi tous les constituants du béton, l'eau reste l'ingrédient qui peut nuire le plus. Réduire son dosage permet :

- D'augmenter la résistance en compression et en flexion ;
- Réduire la perméabilité ;
- Réduire la contraction volumique (retrait de séchage) ;
- Moins de risques d'attaques d'agents agressifs extérieurs.

La réduction d'eau rend par contre le béton moins plastique. Avec l'incorporation des adjuvants chimiques, cela devient possible (augmentation de la plasticité).

I.3.5.1. Le béton frais

Le béton frais est un mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau. Il se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans un coffrage.

➤ Caractéristique du béton frais

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité (maniabilité). Un béton frais doit être facilement maniable et facile à mettre en place. Il doit être aussi homogène et cohésif. Pour remplir toutes ses qualités, les constituants du béton doivent être soigneusement mélangés.

Il existe plusieurs facteurs qui affectent la maniabilité d'un béton : [10]

- Méthode et durée de transport ;
- Quantité et caractéristiques des composants (liants, granulats) ;
- Le dosage en eau ; [11]

- Forme, granulométrie et type de granulats
- Le volume d'air.

I.3.5.2. Le béton durci

Un béton durci est un solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants pour une durée de quelques jours à quelques semaines.

➤ Caractéristique du béton durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois, voire des années. [12]

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité ;
- Une bonne résistance à la compression R_c est la performance souvent recherchée pour le béton durci ;
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton ;
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées ;
- La résistance à la traction (R_t) peut également être déterminée, elle traduit alors la résistance à la fissuration du béton.

Cette résistance à la traction correspond à environ 10% de la résistance à la compression du béton.

I.4. Mise en œuvre du béton

La mise en œuvre du béton est une opération très importante, dont dépendent en grande partie la réussite d'un ouvrage et sa pérennité dans le temps. Il convient donc d'y apporter un soin particulier et de prendre en compte toutes les paramètres technique et climatique. Le béton passe par différentes phases : transport, coulage dans un coffrage, serrage, maturation, décoffrage, cure.

I.5. Méthodes de contrôle

I.5.1. Méthode non destructive

Le contrôle non destructif (CND) est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité des structures ou des matériaux, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances. Un grand nombre de paramètres tels que la densité, la résistance et la dureté de surface peuvent être déterminés à l'aide des méthodes d'essais non destructives [13]. 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. 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.

I.5.1.1. L'objectif END

L'objectif des END est donc 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. C'est pourquoi le recours aux END apparaît comme un élément majeur du contrôle de la qualité des produits et de la gestion des risques, assurant ainsi la sécurité des personnes et des biens.

I.5.1.2 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 ;
- La rapidité de réalisation et facilité de mise en œuvre.

I.5.1.3 Les inconvénients

La fidélité des résultats n'est pas tout à fait exacte car plusieurs facteurs influencent ces résultats comme par exemple la teneur en eau d'un béton, la température de l'air et des matériaux, l'état de la surface testée et diverses sources de bruit.

Ci-après, quelques méthodes non destructives utilisées pour le contrôle de la qualité du béton sur le terrain : [14]

a. L'inspection visuelle

L'inspection visuelle est le premier moyen de contrôle non destructif à la reconnaissance et au diagnostic d'ouvrages en béton armé. Elle permet de fournir immédiatement des données utiles et globales sur le degré de détérioration visible, comme l'écaillage des surfaces de béton, l'apparition de la fissuration et des défauts, la corrosion avancée des armatures.

b. Méthodes électriques (potentiel de corrosion, résistance de polarisation)

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

c. Méthodes électromagnétiques (radar, méthode capacitive)

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

- La méthode RADAR, utilisée notamment à la surface des tabliers de ponts permet, par un balayage très rapide d'avoir une image en trois dimensions de la structure. Ainsi, on peut déterminer la profondeur des armatures, l'épaisseur de différentes couches présentes dans le béton, une estimation de la teneur en eau et de la contamination par les chlorures.
- La méthode capacitive est basée sur la mesure de la fréquence de résonance d'un circuit oscillant entre deux électrodes posées sur le béton

d. Les méthodes radiographiques

Il s'agit des techniques classiques de radiographie : la surface à ausculter est exposée à un rayonnement gamma, qui après avoir traversé le matériau impressionne un film photographique. Des techniques de radiographie aux rayons X sont en développement pour être transposables in situ. On distingue parmi ces méthodes : la gammagraphie, la radiographie, la radioscopie.

e. Méthodes thermiques

Il s'agit de mesurer la réponse d'un ouvrage aux variations de températures (naturelles ou artificielles). Les méthodes thermiques sont connues sous forme de techniques de thermographie infrarouge. La thermographie infrarouge permet d'établir une carte de température de la surface auscultée à l'aide d'une caméra infrarouge mesurant des rayonnements thermiques. La carte de température s'affiche sous forme de thermo-grammes. Les données enregistrées peuvent être étudiées à partir d'un ordinateur, équipé d'un logiciel de traitement d'image spécifique.

f. Méthodes des ondes mécaniques

Les techniques d'auscultation sonore sont largement utilisées dans les domaines de la métallurgie. Elles sont dérivées des méthodes géophysiques sismiques et reposent sur l'interprétation soit en temps soit en fréquence de l'onde réponse en fonction de l'onde émise (son ou choc). Les techniques sont : mesure de la vitesse de propagation du son, impact écho, émission acoustique, les ultrasons, etc.

I.5.2. Méthode semi destructive

Les méthodes de mesure localisées, en surface ou à faible profondeur dans les matériaux, ne sont plus considérées comme destructives mais semi-destructives (Minor Destructive Testing MDT). C'est l'un des contrôles qui permet d'évaluer in situ la résistance mécanique en surface du béton, son utilisation répond à la norme européenne EN 13791 [EN 13791 2007]. Cette méthode est couramment utilisée sur les ouvrages et peut donner des informations très utiles aux maîtres d'œuvres. Cependant, la précision reste faible et l'information n'est que locale.

I.5.3. Méthode destructive

Les méthodes destructives sont généralement nécessaires pour déterminer certaines propriétés du béton à partir des essais sur des échantillons ayant le même gâché que les ouvrages, ou bien ayant été prélevés directement sur les ouvrages à ausculter (carottes).

Les mesures de résistance sont généralement réalisées par des presses (compression, traction, flexion...). Mais il convient de noter que les résultats donnés ne constituent que des informations localisées sur quelques parties de l'ouvrage, et ces informations ne peuvent pas être directement généralisées à l'ensemble de la structure.

I.5.4. L'essai d'auscultation sonique (L'EN 12504-4)

I.5.4.1. Définition

Les méthodes par ultrasons se trouvent dans quasiment toutes les problématiques de caractérisation des structures en béton grâce à ses nombreux avantages [15]. Elle consiste à envoyer une onde ultrasonique d'un transducteur "émetteur" et d'enregistrer le signal réponse par l'intermédiaire d'un transducteur "receveur". Les deux transducteurs sont généralement identiques en géométrie et avec une même gamme de fréquence. La gamme de fréquence typiquement utilisée pour le béton est de 20 kHz à 300 kHz [14]. Les dispositifs couramment utilisés permettent de mesurer la vitesse et l'atténuation des ondes élastiques.

I.5.4.2. Objectif des essais par ultrasons

L'objectif de ces essais et mesures est d'obtenir le maximum d'information sur la qualité des bétons par les méthodes non destructives d'auscultation sonique.

I.5.4.3. Principe des essais par ultrasons

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps de propagation d'un train d'ondes entre deux points.

Les ondes couramment utilisées en génie civil peuvent être classées en trois types : les ondes longitudinales (de compression), les ondes transversales (en cisaillement), et les ondes de surface comme les ondes de Rayleigh. Les deux premières sont des ondes volumiques et elles se distinguent par la déformation du milieu par rapport à la direction de propagation des ondes : parallèle pour des ondes longitudinales et perpendiculaire pour des ondes transversales. Les ondes de Rayleigh sont des ondes de surface qui résultent de l'interaction d'ondes longitudinales et transversales au niveau d'une surface libre.

La vitesse de l'impulsion v est donnée par la relation :

$$V = L/T$$

Avec :

- V : est la vitesse de propagation du son.
- L : est la longueur de parcours.
- T : est le temps que met l'impulsion pour parcourir la longueur.

I.5.4.4. Préparation des essais et réalisation des mesures

Après avoir choisi les zones à ausculter et tracé les lignes de mesure, pour chacune des lignes et à chacun des points, on procède de la manière suivante :

1. Noter la position exacte du récepteur et sa distance par rapport à l'émetteur.
2. 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 la graisse.
3. Mesurer sur l'oscilloscope le temps de propagation de la première arrivée d'onde et son amplitude.
4. Relever toutes les observations visuelles faites sur le signal, ainsi que celle concernant l'état de la surface associé au point de la mesure.

I.5.4.5. Appareillage

L'appareil d'ultrason est un outil essentiel pour étudier l'intégrité structurale d'un large matériau de gamme. Il se compose (figure 2 et 3) :

- 1- Un transducteur émetteur ;
- 2- Un transducteur récepteur ;
- 3- Deux câbles de liaison ;
- 4- Un oscillatoire pour voir le signal et mesurer le temps.



Figure 2.Appareil d'ultrason (punditlab) [16]



Figure 3.Essai transparent sur une éprouvette à l'aide de l'appareil à ultrasons

I.5.4.6. Méthodes de mesure de la vitesse de propagation des ultrasons

Il existe 3 méthodes pour conduire l'essai ultrasonique

I.5.4.6.1. Mesure en transparence (directe)

L'émetteur et le récepteur sont placés sur les deux faces opposées de l'élément à ausculter. C'est la méthode la plus employée parce qu'il y a un maximum d'énergie de l'impulsion qui est transmise puis reçue. Cette mesure est utilisée dans le cas des éprouvettes, des poteaux ou de certaines poutres.

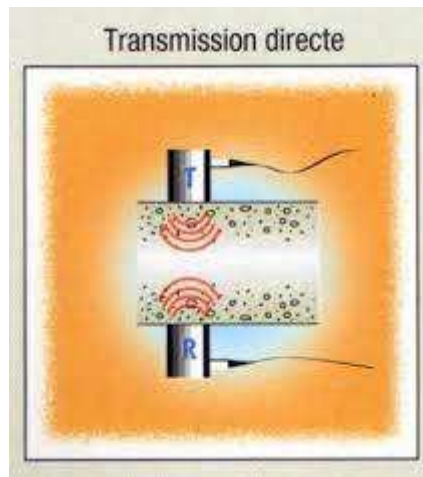


Figure 4. Mesure en transparence [2]

I.5.4.6.2. 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. Pour réaliser cette mesure, il faut placer l'émetteur et le récepteur sur la même face plane de l'élément à ausculter. L'émetteur reste sur un même point, tandis que le récepteur se déplace en effectuant à chaque fois une mesure.

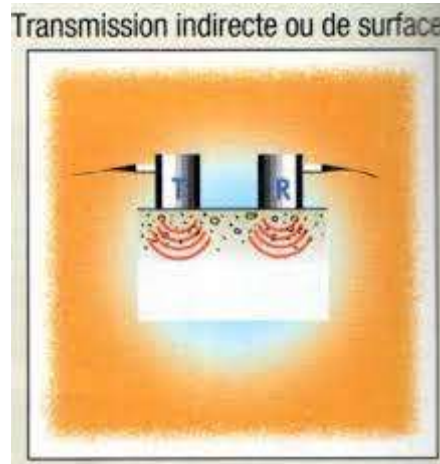


Figure 5. Mesure en surface [2]

I.5.4.6.3. Mesures semi directe

L'émetteur et le récepteur sur deux faces perpendiculaires. On a recours à cette méthode lorsque l'ensemble de la structure n'est pas accessible.

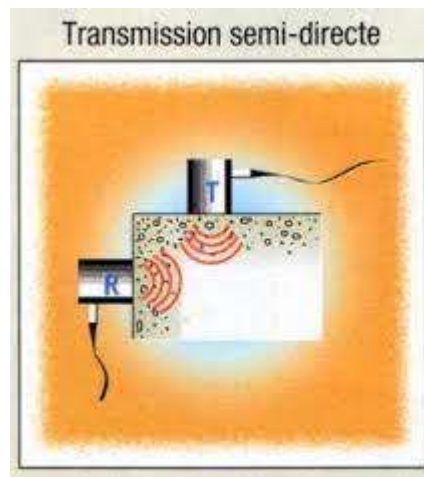


Figure 6. Mesure semi directe [2]

i. Les avantages

- Facilite la détermination de l'homogénéité et l'uniformité du béton ;
- Donne des informations sur l'intérieur d'un élément du béton ;

- Utile pour évaluer la résistance du béton a très jeune âge 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.

ii. Les inconvénients

Ces essais ne sont toutes fois pas aussi efficaces pour évaluer la résistance à cause du grand nombre de variable influençant la relation entre la résistance et la vitesse de propagation des impulsions

I.5.5. L'essai du carottage

I.5.5.1. Définition

Le carottage est une technique de prélèvement d'échantillons qui consiste à forer un substrat à l'aide d'une tarière pour obtenir un cylindre de matière.

a. Prélèvement de carottes de béton pour l'évaluation de la résistance du béton

Cet essai est encadré par les normes européennes :

- EN 13791 : Evaluation de la résistance à la compression sur site des structures et des éléments préfabriqués en béton.
- EN 12504-1 : Carottes.

Rappel des définitions de la norme NF EN 13791/CN :

b. Aire d'essai

Aire limitée qui est sélectionnée pour les mesurages et qui sert généralement à estimer un seul résultat d'essai, lequel doit permettre l'évaluation de la résistance à la compression sur site. Une aire d'essai correspond à au moins une carotte, ou à la médiane de 9 mesures au scléromètre, ou à une mesure de vitesse du son. [17]

c. Zone d'essai

Un ou plusieurs éléments structuraux ou éléments préfabriqués en béton similaires dont il est connu ou suppose qu'ils sont constitués d'un béton ayant les mêmes constituants et la même classe de résistance à la compression ou équivalents au volume défini associé aux essais d'identification pour la résistance à la compression.

On essayera d'identifier, grâce aux bons de livraison, les différentes centrales ayant fourni les bétons et les dates de livraison ; cela permettra d'affiner le zonage précédemment défini.

A titre d'illustration, une zone d'essai peut correspondre à un poteau, un voile, une dalle, un

Ensemble de poteaux, un ensemble de voiles, un ensemble de poteaux et de dalles à condition que ces ensembles comprennent des éléments coulés sur la même journée avec les mêmes caractéristiques de béton (lorsque ces données sont accessibles). [17]

I.5.5.2 Dimension de carottes

Les dimensions minimales des carottes sont fonction des essais auxquels elles sont destinées. Pour les essais mécaniques : le diamètre doit être moins égal à $3D$ (D =dimension de plus gros granulats). Un élanement de 2 est souhaitable. (Élanement 1 = diamètre de carotte ; élanement 2 = diamètre de carotte \times 2). [17]

- Élanement : L'élanement d'une éprouvette carottée est le rapport entre sa longueur et son diamètre.



Figure 7. Carottes

I.5.5.3. Nombre de carottes

Le nombre de carottes doit être déterminé en fonction du volume de béton concerné et de l'objectif de l'essai sur carottes. Chaque air d'essai comprend une carotte. Il convient de soumettre à essai autant de carottes que possible pour évaluer la résistance à la compression sur site pour des raisons statiques et de sécurité. Une évaluation de la résistance à la compression sur site pour une zone d'essai particulière doit reposer sur au moins trois carottes. Il faut prendre en compte toutes les implications possibles du carottage sur les structures. [17]

I.5.5.4 Carottage d'un béton

Le carottage du béton est principalement utilisé dans le bâtiment et les travaux publics, est une opération consistant à prélever au moyen d'appareils divers appelés carottiers, un cylindre de quelques centimètres de diamètre et de longueur variable (carotte) dans les bétons. [17]



Figure 8. Poteaux après carottage

I .5.5.5.Méthode de carottage [15]

- **Le carottage à sec** : pour les travaux d'intérieur il est conseillé d'utiliser une carotteuse à sec raccordé à un aspirateur pour éviter la poussière.
- **Le carottage à eau** : pour les travaux en intérieur dans des bâtiments en cours de construction ou pour les travaux en extérieur et grande diamètre.

Les carotteuses à eau permettent de carotter du diamètre 1mm à 1500 mm.

L'eau refroidit l'outil et se mélange à la poussière pour former une pâte lui permettant de faire sortir les grains. La carotteuse à eau permet de carotter plus vite.

I.5.5.6. Les étapes du carottage

- 1- Mise en place du système de fixation du bâti au sol
- 2- Mise en place de l'équerre (support carotteuse)
- 3- Mise en place de la carotteuse sur le bâti
- 4- Fixation de l'EZ-FIT
- 5- Montage du foret sur la carotteuse
- 6- Vérification du niveau
- 7- Déploiement du guide de positionnement
- 8- Connexion électrique
- 9- Connexion au réseau d'eau
- 10- Mise en eau et réglage vitesse du foret (vitesse 1 ou 2)
- 11- Carottage
- 12- Démontage facile (grâce à LEZ-FIT)

I.5.5.7. Utilité du carottage

On effectue un carottage pour pratiquer une ouverture circulaire de diamètre conséquent un matériau. Ce carottage peut être aussi bien vertical qu'horizontal, selon le support dans lequel on souhaite pratiquer le percement.

I.5.5.8 Les avantages du carottage

- Une grande précision de percement.
- Le silence de fonctionnement par rapport à un marteau piqueur.
- La possibilité de forer simultanément et sans déviation les armateurs présents dans le béton.
- L'absence de poussière en raison de travail à l'eau ou à sec avec aspirateur.
- Très bonne caractérisation des terrains traversés.
- Possibilités de prélèvement peu remaniés.

I.5.5.9. Les inconvénients

- Progression lente.
- Cout élevé.
- Petits diamètres.
- Méthode non adaptée aux terrains ébouleux et très dur.
- Profondeur limitée.

Par ailleurs, l'on retrouve une grande capacité de carottage tant au niveau du diamètre que de la profondeur.

I.5.5.10. La carotteuse

La carotteuse est un outil efficace permettant de découper du béton ainsi que d'autres armateurs présents dans le béton, elle offre un travail de qualités, plus net et rapide.



Figure 9. Mise en place d'un carottier à la surface du poteau.

Il existe trois types de carotteuse : [19]

- La carotteuse portable : dédiée au carottage de petit diamètre.
- La carotteuse su bâti : à fixer de manière impérative.
- La carotteuse pour tranchée : l'unique type de carotteuse muni d'un moteur thermique, s'utilise en extérieur dans le cadre des travaux d'assainissement et de repiquage.
- Dans notre projet, nous nous sommes appuyés sur la carotteuse sur bâti.

Chapitre II

Plan de travail au laboratoire

II.1. Introduction

Le plan de travail au laboratoire se déroule comme suite : d'abord nous faisons une analyse granulométrique, ensuite nous allons déterminer la méthode à suivre pour la formulation du béton. Et nous allons également étudier le potentiel de la combinaison des techniques de CND et CD afin d'évaluer les propriétés des bétons comme la résistance à la compression.

II.2. Analyse granulométrique

II.2.1. Norme EN 933-1

La présente norme européenne a été élaborée par le Comité Technique CEN/TC 154 « Granulats » dont le secrétariat est tenu par la BSI. Cette norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement au plus tard en décembre 1999, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en décembre 1999. La présente norme européenne fait partie d'un ensemble de normes d'essais qui déterminent les caractéristiques géométriques des granulats. Les méthodes d'essais concernant les autres propriétés des granulats seront prises en compte dans les parties des normes européennes suivantes : [19]

EN 932 Essais pour déterminer les propriétés générales des granulats.

EN 1097 Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats.

EN 1367 Essais pour déterminer les propriétés thermiques et l'altérabilité des granulats.

EN 1744 Essais pour déterminer les propriétés chimiques des granulats

II.2.2. Domaine d'application

La présente partie de la présente norme européenne a pour objet de définir un procédé faisant appel à des tamis, pour la détermination de la distribution dimensionnelle des grains. Elle s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle, y compris aux granulats légers, allant jusqu'à une dimension nominale de 63 mm, mais à l'exclusion des fillers. [19]

II.2.3. Principe de l'essai

L'essai consiste à séparer, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision requise. [19]

II.2.4. Préparation des prises d'essai

Les échantillons doivent être réduits conformément à la norme EN 932-2 afin d'obtenir le nombre requis de prises d'essai.

La masse de chaque prise d'essai doit être conforme au tableau 1, pour des granulats de masse volumique comprise entre $2,00 \text{ Mg/m}^3$ et $3,00 \text{ Mg/m}^3$



Figure 10. Série de tamis

Tableau 2. Masse des prises d'essai pour des granulats courants [19]

D du classe granulaire (maximum) mm	Masse de la prise d'essai (minimum) kg
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤4	0,2

II.2.5.Méthode de préparation

I. Lavage [19]

1-Placer la prise d'essai dans un récipient et ajouter l'eau nécessaire pour la recouvrir.

2-Agiter la prise d'essai suffisamment vigoureusement pour obtenir une séparation complète et la mise en suspension des fines.

3-Humidifier les deux côtés d'un tamis de 63 μm réservé à l'usage exclusif de cet essai, et adapter un tamis de protection (par exemple, d'ouverture 1 mm ou 2 mm) au-dessus. Placer les tamis de façon que la suspension passant à travers le tamis puisse être évacuée ou, si besoin est, recueillie dans un récipient adéquat. Verser le contenu du récipient sur le tamis supérieur. Poursuivre le lavage jusqu'à ce que l'eau passant à travers le tamis de 63 μm soit claire



Figure 11. Lavage des granulats

4-Sécher le refus sur le tamis de 63 μm à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ jusqu'à ce que la masse soit constante. Laisser refroidir, peser et inscrire le résultat.



Figure 12. Mise de granulats dans l'étuve

II.2.5.2. Tamisage [19]

1-Verser le matériau lavé et séché (ou l'échantillon sec directement) dans la colonne de tamis. Cette colonne est constituée d'un certain nombre de tamis emboîtés, et disposés de haut en bas, dans un ordre de dimension de mailles décroissant, avec le fond et le couvercle.

2-Agiter la colonne, manuellement ou mécaniquement, puis reprendre un à un les tamis en commençant par celui qui présente la plus grande ouverture et agiter manuellement chaque tamis en s'assurant qu'il n'y a pas de perte de matériau.

3-Transvaser tout le matériau qui passe à travers chaque tamis sur le tamis suivant de la colonne avant de poursuivre l'opération avec ce tamis.



Figure 13. Tamisage des granulats

II.2.5.3. Pesées [19]

1-Peser le refus au tamis ayant la dimension de maille la plus grande et noter sa masse.

2-Poursuivre la même opération pour tous les tamis qui sont dans la colonne, afin d'obtenir la masse des différentes fractions de matériaux retenus et noter ces masses.

3-Peser le matériau tamisé, restant dans le fond le cas échéant, et inscrire la valeur de sa masse.



Figure 14. Pesés des granulats

II.3. Formulation du béton

L'obtention des caractéristiques requises pour le béton passe impérativement par l'adoption et l'optimisation de sa formulation aux exigences appropriées à l'ouvrage et à son environnement. Les bétons sont conçus suivant une formulation, donnée sous forme de quantité massique de chaque composant afin d'obtenir un volume de 1 m^3 de béton.

Il existe plusieurs méthodes de formulation adoptées tel que (Dreux Gorisse,faury...). La méthode de formulation influe sur les propriétés mécaniques et la mise en œuvre du béton.

L'ajout d'eau au mélange permet la liaison entre les agrégats ce qu'on appelle l'hydratation. Cela permet d'acquies ses propriétés mécaniques. On appelle "cure" le moyen utilisé pour protéger le béton des échanges avec l'extérieur (en particulier le séchage) afin d'assurer la prise puis le durcissement de manière optimale, la cure est particulièrement importante pendant le jeune âge du béton. On considère traditionnellement que les propriétés mécaniques finales du béton sont atteintes au bout de 28 jours.

- La méthode utilisée pour formuler notre béton est celle de Dreux – Gorisse, qui repose sur l'utilisation de courbes granulaires.

Afin de pouvoir effectuer les tests de résistance sur le béton, il est nécessaire de prévoir plusieurs échantillons du béton frais. Cet échantillonnage consiste à confectionner des

éprouvettes, on a réalisé des éprouvettes cubique (15×15×15) par prélèvement de béton pour un essai de la résistance du béton à 28 jours. Ainsi une moyenne sera réalisée sur les résultats obtenus et toute valeur aberrante pourra être écartée.

II.4.Essai sur béton

II.4.1.Consistance du béton

La consistance est une mesure de la fluidité ou de l'ouvrabilité du béton. On utilise l'affaissement ou le Slump. Il s'agit de l'affaissement (en mm) d'un cône d'Abrams de 300 mm de hauteur, qui est exprimé en classe S (de Slump). La norme qui décrit l'essai est la NBN EN 12350-2.

II.4.1.1. Le cône d'Abrams

Est un cône en acier galvanisé utilisé pour la mesure de la consistance d'un béton frais. [20]



Figure 15. Cône d'Abrams [21]

Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux :

- Le cône d'Abrams : c'est un moule en métal (acier zingué). Sa forme est tronconique (dimensions : $D = 20\text{cm}$, $d = 10\text{cm}$, $h = 30\text{cm}$) et il est muni de poignées.
- Le plateau support en métal, sur lequel le cône est posé lors du remplissage.
- La tige de piquage : tige d'acier de 16mm de diamètre et de longueur 60 cm dont les extrémités sont arrondies.
- La potence en acier pourvue d'une règle graduée servant à mesurer l'affaissement du béton.

II.4.1.2.Mode opératoire

- Le cône d'Abrams est placé puis fixé sur la plaque ;
- Le cône est rempli avec du béton frais en trois fois. À chaque fois, 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.



Figure 16. Essai d'affaissement

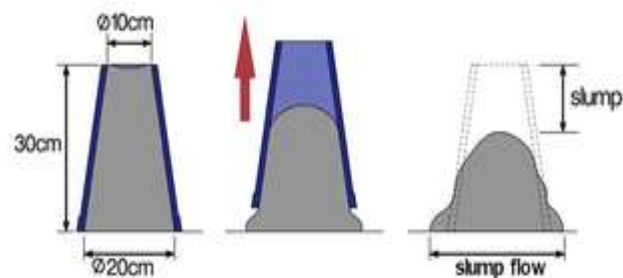


Figure 17. Schématisation de l'essai d'affaissement au cône d'Abrams [21]

II.4.1.4. Classe d'affaissement

On a 4 classes de consistance, en fonction de l'affaissement mesuré ;

Tableau 3. Classe de consistance du béton en fonction d'affaissement mesuré

Affaissement (cm)	Consistance
<4	Ferme : S1
5 à 9	Plastique : S2
10 à 15	Très plastique : S3
>16	Fluide : S4

II.4.2. La résistance à la compression [22]

La résistance à la compression est l'un des propriétés techniques les plus important du béton, elle représente la capacité d'un matériau au d'une structure à supporter certaines charges qui tendent à réduire sa taille par compression (écrasement), appelé mécanique des corps déformables.

Conventionnellement le béton est classé selon sa résistance à la compression mesurée à 28jrs sur des éprouvettes de dimension normalisées. La résistance à la compression des bétons courants est comprise entre 20 et 50MPA.

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cylindrique normalisée et d'élanement 2 (16x32 cm² ; norme NF P 18-406, NA 427), des éprouvettes cubique (15×15×15cm³) et des carottes. La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 1500 KN conforme à la norme NF P 18-412 (NA 2832). Les éprouvettes sont conservées sans être déplacées pendant 24 heures. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées jusqu'à réalisation des essais dans le même milieu ambiant. L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

- La résistance caractéristique est obtenue en divisant la résistance à la compression (déterminée sur site) par un coefficient de 0.85 conformément au paragraphe NA.8 de la norme NF EN 13791/CN, cela explique que le béton dans la structure a généralement une résistance moindre que celle mesuré conventionnellement sur éprouvettes moulées a la construction et prise en compte dans les calculs de dimensionnement.

II.4.2.1. Classe des bétons

La norme EN-206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau. Dans ce tableau fck-cyl est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Eurocode 2) ; fck cube est la résistance caractéristique mesurée sur cubes.

Tableau 4. Classe de résistance à la compression [23]

Classe	C _{8/10}	C _{12/15}	C _{16/20}	C _{20/25}	C _{25/30}	C _{30/37}	C _{35/45}	C _{45/55}
Fck-cyl (N/mm ²)	8	12	16	20	25	30	35	45
Fck-cube (N/mm ²)	10	15	20	25	30	37	45	55

II.4.2.3. Paramètres influençant la résistance mécanique

a. Le rapport E/C

Le rapport E/C exerce une très grande influence sur la résistance à la compression. E/C faible donnera un béton plus compact avec une meilleure résistance mécanique.

b. Influence des granulats

Les caractéristiques des granulats ont une grande influence sur celle des bétons, tels que le rapport gravier / sable (G/S) c'est un indicateur qui rentre directement dans la formulation du béton.

c. L'influence de la taille maximale du granulat

Exerce une influence sur la résistance à la compression du béton. L'augmentation maximale du diamètre global à un impact négatif sur la résistance à la compression aussi le risque de blocage croît,

La réduction de la taille des gros granulats contribués significativement à l'amélioration de la maniabilité.

d. L'influence des dosages en ciments

La résistance à la compression du béton augmente avec l'augmentation du dosage. La classe de résistance du ciment l'une des qualités essentielles à rechercher pour un béton est sa résistance mécanique à la compression. On distingue trois classes de résistances 32,5, 42,5 et 52,5MPa.

II.4. 3. La machine d'essai d'écrasement

Le béton est le matériau le plus utilisé dans l'industrie de la construction. Il existe une large gamme d'équipements de test et de machines de compression à haute rigidité permettant de tester des cubes, des cylindres et des blocs de béton selon les normes EN et autres normes internationales.

La machine d'essai est une presse de force, conforme aux normes NFP 18-411.

Les plateaux ou centre plateaux de la presse doivent avoir des dimensions égales ou légèrement supérieure à celle des faces de l'éprouvette soumise à l'essai.



Figure 18. Essais de compression

II.4. 3.1.Modalité d'essai de compression

Pour réaliser l'essai de compression, il faut suivre des étapes qui commencent par la préparation et le positionnement des éprouvettes, en commençant par les étapes suivantes :

- Essuyer toute humidité excessive de la surface de l'éprouvette avant de la positionner dans la machine d'essai.
- Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés et toutes particules ou corps étrangers retirés des surfaces de l'éprouvette qui seront en contact avec eux.
- Positionner les éprouvettes de façon que le chargement s'effectue perpendiculairement au sens de coulage.
- Centrer l'éprouvette sur le plateau inférieur avec une précision de 1% de la dimension nominale pour les éprouvettes cubiques ou du diamètre pour les éprouvettes cylindriques.
- sélectionner une vitesse constante de chargement dans la plage 0.6 ± 0.2 MPa/s, appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue à la vitesse constante. La charge maximale obtenue doit être enregistrée.

Tableau 5. Réglage des vitesses de presse

D (mm)	Surface brute (mm ²)	Vitesse 0.6±0.2Mpa/s	Vitesse sélectionnée KN/s
160	20096	0.6	12.1
150	17663	0.6	10.6
104	8491	0.6	5.1
100	7850	0.6	4.7
75	4416	0.6	2.6
50	1963	0.6	1.2

II.4. 3.2. Expression des résultats

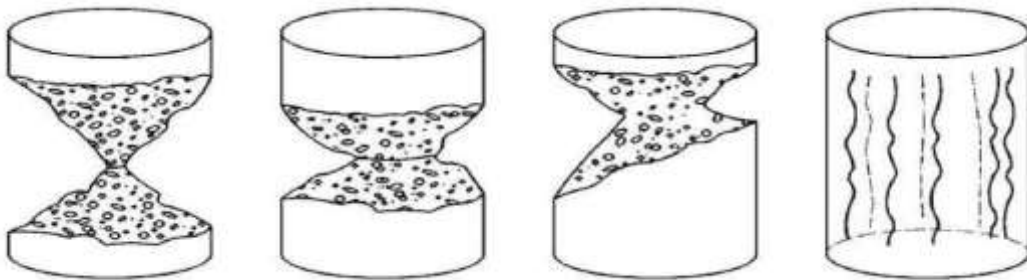
La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante : $f_c = F/A_c$

Avec :

F_c : la résistance à la compression exprimée en MPA

F : la charge maximale exprimée en N

A_c : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression appliqué

**Figure 19.** Exemples de ruptures correctes d'éprouvettes**II.4.4. Salle de conservation**

Pendant la période de cure initiale, les éprouvettes doivent être conservées dans un environnement contrôlé où la température est maintenue entre 15°C et 25°C dans la proximité immédiate des éprouvettes.

On peut avoir besoin de conserver les éprouvettes dans un état hydrique homogène, pour mettre en évidence des phénomènes physiques fondamentaux au sein du matériau, ou par souci d'éliminer un artefact important lié à l'inhomogénéité de la teneur en eau et à ses conséquences.

II.5. Plan de travail expérimental

Au cours de notre étude nous avons coulé 3 poteaux de 40*40 cm² de section afin de pouvoir estimer la résistance à la compression de notre béton étudié (corrélation entre les mesures destructives et non-destructives).

Le choix de notre objet d'étude a été porté sur un poteau dont la mise en œuvre est relativement facile par rapport à d'autres éléments, et moins coûteux et donne des résultats plus précis.

II.6. Plan d'expérience (combinaison entre méthode destructive et non-destructive)

Il est généralement difficile de déduire directement la résistance mécanique des bétons à partir d'une seule méthode de contrôle. En effet, le résultat est souvent affecté par des erreurs liées à la précision de la mesure et le type de matériau. D'autre part, ces techniques sont généralement influencées par plusieurs facteurs.

La stratégie de combinaison des techniques semble donc nécessaire pour une quantification suffisamment précise de la résistance mécanique des bétons in situ.

L'objectif particulier reste d'établir les relations qui permettront d'améliorer la précision de l'évaluation de la résistance du béton, sur la base de la connaissance des relations quantifiées entre des résultats du CND et CD, et la connaissance de la qualité de ces relations.



Chapitre III
Procédures expérimentales

III.1. Introduction

La réalisation d'un poteau est une opération qui passe par trois étapes à savoir le ferrailage, le coffrage et la mise en œuvre du béton. Ci-après nous détaillons chacune de ces trois étapes.

III.2. Ferrailage

Le ferrailage est l'action qui consiste à placer les barres d'acier avant de couler le béton. De leur bon positionnement va dépendre la solidité de la construction. Le maçon effectue donc un calcul pour déterminer où et comment poser le treillis métallique.

Le ferrailage de poteau est indispensable lors de la réalisation de piliers en béton. L'ajout d'acier permet de renforcer le béton, ainsi armé pour résister dans le temps.

Chaque structure métallique de chaque poteau comporte 6 barres métalliques de 12 mm de section. Les barres sont fixées à un cadre métallique de 8 mm de section. Les dimensions des cadres sont de 34 cm de longueur pour 33 cm de largeur.



Figure 20. Ferrailage des poteaux

III.3. Coffrage

Le coffrage a pour but de maintenir et de contenir le béton frais jusqu'à son durcissement et de lui conférer la forme souhaitée, c'est une structure temporaire en bois ou en acier dans laquelle on coule le béton afin qu'il prenne la forme désirée et qu'il soit protégé durant le temps de séchage. Une fois le béton consolidé et sa stabilité assurée, le coffrage ou moule est enlevé. Certains coffrages sont utilisés à plusieurs reprises, d'autres ne servent qu'une fois.

Le coffrage constitue l'outil essentiel en matière de réalisation d'ouvrages en béton. Il doit donner sa forme définitive au béton dans le respect des tolérances d'exécution.

Les équipements de coffrage prennent des formes différentes en fonction de l'ouvrage à bâtir.

a. Coffrage vertical

Le coffrage vertical est utilisé lors de l'édification de murs et poteaux. On utilise la plupart du temps une banche de coffrage. [24]

b. Coffrage horizontal

Le coffrage horizontal sert principalement à la réalisation de dalles et de poutres. Il repose sur un étaielement, structure destinée à assurer la solidité de l'ouvrage dans sa phase provisoire. [24]

C. Coffrage en bois

C'est le coffrage traditionnel. Le coffrage en bois est assemblé sur chantier.

Le fonctionnement :

- On fabrique le coffrage sur 3 faces, au sol ;
- On ferme le coffrage à l'endroit du poteau
- On fixe les panneaux par vissage.
Vous pouvez également utiliser des clous, mais ils risquent d'endommager les panneaux au décoffrage.
- On ceinture le coffrage avec du bois, pour le renforcer.



Figure 21. Coffrages des poteaux

III.4. Mise en œuvre du béton

Après avoir calculé les quantités nécessaires pour faire du béton, voici les méthodes de base sur lesquelles nous nous appuyons pour couler un poteau :

- On commence par réaliser une fondation : elle doit être assez grande pour mettre le poteau (précaution de bien laisser sécher la fondation faite de béton) ;
- On sort les aciers ;
- On trace sur les fondations l'emplacement du coffrage ;
- On met en place le coffrage. Pour renforcer le coffrage, on le ceinture avec du bois, et des serres jointes.
- On étaye le coffrage : les étais maintiennent le coffrage et garantissent l'aplomb de la structure. On met 4 étais, sur chaque face.
- On arrose le coffrage et on met un produit de décoffrage, pour faciliter le décoffrage ;
- On coule le béton ;
- On vibre le béton.

Dans notre projet nous avons coulé 3 poteaux afin de connaître la résistance à la compression du béton étudié.



Figure 22. Mélange du béton



Figure 23. Collage des poteaux



Chapitre IV
Résultats et discussions

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre nous avons décrits une description détaillée du mode opératoire pour chaque essai. La formulation utilisée par la méthode graphique dite méthode de Dreux-Gorisse, et on va présenter les différents résultats obtenus des essais réalisés non destructifs (Ultrason) et destructifs (essai de compression). Ces essais sont réalisés au niveau du laboratoire du CNERIB. En raison de caractère sectoriel du projet, la diffusion de l'intégralité des résultats est sujette à l'approbation du CNERIB. Par conséquent, uniquement quelques résultats de mesures seront publiés dans ce manuscrit.

IV.2. Formulation du béton

IV.2.1. Gravier 8/15

M1 : 2.6 kg M2= 2.589kg

Tableau 6. Analyse granulométrique de gravier 8/15

Tamis	Refus	Refus cumulé	Pourcentage de refus	Pourcentage cumulé de tamisât
20	16,3	16,3	0,6	99,4
16	685,7	702	27	73
12,5	1137,2	1839,2	70,7	29,3
10	506	2345,2	90,2	9,8
8	194	2539,2	97,7	2,3
6,3	44	2583,2	99,35	0,6
5	1	2584,2	99,39	0,6
4	0,2	2584,4	99,4	0,6
2	0,5	2584,9	99,41	0,6
Fond tamis	1,8			

IV.2.1.1. Masse volumique absolue

Tableau 7. Masses volumiques absolues de gravier 8/15

Désignation	Masse(g)	V 1(ml)	V2 (ml)	V (ml)	□ abs (g /ml)	Moyenne (g/ml)
Essai 1	774,4	1000	702,6	299	2,48	2,6
Essai 2	705,3	1000	736,5	269,3	2,61	
Essai 3	735,2	1000	725,9	278,4	2,64	

IV.2.1.2. Masse volumique apparente

Tableau 8. Masses volumiques apparentes de gravier 8/15

Désignation	M0 (g)	M1 (g)	V (ml)	Moyenne (kg/ m ³)
Essai 1	620.6	1466.5	1000	1436.66
Essai2	620.6	1462.6	1000	
Essai 3	620.6	1461.9	1000	



Figure 24. Essai de mesure de la masse volumique apparente

IV.2.2. Sable noir

$$M1=200 \text{ g} \quad M2=191,7\text{g}$$

Tableau 9. Analyse granulométrique de sable noir

Tamis	Refus(g)	Refus cumulé	Pourcentage de refus	Pourcentage cumulé de tamisât
6,3	0,9	0,9	0,45	99,55
5	2,3	3,2	1,6	98,4
4	11,7	14,9	7,45	92,55
2	57,7	72,6	36,3	63,7
1	47,6	120,2	60,1	39,9
0.5	37,1	157,3	78,65	21,35
0.25	27,7	185	92,5	7,5
0.125	6,3	191,3	95,65	4,35
0.063	1,2	192,52	96,26	3,74

IV.2.2.1.Masse volumique absolue

Tableau 10. Masses volumique absolues de sable noir

Désignation	Masse(g)	V 1(ml)	V2 (ml)	V (ml)	□abs (g /ml)	Moyenne (g/ml)
Essai 1	300	300	420	120	2.5	2,5
Essai 2	300	300	420	120	2.5	
Essai 3	300	300	420	120	2.5	

IV.2.2.2. Masse volumique apparente

Tableau 11. Masses volumiques apparentes de sable noir

Désignation	M0 (g)	M1 (g)	V (ml)	Moyenne (kg/ m ³)
Essai 1	620.6	1536 ,7	1000	1539.9
Essai2	620.6	1548,6	1000	
Essai 3	620.6	1534,6	1000	



Figure 25. Essai de mesure de la masse volumique apparente par l'entonnoir

IV.2.3. Sable jaune

M1=200 g M2= 191.7 g

Tableau 12. Analyse granulométrique de sable jaune

Tamis	Refus(g)	Refus cumulé	Pourcentage de refus	Pourcentage cumulé de tamisât
6,3	0	0	0	100
5	0	0	0	100
4	0	0	0	100
2	0	0	0	100
1	0,5	0,5	0,25	99,75
0.5	5,9	6,4	3,2	96,8
0.25	68,6	75	37,5	62,5
0.125	100,1	175,1	87,55	12,45
0.063	15,8	190,9	95,45	4,55

IV.2.3.1. Masse volumique absolue

Tableau 13. Masses volumiques absolues de sable jaune

Désignation	Masse(g)	V 1(ml)	V2 (ml)	V (ml)	□ abs (g /ml)	Moyenne (g/ml)
Essai 1	300	300	420	120	2,52	2,5
Essai 2	300	300	420	120	2,5	
Essai 3	300	300	420	120	2,5	

IV.2.3.2. Masse volumique apparente

Tableau 14. Masses volumique apparente de sable jaune

Désignation	M0 (g)	M1 (g)	V (ml)	Moyenne (kg/ m ³)
Essai 1	620.6	1427,6	1000	1418.9
Essai 2	620.6	1411,5	1000	
Essai 3	620.6	1417 ,7	1000	

IV.2.4. Module de finesse

IV.2.4.1. Sable noir

Tableau 15. Mesure de module de finesse de sable noir

Tamis	Refus	Refus cumulé	Pourcentage des refus
5	2,3	2,3	1,15
2.5	60,3	62,6	31,3
1.25	33,4	96	48
0.630	47,3	143,3	71,65
0.315	39,7	183	91,5
0.160	12,3	195,3	97,65

$$MF = \sum (\% \text{ de refus} / 100)$$

$$MF = (1,15 + 31,3 + 48 + 71,65 + 91,5 + 97,65) / 100 = 3,4\%$$

IV.2.4.2. Sable jaune

Tableau 16. Mesure de module de finesse de sable jaune

Tamis	Refus	Refus cumulé	Pourcentage des refus
5	0	0	0
2.5	0,2	0,2	0,1
1.25	0,1	0,3	0,15
0.630	1,6	1,9	0,95
0.315	33,8	35,7	17,85
0.160	119	154,7	77,35

$$MF = \sum (\% \text{ de } \frac{\text{refus}}{100})$$

$$MF = (0 + 0,1 + 0,15 + 0,95 + 17,85 + 77,35) / 100 = 0,96 \%$$

IV.2.5. Equivalent de sable



Figure 26. Etapes d'essai d'équivalent de sable

IV.2.5.1. Sable noir

Quantité : 120 g

Résultats :

H1=11 ,4

H2=9,5

Equivalent de sable= $(H2 / H1) \times 100$ SE= $(9,5 / 11,4) \times 100 = 83,33 \%$

IV.2.5.2. Sable jaune

Quantité : 120 g

Résultats :

H1 = 12 ,2

H2= 9,6

SE = $(9,6/12 ,2) \times 100 = 78 ,68\%$

IV.2.6. Méthode 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 et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges.

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

1. Détermination du rapport C/E
2. Détermination de C et E
3. Détermination du mélange optimal à minimum de vides
4. Détermination de la compacité du béton
5. Détermination des masses de granulats

Les résultats intermédiaires relatifs à chaque étape de calcul seront consignés sur la fiche de résultats jointe en annexe.

IV.2.6.1. Détermination du rapport C/E

Le rapport C / E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

Avec :

f_{c28} = Résistance moyenne en compression du béton à 28 jours en MPa

f_c = Classe vraie du ciment à 28 jours en MPa

C = Dosage en ciment en kg par m³ de béton

E = Dosage en eau total sur matériau sec en litre par m³ de béton

G' = Coefficient granulaire.

$f_c = 25$ MPA

$f_c = f_{c28} \times 1,15 = 25 \times 1,15 = 28,75$ MPA

$f_{c28} = G' \times f_c \times (C/E - 0,5)$

Tableau 17. Coefficient granulaire G' [25]

Qualité des granulats	Dimension D_{\max} des granulats		
	Fins $D_{\max} < 12,5$ mm	Moyens $20 < D_{\max} < 31,5$	Gros $D_{\max} > 50$ mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

Donc : $G = 0,5$

Détermination de rapport E / C :

$$f_c = G \times f_{cE} \times (C/E - 0,5)$$

$$28,75 = 25 (C/E - 0,5)$$

$$28,75 / 25 = C/E - 0,5$$

$$C/E = (28,75 / 25) + 0,5$$

$$C/E = 1,7 \Rightarrow E/C = 0,58 \cong 0,6$$

Donc : $E/c = 0,6$

Les données :

$$D_{\max} = 20 \text{ mm} ; E/C = 0,6 ; C/E = 1,7$$

❖ Détermination de C

La valeur de C est déterminée grâce à l'abaque de la figure 1 en fonction des valeurs de C/E et de l'affaissement au cône d'Abrams.

Lors de notre test, nous avons trouvé un affaissement de 7 cm (classe de consistance S2).

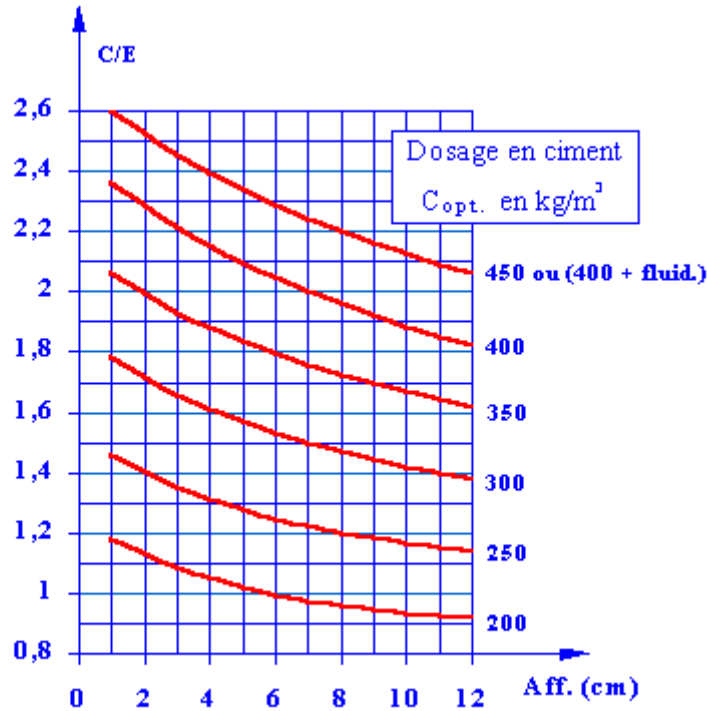


Figure 27. Abaque permettant la détermination de $C_{opt.}$ [25]

Dans notre cas: Pour des valeurs de C / E de 1,7 et un affaissement au cône de 7 cm, la quantité optimale de ciment nécessaire à la confection d'un mètre cube de béton est de 350 kg.

Le dosage de ciment :

$$C = 350 \text{ kg}$$

Le dosage d'eau :

$$C/E = 1,7$$

$$E/C = 0,6 \Rightarrow E = 350 \times 0,6 = 210 \text{ l/m}^3$$

$$E = 210 \text{ l/m}^3$$

IV.2.6.2. Mélange granulaire

Optimisation du squelette granulaire :

Validation de sable : 2 sables disponibles

- Sable1 noir : 3,4 Mf1 (sable grossier)
- Sable2 jaune : 0,96 Mf2 (sable fin)

On a : (la règle d'Abrams, $Mf_{opt} = 2,5$)

$$ET S1 + S2 = 1$$

$$S1.Mf1 + S2.Mf2 = (S1 + S2) Mf_{opt}$$

$$S1 (Mf1 - Mf_{opt}) + S2 (Mf2 - Mf_{opt}) = 0$$

$$S1 = S2 \frac{(Mf_{opt} - Mf2)}{(Mf1 - Mf_{opt})}$$

$$S2 = \left[\frac{(Mf_{opt} - Mf2)}{Mf1 - Mf_{opt}} + 1 \right] = 1$$

$$S2 = \frac{(Mf1 - Mf_{opt})}{(Mf1 - Mf2)}$$

Soit :

$$S2 = \frac{3,4 - 2,5}{3,4 - 0,96}$$

$$S2 = 0,37$$

Donc :

$$\text{Sable jaune} = 37\%$$

$$\text{Sable noir} = 63\%$$

IV.2.6.3. Courbe OAB

O(0,0)

B (D_{max} , 100%)

A (x,y)

On a : $D_{max} = 20\text{mm}$

$$\text{Donc : } X_a = D_{max} / 2 \Rightarrow 20 / 2 = 10 \text{ mm}$$

$$Y_a = 50 - \sqrt{D_{max}} + K$$

$$K = ?$$

Tableau 18. K, fonction de la forme des granulats, du mode de vibration et du dosage en ciment.

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage en Ciment	400 + Fluide	- 2	0	- 4	- 2	- 6	- 4
	400	0	+ 2	- 2	0	- 4	- 2
	350	+ 2	+ 4	0	+ 2	- 2	0
	300	+ 4	+ 6	+ 2	+ 4	0	+ 2

On a : (la vibration normale / c= 350 / granulats roulées)

Donc : $K = 0$

Alors :

$$Y_a = 50 - \sqrt{20}$$

$$= 45.5 \text{ mm}$$

Donc :

O (0,0)

B (20, 100%)

A (10,45.5)

D'après le graphique, on aura :

-Le pourcentage de sable = 42%

-Le pourcentage de gravier = 58%

IV.2.6.4. Calculs

Pour 1 m³ du béton

$$\gamma = 0,815$$

$$\gamma = (V_{\text{ciment}} + V_{\text{granulat}}) / V_{\text{béton}}$$

$$\gamma = (V_{\text{ciment}} + V_{\text{granulat}}) / 1$$

$$V_{\text{granulat}} = \gamma - V_c$$

$$V_g = 0,815 - (350/3100)$$

$$= 0,702$$

$V_{\text{granulat}} = 702 \text{ L}$

$\text{Sable} = 702 \times 0,42 \times 2,5 = 737.1 \text{ kg / m}^3$

$\text{Gravier (8/15)} = 702 \times 0,58 \times 2,6 = 1058.7 \text{ kg / m}^3$

Dosage de deux sables :

On a :

Sable jaune : 37%

Sable noir : 63%

Donc :

Sable jaune = 271.6 kg / m³

Sable noir = 464.37 kg / m³

Tableau 19. Résultats des dosages des constituants de béton

Constituants	Dosages
Ciment	350
Eau	210
Sable jaune	271.6
Sable noir	464.37
Gravier	1058.6

Le rapport G/S = 1.4.

Cette formulation a donné une valeur moyenne de la résistance à la compression sur trois éprouvettes de 30,73MPa pour un écart-type de 1.60. Cette valeur est supérieure à la résistance caractéristique du béton choisie pour cette formulation.

IV.2.7. Interprétation des résultats

Les compositions optimales retenues pour la formulation étudiée sont consignées sur les tableaux précédents.

Les échantillons de graviers analysés présentent des caractéristiques physico-mécaniques acceptables.

La formulation étudiée peut donner un béton de bonne qualité si les recommandations suivantes seront respectées :

- Respecter les dosages des différents composants.
- Veillez sur la propreté des granulats.
- Utiliser le vibreur convenablement (respecter le temps de vibration).

IV.3. Mesure sur éléments de structures

IV.3.1. Mesures ultrasons

Dans cette partie, nous allons discuter les résultats obtenus d'après les essais ultrasons exécutés afin de mesurer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales pour évaluer la résistance à la compression du béton in situ. Beaucoup des interprétations des résultats de mesures aux ultrasons sont données dans la littérature. Selon le chercheur allemand Wesche:

Tableau 20. Résistance de béton en fonction de la vitesse de propagation des ondes ultrasons.

Vitesse de propagation	Résistance du béton
$2500 \text{ m/s} \leq V < 3200 \text{ m/s}$	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

Les mesures ultrasons ont été effectuées dans un premier temps sur le poteau à différents endroits. Trois zones ont été identifiées et elles sont notées respectivement, partie supérieure (zone 1), médiane (zone 2) et inférieure (zone 3). Ces zones ont été classifiées en vue d'avoir une estimation de la vitesse des ondes ultrasons à différents emplacements du poteau. Pour chaque zone, une indication sur le diamètre de la carotte qui sera prélevée est utilisée pour la codification. De plus, les mesures concernent aussi les deux côtés du poteau. Les résultats obtenus in situ sur la zone 2 du poteau numéro deux (02) sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 21. Résultats d'essai ultrason in situ

Zone médiane de poteau (2) (p2)			
Côté gauche (L)		Côté droit (R)	
Diamètre	UPV	Diamètre	UPV
100mm	4402 m /s	60mm	4369 m /s
80mm	4417 m /s	80mm	4355 m /s
60mm	4364 m /s	100mm	4431 m /s

Les résultats obtenus sur carottes de la zone 2 du poteau (2) sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 22. Résultats de mesures ultrason et masses volumique sur carottes élancement 2

Carottes					
Côté gauche (L)			Côté droit (R)		
Diamètre (mm)	UPV (m /s)	M.V (kg/m ³)	Diamètre (mm)	UPV (m /s)	M.V (kg/m ³)
100	4650	2246	60	4835	2229
80	4686	2257	80	4637	2258
60	4756	2251	100	4676	2281

IV.3.1.1. Interprétation des résultats

On constate que d'après la comparaison entre les résultats trouvés et les résultats donnés dans le tableau 21 que la vitesse des ondes ultrasons est supérieure à ≥ 4200 m/s sur l'ensemble des emplacements choisis pour la mesure. Par référence au tableau 20, il est déduit que notre béton a une très haute résistance.

Le second constat porte sur les résultats de mesure sur les deux côtés (gauche et droit). On observe qu'il existe un petit écart entre les vitesses.

En comparant les résultats obtenus sur le poteau et sur les carottes, nous avons constaté qu'il existe une différence entre eux, les résultats sur site sont inférieurs (moins d'environ 400 m/s) à celle qui est mesurée sur des carottes prélevées dans le même lot de béton ; et cette différence peut s'expliquer par :

- La différence de volume (effet de l'échelle) ;
- La distance (la distance entre les 2 points de mesure sur la carotte est plus petite que sur le poteau, donc la transmission passe vite, ce qui explique des résultats plus élevés) ;

Ces vitesses caractérisent un béton de bonne qualité et homogène suivant le chercheur allemand Wesche.

IV.3.2. Essai destructif

La norme NF EN 13791/CN propose trois méthodes différentes d'évaluation de la résistance caractéristique en compression. Selon que cette évaluation est basée uniquement sur des carottes, sur une corrélation entre des mesures destructives et quelques carottes, ou sur l'utilisation des mesures non destructives dans une zone d'essai de moins de 30m^3 pour choisir l'aire (ou les aires) d'essai dans laquelle (lesquelles) on fera des carottages.

Dans une aire d'essai, la norme exige de prélever au moins 3 carottes de diamètre compris entre 50 et 75 mm ou au moins 1 carotte de diamètre ≥ 75 mm pour obtenir un résultat ; elle mentionne aussi dans une note que la dimension des granulats a une incidence significative sur la résistance mesurée lorsque le rapport entre le diamètre de la carotte et la dimension maximale des granulats est inférieur à environ 3. Il est néanmoins souhaitable, si le ferrailage et dimension de la pièce le permettent de prélever des carottes ayant un diamètre égale à 5 fois le diamètre du plus gros granulat, ce qui conduit dans la plupart des cas à prélever des carottes de diamètre égale environ 100 mm.

Dans notre cas on a devisé le poteau en 3 zones et chaque zone devisé en 2 cotés (droite et gauche), dans chaque cotés on a prélevé 3 carottes de différent diamètres (100 mm, 80 mm, 60 mm). Il est important de noter que les carottes sont aussi différenciées par l'élanement.

IV.3.2.1 Essai d'écrasement

L'écrasement le plus important est celui à 28 jours après avoir coulé le béton, il permet de vérifier que la classe de résistance est respectée, conformément aux normes.

- Après l'essai d'écrasement (à 28 jours) sur des carottes d'un diamètre de (100mm, 80mm et 60mm) voici les résultats obtenus.

Tableau 23. Résultats d'essai de compression sur carottes (élanement2)

Référence	Essai d'écrasement		Essai ultrason (M/S)		
P2Z2R EL2 D100	167KN	21MPA	4469	4489	4499
P2Z2L EL2 D100	205KN	26MPA	4262	4208	4217
P2Z2R EL2 D80	87KN	17.36MPA	3491	3491	3491
P2Z2L EL2 D80	73KN	14.59MPA	3913	3913	3913
P2Z2R EL2 D60	69KN	24.45MPA	4045	4045	4045
P2Z2L EL2 D60	68KN	23.94MPA	3981	3981	3981

Tableau 24. Résultats d'essai de compression sur carottes (élanement1)

Référence	Essai d'écrasement	
P2Z2R EL1 D100	176KN	22.40MPA
P2Z2L EL1 D100	165KN	20.95MPA
P2Z2R EL1 D80	67KN	13.27MPA
P2Z2L EL1 D80	76KN	15.11MPA
P2Z2R EL1 D60	57KN	20.29MPA
P2Z2L EL1 D60	50KN	17.81MPA

Tableau 25. Résultats d'écrasement et masses volumique des éprouvettes cubiques

Eprouvettes cubiques (15×15×15)	EP1	EP2	EP3
Résistance à la compression à 28jrs	40.67 MPA	37.73 MPA	36.84 MPA
Masse volumique	2330kg /m ³	2321 kg /m ³	2302 kg /m ³

Tableau 26. Résultats d'écrasement et masses volumique des éprouvettes cylindriques

Eprouvettes cylindrique (15×30)	EP1	EP2	EP3
Résistance à la compression à 28jrs	32.53 MPA	30.18 MPA	29.47 MPA
Masse volumique	2330kg /m ³	2321 kg /m ³	2302 kg /m ³

IV.3.2.2. Interprétation des résultats

Après avoir étudié les différents résultats d'essai d'écrasement de divers diamètres, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes :

- Après avoir fait l'essai d'écrasement, nous avons conclu que la haute résistance n'est pas liée à la vitesse de propagation, car il est possible d'obtenir une haute résistance avec une basse vitesse d'ultrason et vice versa.
- Lors de la comparaison des résultats obtenus sur les carottes du l'élanement 1 et l'élanement 2 on a constaté que la résistance de ces dernières était plus élevée ; et cela peut être dû à : la différence entre la distance, le découpage déformé ou bien l'effet du surfaçage (le surfaçage a été effectué uniquement pour EL2).
- Lorsqu'on compare les résultats par rapport au diamètre, on constate qu'il y'a un écart qui change de zone à l'autre et du poteau à l'autre, et cette différence peut être due à un mauvais coulage de béton.
- La dispersion des résultats de résistance mesurés augmente lorsque le rapport diamètre de la carotte/dimension du plus gros granulat diminue.

Par rapport aux résultats des deux côtés (gauche et droit) on constate :

- Il y'a un écart de 5MPa sur les carottes de 100mm de diamètre, 3MPa environ sur celles de 80mm, et pour le diamètre 60mm il y'a un petit écart de 1MPa. Cette différence peut être incombée au mauvais mélange des agrégats, faible picage lors du coulage, une augmentation de la porosité qui diminue la résistance.
- Lorsqu'on compare les résultats de la résistance des carottes et des éprouvettes cylindrique, on trouve que celle des éprouvettes est plus élevée à celle des carottes , parce que la carotte peut être intrinsèquement moins résistante qu'un cylindre du fait que la surface d'une carotte inclut des morceaux de granulat qui peuvent être retenus à la surface uniquement par l'adhérence de la matrice. De telles particules ne contribuent que faiblement à la résistance de la carotte.
- L'éprouvette cylindrique donne des valeurs de résistance inférieure à celles données par le cube, par ailleurs les coefficients de conversion de forme et de géométrie donnent des valeurs comparables ceux données réellement, le cube se rompt selon des plans obliques et donne une rupture pyramidale, le cylindre donne de véritable rupture de compression avec des lignes de fissuration parallèles à la direction de l'effort de compression.

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans notre étude sur un échantillon de 3 poteaux on a effectué une association entre les essais destructifs et non destructifs pour avoir une relation entre les deux. Afin d'évaluer la résistance à la compression. Cette étude est composée de quatre parties :

La première est bibliographique, elle nous a permis d'enrichir nos connaissances sur les principales méthodes de contrôle des structures en génie civil.

La deuxième est la partie expérimentale de cette recherche, où nous avons présenté les différents constituants de notre formulation de béton et leurs caractéristiques. Ainsi que l'équipement utilisé lors de l'étude.

La troisième partie représente la mise en œuvre du béton et coulage des poteaux en passant par le coffrage et le coulage.

La quatrième partie aborde les résultats des essais et leurs commentaires.

En se basant sur cette étude, il apparaît que l'utilisation de plus d'une technique non destructive donne une meilleure corrélation et en ce sens contribue à rendre l'évaluation de la résistance du béton plus fiable.

L'analyse concernant les carottes donnent des corrélations qui ne sont pas vraiment satisfaisantes, ceci s'explique d'une part par la qualité et moyens de mise en œuvre du béton qui laissent souvent à désirer (en ce qui concerne des programmes de logements sociaux attribués souvent à des petites entreprises sans grands moyens) et d'autre part par les lieux de prélèvement ne représentent pas réellement l'ensemble du béton (car le plus souvent effectués au hasard ; car difficilement réalisables).

Néanmoins l'application en chantier de telles méthodes non destructives pourra nous renseigner sur la qualité du béton et il sera préférable pour un bon suivi de qualité-contrôle du béton d'établir des corrélations entre des essais mécaniques sur des éprouvettes coulées et conservées dans les mêmes conditions que le béton de l'ouvrage plutôt que de recourir à des carottages qui sont très difficiles à réaliser moins représentatifs et plus coûteux.

En général la méthode combinée apparaît plus adaptée aux conditions de mesures sur site, très pratique, rapide et avec un coût raisonnable. Une fois que des corrélations sont établies entre les valeurs des résistances des éprouvettes (au nombre suffisant) issues des essais mécaniques et les mesures issues des techniques non destructives, l'évaluation de la résistance du béton apparaît donc plus fiable. Son utilisation pratique gagne une reconnaissance à grande échelle, elle met à la disposition des maîtres d'ouvrages des informations précises et objectives pour le suivi qualité-contrôle du béton sur chantier.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- [1]- [HTTP://HAL.ARCHIVES-OUVERTES.FR](http://HAL.ARCHIVES-OUVERTES.FR) SUBTIMATED ON 13 SEPTEMBRE 2018
- [2]- PARTIEL CHAPITRE3 2003 [HTTPS://THESIS.UNIV-BISKRA.DZ](https://thesis.univ-biskra.dz)
- [3]- [https://www.ensand.fr / default/files/mars-2006_0.pdf](https://www.ensand.fr/default/files/mars-2006_0.pdf)
- [4]-LES DIFFERENTES TYPE DU BETON: GUIDE BETON
- [5]- Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1 : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.
- [6]- [HTTP://INFOCUMENTS.FR](http://infociments.fr) CARACTERISTIQUES ET TYPES DE GRANULATS-INFOCUMENTS
- [7]- [HTTP://WWW-FUTURA-SCIENCE.COM](http://www.futura-science.com) DEFINITION | SABLE | FUTURA PLANETE-FUTURA SCIENCES
- [8]-HYDRATATION D'UN CIMENT PORTANLD
- [9]- HYDRATATION DU CIMENT PORTLAND –SITE DOCUMENTAIRE DE LERM
[HTTP://DOC.LERM.FR](http://doc.lerm.fr)
- [10]- CARACTERISTIQUE FONDAMENTALE DE BETON – [HTTP://ENA.ETSMTL.CA](http://ena.etsmtl.ca)
- [11]-GABRYSIA. F: MATERIAUX. (CHAPITRE 2 LES GRANULATS ET CHAPITRE 4 BETONS). 2007
- [12]- [HTTP://DSpace.UNIV-MSILA.DZ](http://dSPACE.univ-msila.dz) DURABILITE D'UN BETON EXPOSE A UN MILIEU AGRESSIVE (ACIDE SULFURIQUE
- [13]- [HTTP://WWW.APAV.MG](http://www.apav.mg) CONTROLE NON DESTRUCTIF-APAVE MADAGASCAR

[14] -SAMIA HANNACHI ; 2015 : EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION DU BETON SUR SITE : APPLICATION DE LA METHODE COMBINEE.

[15]- [HTTPS://TEL.ARCHIVES-OUVERTES.FR](https://tel.archives-ouvertes.fr) MODELISATION DE LA PROPAGATION DES ONDES ULTRASONORES DE BETON ARME

[16]- [HTTPS://SCREENING-EGALE.COM](https://screening-egale.com)

[17]- NF EN 13791 ; AOUT 2019 : ÉVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR SITE DES STRUCTURES ET DES ELEMENTS PREFABRIQUES EN BETON.

[18]- <https://perceuse.ooreka.fr>

[19]-NF EN 933-1 : ESSAIS POUR DETERMINER LES CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES GRANULATS - PARTIE 1 : DETERMINATION DE LA GRANULARITE - ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE.

[20]- [HTTPS://STAFF.UNIV-BATNA2.DZ](https://staff.univ-batna2.dz) TP : D’AFFAISSEMENT-OPS.UNIV-BATNA2.DZ

[21]- GROUPE EYROLLES : « CÔNE D’ABRAMS. » EDITION EYROLLES.2010

[22]- EN-12350-6 : masse volumique du béton frais

[23]- CONTEXTE NORMATIF DES BETONS : MISE EN PAGE ET REALISATION : AMPRINCIPE PARIS (EDITION SEPTEMBRE 2005)

[24]- [HTTPS://CIVILMANIA.COM](https://civilmania.com) DREUX GORISSE

[25]- NA 17004 ; 2008 : EVALUATION DE LA RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR SITE DES STRUCTURES ET LES ELEMENTS PREFABRIQUES EN BETON.

26] - EN 12504-4 ; MAI 2005 : ESSAIS POUR BETON DANS LES STRUCTURES - PARTIE 4 : DETERMINATION DE LA VITESSE DE PROPAGATION DU SON.

[27]- NORME NBN EN 12504-1 ; 2019 : ESSAIS POUR BETON DANS LES STRUCTURES - PARTIE 1 : CAROTTES - PRELEVEMENT, EXAMEN ET ESSAIS EN COMPRESSION.

[28]-NF P18-598 : GRANULATS - ÉQUIVALENT DE SABLE.

[29]- LA NORME EN-206 : CLASSE D'EXPOSITION DES BETONS.

[30]- CONCRETE CORE TESTING FOR STRENGTH TECH. REPORT 11 CONCRETE SOCIETY LONDON
1987

[31]- LA NORME EN 197-1:COMPOSITIONS DES CIMENTS COURANTS

[22]-NF18-451

[33]- DREUX G., FESTA J. : 1995, "NOUVEAU GUIDE DU BETON ET DE SES CONSTITUANTS",
HUITIEME EDITION, EYROLLES.

[34]- DREUX. G 1979 : « NOUVEAU GUIDE DU BETON. »

[35]- ADAMM.N : « PROPRIETES DES BETONS. »EDITION EYROLLES. 2000

[36]- VENANT.M : « CIMENT ET BETONS. » 2ÈME ÉDITION. 197

[37]- EN-12390-3 : RESISTANCE A LA COMPRESSION DES EPROUVETTES.

[38]- [HTTPS://INFOS.WURTH.FR](https://infos.wurth.fr)

ANNEX

PRESENTATION DE CENTRE DE RECHERCHE CNERIB

PRESENTATION DE CENTRE DE RECHERCHE CNERIB

Le CNERIB, CENTRE NATIONAL D'ETUDE ET DE RECHERCHE INTEGREES DU BATIMENT (Cité Nouvelle EL Mokrani Souidania, Alger), est un Établissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) sous tutelle du Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville (Algérie) (décret exécutif n°03-443 du 29 novembre 2003, modifiant et complétant le décret n°82-319 du 23 octobre 1982). Il est chargé des missions d'études et de recherche dans le domaine du bâtiment au sens large. Outre les missions définies dans le décret n°11-396 du 24 novembre 2011 fixant le statut-type de l'EPST, le CNERIB est chargé d'entreprendre dans le cadre du plan national de développement économique et social, toutes activités intégrées d'études, de recherche appliquée et de réalisation, destinées à faciliter la préparation des instruments de la politique nationale en matière d'habitat et de construction et d'élaborer et de réaliser les programmes nationaux de recherche scientifique et de développement technologique relevant de son domaine, notamment en matière de mise au point et de développement de matériaux, produits, matériels et procédés dans le domaine de l'habitat et de l'urbanisme.



Organigramme de l'entreprise :

