

Université mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)

Faculté du génie de la construction

Département de génie civil



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

*En vue de l'obtention du diplôme de Master
de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou*

**Filière : Génie Civil
Spécialité : Structures**

Thème

ÉTUDE EXPERIMENTALE D'UN BÉTON CONFINÉS PAR GRILLES MÉTALLIQUES A MAILLES CARRÉES - ESSAIS DE COMPRESSION -

Présenté par :

Mr. LOUARDANI Farid

Devant le jury composé de :

Mr. BOUAFIA Youcef	Professeur	Président
Mr. DAHMOUS Hocine	Maitre de conférences	Promoteur
Mme. FEDAOUI-AKMOUSSI Ourdia	Maitre de conférences	Examinatrice
Mme. TAOUCHE-KHELOUI Fatma	Professeur	Co-Encadreur

REMERCIEMENTS

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon Encadreur Mr. DAHMOUS Hocine pour la sollicitude avec laquelle il a suivi et guidé ce mémoire.

Il est un agréable devoir d'exprimer mes sentiments de reconnaissance aux enseignants et personnel de la bibliothèque du département de Génie-Civil ainsi qu'à ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude et ma parfaite considération à Mme KHELOUI Fatma pour sa disponibilité permanente, ses orientations, sa modestie, sa sympathie, et son soutien durant toute la période de réalisation de mon travail de recherche.

Je remercie aussi pour leur soutien moral, conseils et orientations forts appréciés. ;

- Mme AKMOUSSI Ourdia
- Mme BENAHMED Fadhila
- Mr. BOUHRAOUA Rachid

Et enfin mes sincères remerciements et ma profonde gratitude s'adressant également aux membres de jury qui me feront l'honneur de juger mon travail.

DEDICACES

Nous adressons nos vifs remerciements pour tous ceux qui nous ont apporté leur aide de près ou de loin dans la réalisation de notre présent mémoire, particulièrement :

- Toute ma grande famille,
- Mes très chers parents, à qui je dois tout et ne rendrais jamais assez,
- Ma femme et mes enfants,
- Mes frères et sœurs,
- Tous mes amis,
- Et toute la promotion 2024-2025.

RÉSUMÉ

Le béton est un matériau incontournable dans le domaine de la construction grâce à sa bonne résistance à la compression, sa durabilité et son coût abordable. Cependant, il présente une fragilité notable sous les efforts de traction ou dans des conditions de chargement extrême. Pour pallier ces faiblesses, diverses méthodes de confinement ont été développées, parmi lesquelles, figure l'utilisation innovante de grilles métalliques.

Ce travail de recherche porte sur l'analyse expérimentale du comportement mécanique de bétons confinés à l'aide de grilles métalliques à mailles carrées. L'objectif principal est d'évaluer l'impact de ce type de confinement sur la résistance à la compression et la ductilité du béton.

L'étude s'articule autour d'un protocole expérimental rigoureux comprenant 39 éprouvettes cylindriques (16×32 cm), réparties entre :

- Bétons témoins (non confinés),
- Bétons confinés intérieurement (diamètres de 8 cm et 12 cm),
- Bétons confinés extérieurement (diamètre de 16 cm).

Quatre types de grilles métalliques ont été utilisées, différenciées par :

- Le vide de maille (de 1,5 cm à 4 cm),
- Le diamètre des fils (de 2 mm à 3 mm).

Chaque combinaison de confinement et de type de grille a été testée sur trois éprouvettes, afin d'assurer la répétabilité et la fiabilité des résultats.

Les essais de compression ont permis de mettre en évidence plusieurs observations clés :

- Le confinement améliore significativement la résistance maximale du béton et son comportement post-fissuration.
- Les grilles à mailles plus serrées (1,5 à 2,5 cm) offrent de meilleures performances mécaniques.
- Le confinement extérieur avec des grilles de type D (maille 1,5 cm, fil 2 mm) s'est révélé être la configuration la plus efficace.

L'analyse des modes de rupture et des courbes contrainte-déformation confirme l'influence notable de la géométrie du confinement sur la performance du matériau. Une amélioration de la ductilité et un retardement de l'écrasement brutal ont été constatés dans les éprouvettes confinées.

En conclusion, ce mémoire démontre l'intérêt technique et économique du confinement par grilles métalliques comme solution de renforcement du béton. Les résultats obtenus ouvrent des perspectives intéressantes pour une application pratique dans les ouvrages en béton armé, notamment dans le domaine du renforcement des structures existantes ou en zones sismiques.

Mots-clés : Béton confiné, grilles métalliques, résistance à la compression, ductilité, confinement latéral, comportement mécanique, renforcement du béton, Modes de rupture.

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE :	1
PROBLEMATIQUE :	1
OBJECTIF DE L'ETUDE :	2
I.1 LE BETON :	6
I. CHAPITRE I – BETON ET TECHNIQUES DE CONFINEMENT	2
I.1.1 HISTORIQUE :	6
I.1.2 PATHOLOGIES DU BETON ET PROCESSUS DE DEGRADATION :	7
I.1.2.2 PATHOLOGIES D'ORIGINE MECANIQUE :	11
I.1.2.3 PATHOLOGIES D'ORIGINE PHYSIQUE :	11
I.2 TECHNIQUES DU CONFINEMENT DU BETON :	13
I.3 TRAVAUX DES AUTEURS :	14
I.4 CONCLUSION :	15
II.1 INTRODUCTION :	16
II. CHAPITRE – II – PRESENTATION ET CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX	16
II.2 MATERIAUX UTILISES :	16
II.2.1 Constituants du béton :	16
II.2.1.1 Ciment :	16
II.2.1.2 Les Granulats :	17
II.2.1.3 Eau de gâchage :	17
II.2.1.4 Adjuvant :	18
II.2.1.5 Grille métallique :	19
II.3 PREPARATION DES GRILLES ET EPROUVETTES :	19
II.3.1 Préparation & Dimensions :	19
II.3.1.1 Préparation de la Grille Métallique :	19
II.3.1.2 Préparation et remplissage des moules :	20
II.3.1.3 L'essai d'affaissement au cône d'Abrams :	21
II.3.1.4 Serrage du béton (Vibration) :	22
II.3.1.5 Marquage :	23
II.3.1.6 Conservation des éprouvettes :	24
II.3.2 Machine d'essai :	25

II.4	ETUDE DE COMPOSITION DU BETON – METHODE DREUX-GORISSE :	26
II.4.1	Objectifs d'une Composition / Formulation des bétons :	26
II.4.2	Hypothèse de travail :	27
II.4.2.1	Caractéristique du béton :	27
II.4.2.2	Caractéristique des Granulats :	27
II.4.2.3	Caractéristique du ciment :	27
II.4.3	Masse Volumique (NF P 94-064):	27
II.4.3.1	Masse Volumique Absolue :	28
II.4.3.1.1	But de l'essai :	28
II.4.3.1.2	Conduite de l'essai :	28
II.4.3.1.3	Masse volumique absolue du Sable :	29
II.4.3.1.4	Masse volumique absolue du Gravier 3/8 :	29
II.4.3.1.5	Masse volumique absolue du Gravier 8/15 :	29
II.4.3.2	Masse Volumique Apparente :	30
II.4.3.2.1	But de l'essai :	30
II.4.3.2.2	Conduite de l'essai :	30
II.4.3.2.3	Résultat :	31
II.4.3.2.4	Masse volumique apparente du Sable :	31
II.4.3.2.5	Masse volumique apparente du Gravier 3/8 :	31
II.4.3.2.6	Masse volumique apparente du Gravier 8/15 :	31
II.4.4	Equivalent du Sable (EN 933-8) :	32
II.4.4.1	But de l'essai :	32
II.4.4.2	Principe et conduite de l'essai :	32
II.4.5	Module de finesse du Sable :	34
II.4.6	Essai d'analyse granulométrique (EN 933-1):	35
II.4.6.1	But de l'essai :	35
II.4.6.2	Conduite de l'essai :	35
II.4.6.3	Expression des résultats (Courbe Granulométrique) :	36
II.4.6.4	Détermination du Rapport C/E :	40
II.4.6.5	Détermination de la quantité du Ciment (C) :	41
II.4.6.6	Détermination de la quantité de l'eau (E) :	41
II.4.6.7	Tracé de la courbe granulométrique de référence (Ligne de Référence AOB) :	41
II.4.6.8	Détermination des quantités des composants de la formulation du béton :	44
II.4.6.8.1	Coefficient de compacité (γ) en fonction de D :	44
II.4.6.8.2	Volume total absolu :	44
II.4.6.8.3	Volume du sable :	45
II.4.6.8.4	Volume des gravillons :	45
II.4.6.8.5	Composition pondérale sèche en Kg :	46
II.4.6.8.6	Composition de béton pour 01 éprouvette :	47
II.5	CONCLUSION :	50

III.1 INTRODUCTION :	51
III. CHAPITRE – III – PRESENTATION & INTERPRETATION DES RESULTATS	51
III.2 PRESENTATION DES RESULTATS :	51
III.2.1 Résultats des essais de compression sur le béton témoin :	51
III.2.2 Résultats des essais de compression sur le béton Confiné :	52
III.2.2.1 Résultats des essais de pour le Type - A :	52
III.2.2.2 Résultats des essais pour le Type - B :	54
III.2.2.3 Résultats des essais pour le Type - C :	56
III.2.2.4 Résultats des essais pour le Type - D :	58
III.2.3 Influence de la dimension de la maille sur la résistance du béton :	60
III.2.3.1 Confinement Interne - Ø 8 :	60
III.2.3.2 Confinement Interne - Ø 12 :	60
III.2.3.3 Confinement Externe - Ø 16 :	61
III.2.3.4 Interprétation de l'influence de la dimension de la maille de confinement :	61
III.2.4 Influence de la position de confinement sur la résistance du béton :	62
III.2.4.1 Type A (Maille de 04 cm) :	62
III.2.4.2 Type B (Maille de 03 cm) :	63
III.2.4.3 Type C (Maille de 2.5 cm) :	63
III.2.4.4 Type D (Maille de 1.5 cm) :	64
III.2.4.5 Discussions Générale sur l'influence de la position de confinement sur la résistance du béton :	64
III.2.4.6 Comparaison des performances mécaniques des bétons confinés et non confinés (Béton témoin)	66
:	66
III.3 MODES DE RUPTURES :	67
III.3.1 Rupture du Béton non confiné (béton témoin) :	67
III.3.2 Rupture du béton Confiné par grilles métalliques :	68
III.3.2.1 Confinement avec Grille de type A (Maille de 4cm):	68
III.3.2.2 Confinement avec Grille de type B (Maille de 3cm):	69
III.3.2.3 Confinement avec Grille de type C (Maille de 2.5cm):	70
III.3.2.4 Confinement avec Grille de type D (Maille de 1.5cm):	71
III.3.2.5 Résumé comparatif des modes de rupture :	71
III.4 CONCLUSION :	72
CONCLUSION GÉNÉRALE	73

LISTE DES FIGURES

FIGURE I - 1 : EPROUVETTE CYLINDRIQUE 32X16CM	3
FIGURE I - 2 : CARBONATATION DU BETON	8
FIGURE I - 3 : CORROSION DES BARRES D'ACIER / ARMATURES	10
FIGURE I - 4 : IMPACT DE LA CORROSION DES ARMATURES SUR LA DURABILITE DU BETON	10
FIGURE I - 5 : TASSEMENT DIFFERENTIEL	11
FIGURE I - 6 : SEISME	12
FIGURE I - 7 : PATHOLOGIES DU BETON DUES AU GEL-DEGEL	12
FIGURE I - 8 : COURBE CONTRAINTE-DEFORMATION DES BIELLES [10]	14
FIGURE II - 1 : SUPER-PLASTIFIANT UTILISE – KAISER BOOST 190	18
FIGURE II - 2 : GRILLE METALLIQUE UTILISEE	19
FIGURE II - 3 : GRILLE METALLIQUE CONFECTIONNEES EN FORME CYLINDRIQUE	20
FIGURE II - 4 : FORME, DIAMETRE ET POSITION DES GRILLES A L'INTERIEUR DES EPROUVETTES	21
FIGURE II - 5 : MOULE / SPECIMEN, GRILLE ET EPROUVETTES	21
FIGURE II - 6 : ETAPES DE REMPLISSAGES DU BETON ET ARASEMENT DES EPROUVETTES.	22
FIGURE II - 7: CONSERVATION	24
FIGURE II - 8 : MACHINE D'ESSAIS – PRESSE HYDRAULIQUE SEIDNER 2000 & 200	25
FIGURE II - 9 : MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE – ETAPES DE L'ESSAI	28
FIGURE II - 10 : MASSE VOLUMIQUE APPARENTE – ETAPES DE L'ESSAI	30
FIGURE II - 11 : RECIPIENT DE PESEE	30
FIGURE II - 12 : EQUIVALENT DE SABLE	32
FIGURE II - 13 : EQUIVALANT DU SABLE – MATERIEL ET ETAPES DU TEST	32
FIGURE II - 14 : ESSAI D'ANALYSE GRANULOMETRIQUE	35
FIGURE II - 15 : ABAQUE - ESTIMATION DE LA QUANTITE DE CIMENT	41
FIGURE II - 16 : COURBE GRANULOMETRIQUE GLOBALE	43
FIGURE III - 1 : EPROUVETTE BETON TEMOIN AVANT ESSAI	51
FIGURE III - 2 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION – BETON TEMOIN	51
FIGURE III - 3 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCA-08	52
FIGURE III - 4 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCA-12	52
FIGURE III - 5 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BETON TEMOIN	52
FIGURE III - 6 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCA-16	52
FIGURE III - 7 : COMPARAISON DES BETONS CONFINES TYPE A AVEC LE BETON TEMOIN	53
FIGURE III - 8 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCB-12	54
FIGURE III - 9 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCB-08	54
FIGURE III - 10 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCB-16	54
FIGURE III - 11 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BETON TEMOIN	54
FIGURE III - 12 : COMPARAISON DES BETONS CONFINES TYPE B AVEC LE BETON TEMOIN	55

FIGURE III - 13 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCC-08	56
FIGURE III - 14 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCC-12	56
FIGURE III - 15 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCC-16	56
FIGURE III - 16 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION – BETON TEMOIN	56
FIGURE III - 17 : COMPARAISON DES BETONS CONFINES TYPE C AVEC LE BETON TEMOIN	57
FIGURE III - 18 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCD-08	58
FIGURE III - 19 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCD-12	58
FIGURE III - 20 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION – BETON TEMOIN	58
FIGURE III - 21 : COURBE CONTRAINTE – DEFORMATION BGCC-16	58
FIGURE III - 22 : COMPARAISON DES BETONS CONFINES TYPE C AVEC LE BETON TEMOIN	59
FIGURE III - 23 : INFLUENCE DE LA DIMENSION DE LA MAILLE Ø 8 SUR LA RESISTANCE	60
FIGURE III - 24 : INFLUENCE DE LA DIMENSION DE LA MAILLE Ø 12 SUR LA RESISTANCE	60
FIGURE III - 25 : INFLUENCE DE LA DIMENSION DE LA MAILLE Ø 16 SUR LA RESISTANCE	61
FIGURE III - 26 : INFLUENCE DE LA DIMENSION DE LA MAILLE SUR LA RESISTANCE DU BETON	61
FIGURE III - 27 : INFLUENCE DE LA POSITION DE CONFINEMENT – TYPE A	62
FIGURE III - 28 : INFLUENCE DE LA POSITION DE CONFINEMENT – TYPE B	63
FIGURE III - 29 : INFLUENCE DE LA POSITION DE CONFINEMENT – TYPE C	63
FIGURE III - 30 : INFLUENCE DE LA POSITION DE CONFINEMENT – TYPE D	64
FIGURE III - 31 : INFLUENCE DE LA POSITION DU CONFINEMENT	65
FIGURE III - 32 : COMPARAISON DES BETONS CONFINES ET NON CONFINES (BETON TEMOIN)	66

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU I- 1 : LES TROIS DIAMETRES DU CONFINEMENT PREVUS.	2
TABLEAU I- 2 : TYPES / VIDES DE MAILLES DIAMETRE DE FILS UTILISES.	3
TABLEAU I- 3 : NOMBRE / REFERENCES DES EPROUVETTES PREVUS.	4
TABLEAU II - 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET PROPRIETES PHYSIQUES DU CIMENT	17
TABLEAU II - 2 : QUANTITE DE GRILLE METALLIQUE POUR CHAQUE TYPE DE MAILLE.	19
TABLEAU II - 3 : CLASSES D’AFFAISSEMENT MESUREES AU CONE D’ABRAMS.	21
TABLEAU II - 4 : TOLERANCES RELATIVES AUX VALEURS CIBLES DE CONSISTANCE ESSAI D’AFFAISSEMENT [15]	22
TABLEAU II - 5 : VALEURS APPROXIMATIVES DU COEFFICIENT GRANULAIRE G	27
TABLEAU II - 6 : MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE DU GRAVIER 3/8	29
TABLEAU II - 7 : MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE DU GRAVIER 8/15	29
TABLEAU II - 8 : MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DU SABLE	31
TABLEAU II - 9 : MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DU GRAVIER 3/8	31
TABLEAU II - 10 : MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DU GRAVIER 8/15	31
TABLEAU II - 11 : EQUIVALENT DU SABLE - RESULTATS OBTENUS	33
TABLEAU II - 12 : EQUIVALENT DE SABLE – PROPRETE, NATURE ET QUALITE DU SABLE.	33
TABLEAU II - 13 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE 0/3	37
TABLEAU II - 14 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAVIER 3/8	38
TABLEAU II - 15 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GRAVIER 8/15	39
TABLEAU II - 16 : DETERMINATION DU TERME CORRECTEUR K	42
TABLEAU II - 17 : COEFFICIENT DE COMPACITE (Γ) EN FONCTION DE D	44
TABLEAU II - 18 : COMPOSITION DE BETON POUR 1 M3	46
TABLEAU II - 19 : COMPOSITION DE BETON POUR 01 EPROUVETTE CYLINDRIQUE 16X32CM	48
TABLEAU II - 20 : COMPOSITION DE BETON POUR 03 EPROUVETTES CYLINDRIQUES 16X32CM	48
TABLEAU II - 21 : COMPOSITION DE BETON POUR 03 EPROUVETTES AVEC MAJORATION DE +15%	49
TABLEAU III - 1 : RESULTATS DES ESSAIS SUR LE BETON TEMOIN	51
TABLEAU III - 2 : RESULTATS DES ESSAIS SUR LE BETON CONFINE – TYPE A	52
TABLEAU III - 3 : RESULTATS DES ESSAIS SUR LE BETON CONFINE – TYPE B	54
TABLEAU III - 4 : RESULTATS DES ESSAIS SUR LE BETON CONFINE – TYPE C	56
TABLEAU III - 5 : RESULTATS DES ESSAIS SUR LE BETON CONFINE – TYPE D	58
TABLEAU III - 6 : INFLUENCE DIM. MAILLE – RESISTANCE \emptyset 8	60
TABLEAU III - 7 : INFLUENCE DIM. MAILLE – RESISTANCE \emptyset 12	60
TABLEAU III - 8 : INFLUENCE DIM. MAILLE – RESISTANCE \emptyset 16	61
TABLEAU III - 9 : INFLUENCE POSITION DE CONFINEMENT – TYPE A	62
TABLEAU III - 10 : INFLUENCE POSITION DE CONFINEMENT – TYPE B	63
TABLEAU III - 11 : INFLUENCE POSITION DE CONFINEMENT – TYPE C	63
TABLEAU III - 12 : INFLUENCE POSITION DE CONFINEMENT – TYPE D	64
TABLEAU III - 13 : CONFINEMENT AVEC GRILLE DE TYPE C (MAILLE DE 2.5CM)	68
TABLEAU III - 14 : CONFINEMENT AVEC GRILLE DE TYPE B (MAILLE DE 1.5CM)	69
TABLEAU III - 15 : CONFINEMENT AVEC GRILLE DE TYPE C (MAILLE DE 2.5CM)	70
TABLEAU III - 16 : CONFINEMENT AVEC GRILLE DE TYPE D (MAILLE DE 1.5CM)	71
TABLEAU III - 17 : RESUME COMPARATIF DES MODES DE RUPTURE	71

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale :

Le béton est l'un des matériaux les plus utilisés dans le domaine de la construction, notamment pour sa bonne résistance à la compression, sa durabilité et son coût relativement faible. Toutefois, il reste un matériau fragile, particulièrement sensible aux charges de traction et aux sollicitations extrêmes. Cette fragilité peut entraîner une rupture prématurée, surtout en présence de défauts ou de concentrations de contraintes.

Pour pallier ces limitations, plusieurs techniques de renforcement et de confinement du béton ont été développées, notamment l'utilisation des armatures transversales en acier, de matériaux composites FRP (Polymère Renforcé en Fibres) ou encore de grilles métalliques.

Le confinement du béton à l'aide de grilles métalliques permet de limiter son expansion latérale sous l'effet de la compression, ce qui se traduit par une augmentation de la contrainte maximale supportée, une amélioration de la résistance à la fissuration, ainsi qu'un comportement plus stable jusqu'à la rupture."

Problématique :

Le comportement du béton sous chargement est fortement influencé par les conditions de confinement auxquelles il est soumis.

De nombreuses études ont démontré que le confinement latéral améliore considérablement la résistance à la compression et la ductilité du béton. Toutefois, la majorité des recherches se concentrent sur des techniques de confinement utilisant des matériaux composites (comme les fibres de carbone ou de verre) ou des armatures traditionnelles.

Mais peu de travaux ont exploré de manière approfondie le potentiel des grilles métalliques à mailles carrées comme technique de confinement, notamment en ce qui concerne leur efficacité, leur comportement mécanique sous chargement, et leur application pratique dans les ouvrages courants.

La question qui se pose pour cette étude est donc la suivante :

« Dans quelle mesure le confinement du béton par des grilles métalliques à mailles carrées peut-il améliorer ses propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression et la ductilité ? »

Ce mémoire est structuré en trois chapitres principaux :




- **Chapitre I : Béton et Techniques du Confinement** qui présente une présentation sur les bétons et les techniques du confinement des éléments structuraux en béton.
- **Chapitre II : Présentation & caractéristiques des matériaux utilisés** qui est consacré à la caractérisation des matériaux utilisés et la méthode de formulation / composition du béton.
- **Chapitre III : Présentation & Interprétation des résultats** qui est destiné à l'analyse et la discussion de différents résultats obtenus.

Objectif de l'étude :

Ce travail de recherche s'inscrit dans une démarche d'amélioration des performances mécaniques du béton, à travers une étude expérimentale visant à analyser son comportement en compression lorsqu'il est soumis à un confinement par grilles métalliques, et ce, de la manière suivante ;

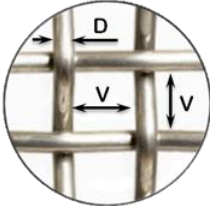
- a) Types de Confinements : Trois différents types de confinement prévus ;
- Un Confinement Intérieur avec un diamètre de confinement de 8 cm,
 - Un Confinement Intérieur avec un diamètre de confinement de 12 cm,
 - Un Confinement Extérieur avec un diamètre de confinement de 16 cm,

Tableau I- 1 : Les trois diamètres du confinement prévus.

Confinement Intérieure (08cm)	Confinement Intérieure (12 cm)	Confinement Extérieure (16 cm)
		

- b) Type de Grille : Grille avec fils ondulés à maille Carrée,
- c) 04 différents types / vides de mailles (V), à différents diamètres de fil (D), savoir ;

Tableau I- 2 : Types / vides de mailles diamètre de fils utilisés.

Type de maille	Vide de maille (V)	Diamètre de fil (D)	Schéma
Maille de type - A -	04 cm	03 mm	
Maille de type - B -	03 cm	03 mm	
Maille de type - C -	2,5 cm	02 mm	
Maille de type - D -	1,5 cm	02 mm	

- d) Le protocole expérimental prévoit au total, Trente-neuf (**39**) éprouvettes cylindriques de dimensions (16x32) cm,

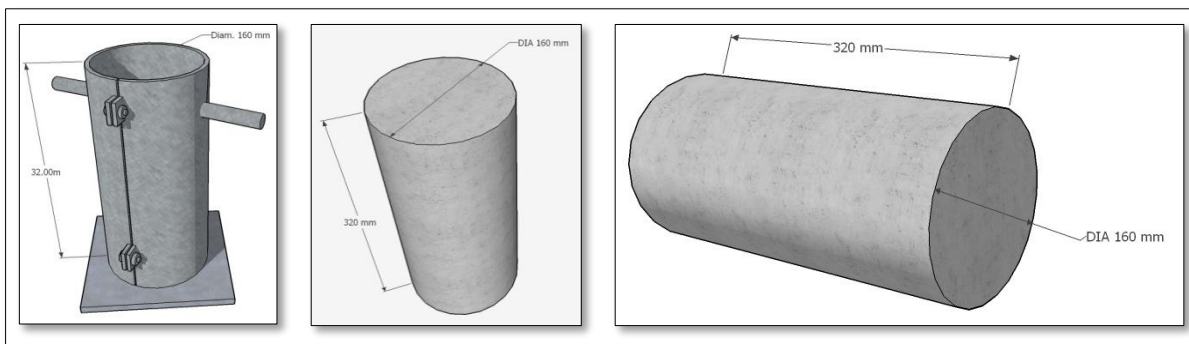


Figure I - 1 : Epreuve cylindrique 32x16cm

Pour chaque type de maille (V), un ensemble de neufs (09) éprouvettes, dont trois (03) pour chacun des trois différents types de confinement appliqués. À cela s'ajoutent 3 éprouvettes de béton témoin, non confinées, utilisées comme référence.

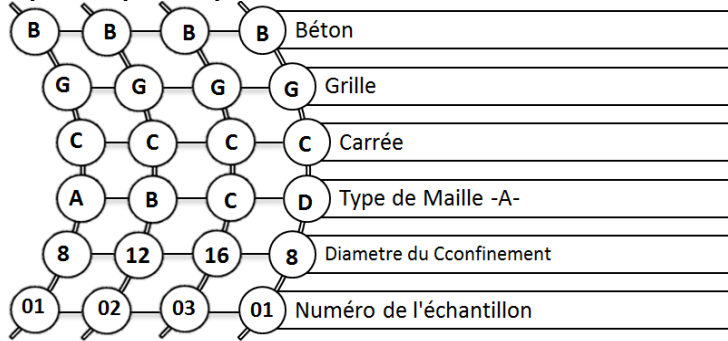
Et ci-dessous, le tableau récapitulatif de toutes les éprouvettes confectionnées ainsi que leurs références et les détails qui vont avec ;

Tableau I- 3 : Nombre / Références des éprouvettes prévus.

Item	Ref. Eprouvette	Types de confinement	Date de coulage	Vide de maille (cm)	Type de Maille	
1	BT-01	-	23/03/2025	-	-	
2	BT-02					
3	BT-03					
4	BGCA-8 - 01	Intérieur (8cm)	24/03/2025	4	Maille de type - A -	
5	BGCA-8 - 02					
6	BGCA-8 - 03					
7	BGCA-12 - 01	Intérieur (12cm)	06/04/2025	4		
8	BGCA-12 - 02					
9	BGCA-12 - 03					
10	BGCA-16 - 01	Extérieur (16cm)	06/04/2025	4		
11	BGCA-16 - 02					
12	BGCA-16 - 03					
13	BGCB-08 - 01	Intérieur (8cm)	07/04/2025	3		Maille de type - B -
14	BGCB-08 - 02					
15	BGCB-08 - 03					
16	BGCB-12 - 01	Intérieur (12cm)	08/04/2025	3		
17	BGCB-12 - 02					
18	BGCB-12 - 03					
19	BGCB-16 - 01	Extérieur (16cm)	09/04/2025	3		
20	BGCB-16 - 02					
21	BGCB-16 - 03					
22	BGCC-08 - 01	Intérieur (8cm)	09/04/2025	2.5	Maille de type - C -	
23	BGCC-08 - 02					
24	BGCC-08 - 03					
25	BGCC-12 - 01	Intérieur (12cm)	13/04/2025	2.5		
26	BGCC-12 - 02					
27	BGCC-12 - 03					
28	BGCC-16 - 01	Extérieur (16cm)	14/04/2025	2.2		
29	BGCC-16 - 02					
30	BGCC-16 - 03					
31	BGCD-08 - 01	Intérieur (8cm)	16/04/2025	1.5		Maille de type - D -
32	BGCD-08 - 02					
33	BGCD-08 - 03					
34	BGCD-12 - 01	Intérieur (12cm)	16/04/2025	1.5		
35	BGCD-12 - 02					
36	BGCD-12 - 03					
37	BGCD-16 - 01	Extérieur (16cm)	16/04/2025	1.5		
38	BGCD-16 - 02					
39	BGCD-16 - 03					

Avec :

- **BT** : Béton Témoin
- **BGC-SP** : Béton Grille avec maille Carrée Confectionnée avec du Sable Propre
- **BGCA / BGCB / BGCC / BGCD**



Les essais réalisés ont exclusivement porté sur la compression, dans le but de déterminer l'influence des paramètres géométriques du confinement sur les caractéristiques mécaniques du béton.

L'objectif final est d'identifier les configurations optimales permettant d'améliorer les performances du béton confiné et de contribuer au développement de solutions pratiques pour renforcer les éléments structurels en béton dans le secteur du bâtiment et des travaux publics.

CHAPITRE – I

BÉTON ET TECHNIQUES DU CONFINEMENT

I.1 Le Béton :

I.1.1 Historique :

De nos jours, le béton fait partie de notre cadre de vie, il est devenu irremplaçable dans le domaine de la construction, pour des raisons économiques et techniques. Simple en apparence mais il est en réalité très complexe, avec une diversité d'applications et de méthodes de formulations. C'est le matériau le plus utilisé au monde : environ 7 milliards de mètres cubes de béton sont mis en œuvre annuellement. La qualité et le potentiel du matériau béton dans la structure dépend bien sûr, des matériaux de base qui entrent dans la formulation mais également des opérations de : malaxage, mise en œuvre, vibration et cure (protection contre la dessiccation). Il s'agit de déterminer la meilleure qualité du béton qu'on puisse obtenir [1].

Utilisé depuis des dizaines d'années avant J-C, le béton se distingue par sa forte résistance à la compression et sa faible résistance à la traction. Bien que des matériaux similaires aient été employés par les Égyptiens et les Romains, mais son développement moderne remonte à l'Écossais Joseph Aspdin, qui breveta le ciment Portland en 1824 [2].

L'invention du béton armé est généralement attribuée à Joseph-Louis Lambot en 1848 qui a construit une barque en "ciment armé" qui est généralement considérée comme l'une des premières applications du béton armé. Joseph Monier quant à lui, il réalise des bacs à fleurs en utilisant le même principe que Lambot. Il déposera par la suite des brevets sur des systèmes de construction en béton armé, notamment en 1867 pour des bacs à fleurs et des réservoirs [3].

Le Français Eugène Freyssinet en 1928, met au point le béton précontraint utilisant des fils adhérents, directement en contact avec le béton et les transferts de charge se font par adhérence, par la suite, la mise en place des fils non adhérents enveloppés dans un conduit et ne sont pas en contact direct avec le béton ou la transmission des efforts se fait par glissement. La précontrainte non adhérente permet d'éviter les problèmes liés à la corrosion des câbles et à la transmission des contraintes par adhérence [4].

Dans les années 1980, les États-Unis et le Japon développent les premiers bétons à très haute performance, capables d'atteindre 100 MPa en compression. Peu après, en 1989, des chercheurs japonais de l'université de Tokyo révolutionnent le domaine avec l'invention du béton auto-plaçant, qui ne nécessite plus de vibration pour sa mise en œuvre [5].

I.1.2 Pathologies du béton et processus de dégradation :

Le béton armé peut se dégrader et perdre une part de ses propriétés sous l'influence de causes multiples qui peuvent être liées à sa qualité originelle ou à des sollicitations d'exploitation ou d'environnement. Des pathologies apparentes ou cachées peuvent survenir. Afin de connaître leur nature, leur étendue et leur potentialité d'évolution, on établit un diagnostic nécessaire pour la prise des décisions relatives à la maintenance de l'ouvrage concerné.

I.1.2.1 Pathologies d'origine chimique :

a) Attaque des chlorures et Carbonatation- corrosion des aciers :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel des matériaux. Elle conduit à la formation du carbonate de calcium par réaction chimique entre la portlandite (Ca(OH)_2) CO_2 présent dans l'air. La portlandite aussi appelé *hydroxyde de calcium*. Elle se forme lors de l'hydratation du ciment Portland, Lorsque la carbonatation consomme la portlandite, le pH du béton baisse passant d'un niveau élevé entre 12 et 13 à environ 9 ou 8, ce qui met fin à la protection des armatures et déclenche une dépassivation de l'acier (le processus de dégradation de la couche passive protectrice de l'armature maintenu par le pH très alcalin du béton quand il est entre 12 et 13). La destruction de la couche de passivation induit alors une réaction d'oxydation à la surface des armatures.

Cette carbonatation pourrait aussi conduire à la rouille qui est une matière expansive qui peut causer l'éclatement du béton (Figure I-1).

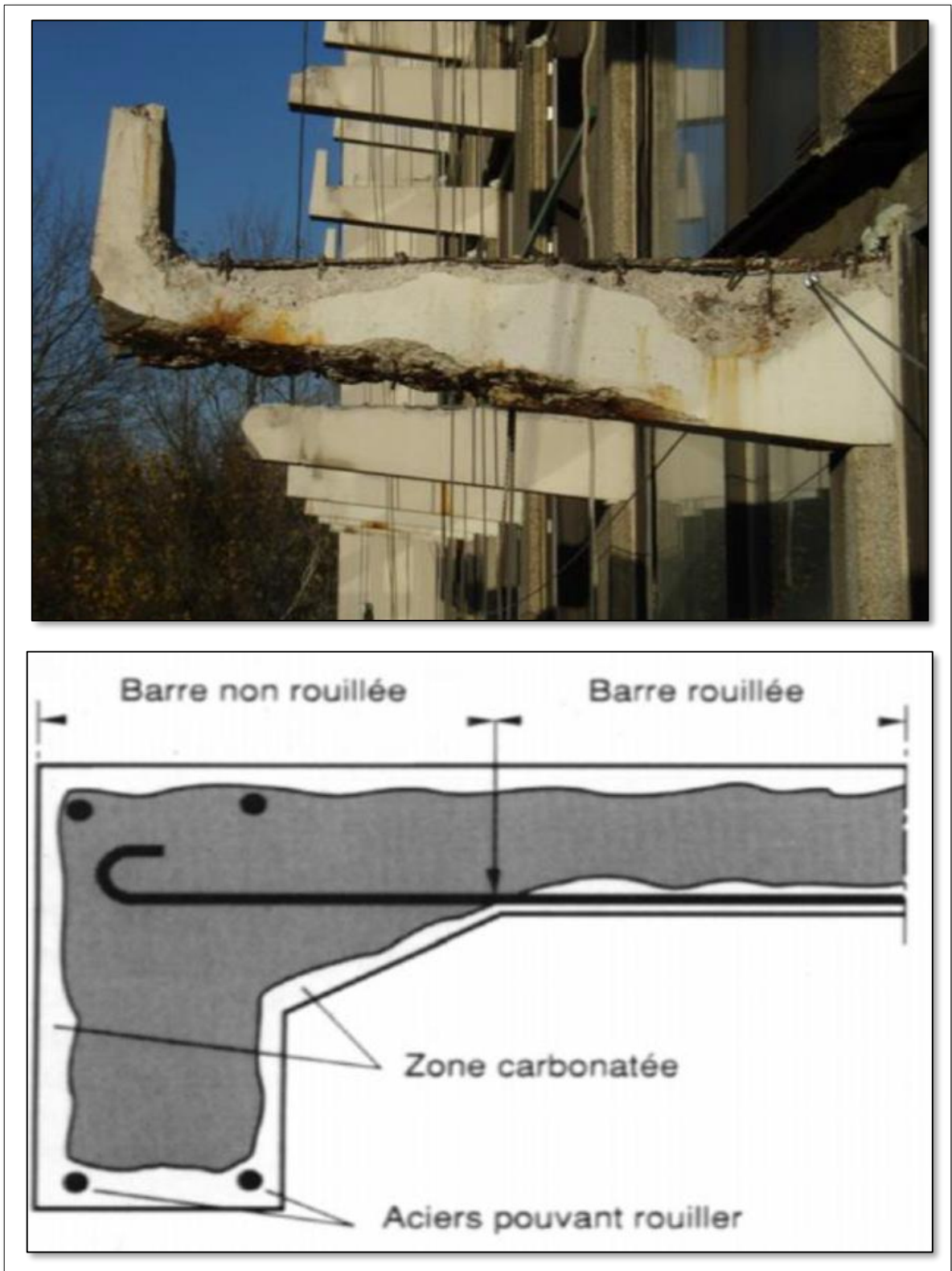


Figure I - 2 : Carbonatation du béton

Plusieurs agressions chimiques peuvent provoquer la corrosion des armatures, et la corrosion peut être définie par un processus naturel par lequel un métal est transformé en une forme chimiquement instable, se traduisant par des signes/caractéristiques visibles comme l'apparition d'oxydes brun-rouille, formation de plaques métalliques écaillées et surface piquée ou irrégulière. Ces dommages sont généralement faciles à identifier.

La corrosion des armatures provient principalement de deux phénomènes : la carbonatation et l'attaque par les chlorures. Ces derniers, principalement issus de l'eau de mer ou de gâchage, pénètrent le béton selon un processus similaire à la carbonatation, conduisant à la dégradation des aciers.

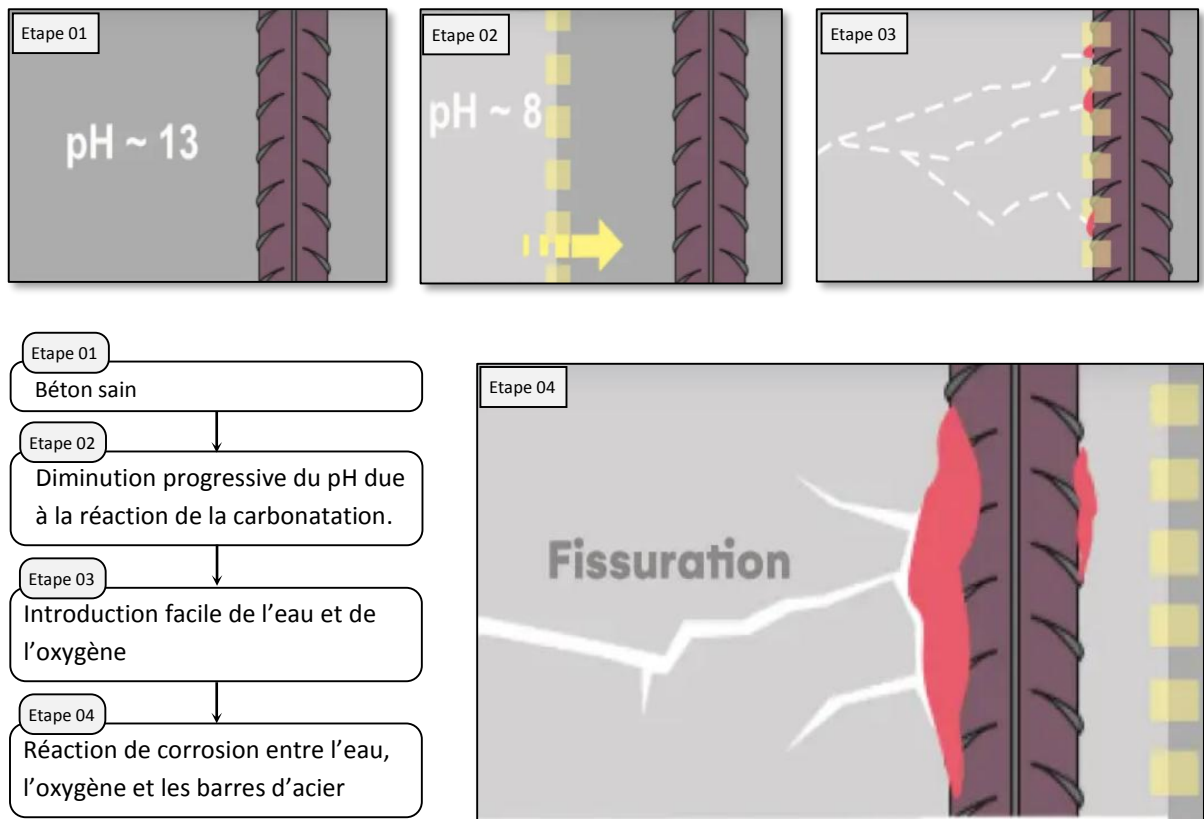


Figure I - 3 : Corrosion des barres d'acier / armatures



Figure I - 4 : Impact de la corrosion des armatures sur la durabilité du béton

I.1.2.2 Pathologies d'origine mécanique :

a) Chocs :

Les pathologies du béton d'origine mécanique sont causées par les charges et contraintes physiques que le matériau supporte au fil du temps. Une conception inadéquate ou des conditions d'exploitation extrêmes peuvent provoquer des fissures, des déformations, et d'autres désordres structurels. L'étude et le traitement de ces pathologies du béton sont essentiels pour assurer la stabilité et la sécurité des ouvrages

b) Défauts de conception :

Les pathologies d'origine mécanique dues à des défauts de conception se manifestent par des désordres liés à la structure, tels que des fissures, des déformations ou des affaissements, résultant d'erreurs dans le calcul des charges, l'utilisation de matériaux non adaptés ou une mauvaise disposition des armatures

c) Tassement différentiel :

Le tassement différentiel est par définition un mouvement d'enfoncement du sol non uniforme sous l'action d'une charge. Ce phénomène peut provoquer de graves désordres dans la structure des constructions se traduisant par l'apparition de fissures pouvant atteindre plusieurs mètres.



Figure I - 5 : Tassement différentiel

I.1.2.3 Pathologies d'origine physique :

a) Séisme :

Les séismes sont principalement causés par le mouvement des plaques tectoniques et la rupture des roches en profondeur. Ce sont ces mouvements et ces ruptures qui libèrent de l'énergie et génèrent les ondes sismiques qui secouent le sol.

Un séisme se manifeste par une vibration du sol qui peut être brève et non ou à peine perceptible, ou au contraire longue et très violente.

Dans un environnement où les bâtiments et infrastructures ne sont pas construits de manière adéquate et où la population n'est pas préparée, un séisme même de magnitude modérée peut être dévastateur.

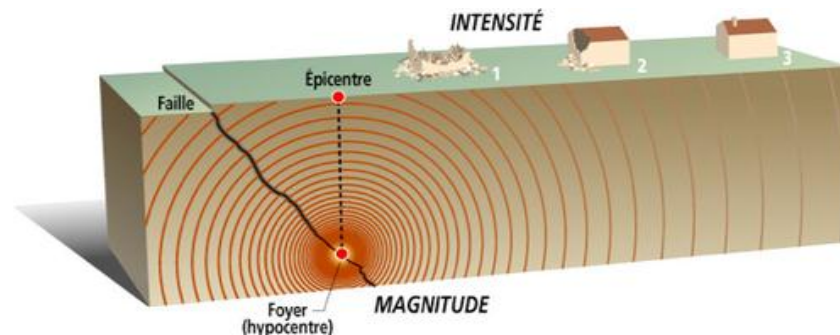


Figure I - 6 : Séisme

b) Gel-dégel :

Le cycle de gel-dégel est une cause majeure de dommages aux matériaux de construction tels que le béton et les briques. Les dommages causés par le gel-dégel se produisent lorsque l'eau remplit les vides d'un matériau rigide et poreux, puis gèle à des températures inférieures à 0°C, le béton augmente de volume et la pression résultante éclatera la surface du béton.

L'eau infiltrée dans le béton augmente de 9 % en volume lors du gel. Cette augmentation de volume engendre des contraintes internes créant ainsi des fissurations [6]. La succession des cycles gel et dégel élargit peu à peu ces microfissures qui amèneront la destruction en surface du béton.

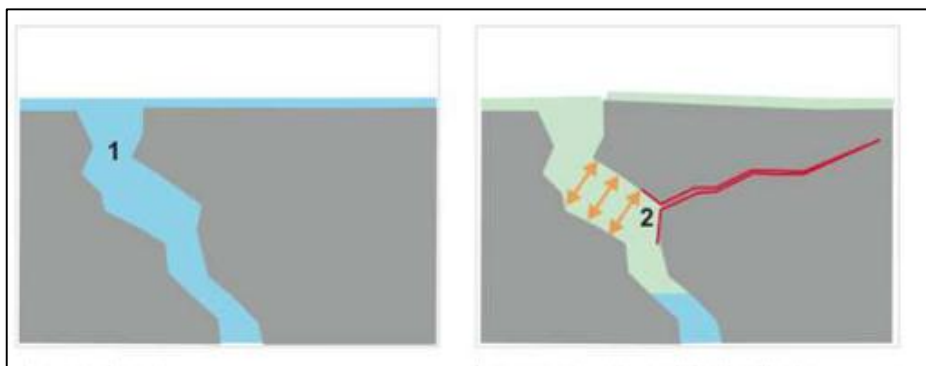


Figure I - 7 : Pathologies du béton dues au Gel-dégel

c) Retrait :

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui existe de façon systématique au sein du béton. Il correspond à l'action du départ de l'eau excédentaire du béton vers l'extérieur de l'élément de structure. Le symptôme caractéristique de l'action du retrait sur un ouvrage est la fissuration qui peut être soit orientée, soit multidirectionnelle [7].

Les différents types de fissures de retrait peuvent être classés, suivant leur ordre chronologique d'apparition, en trois types [8]

I.2 Techniques du Confinement du Béton :

Le béton, malgré sa robustesse apparente, est un matériau composite dont le comportement dépend fortement des conditions dans lesquelles il est mis en œuvre. Lorsqu'il est frais, il est malléable, mais sensible à la gravité, aux vibrations, et aux pertes de laitance. Lorsqu'il durcit, il devient rigide, mais vulnérable à la fissuration et à certaines déformations. Pour maîtriser ces phénomènes et garantir la qualité finale de l'ouvrage, les techniques de confinement s'avèrent indispensables.

Le Confinement ne signifie pas seulement « contenir le béton » dans un coffrage. Il s'agit plutôt d'un ensemble de procédés visant à contrôler sa forme, sa densité, et ses contraintes internes, que ce soit lors de la mise en œuvre ou dans sa phase de service.

Par « confinement du béton », on désigne l'ensemble des méthodes et dispositifs mis en place pour maintenir le béton dans un volume défini, afin de maîtriser sa forme, éviter les pertes, garantir sa compacité, et parfois améliorer ses performances mécaniques.

En contexte neuf comme en réhabilitation, le confinement permet non seulement de réduire la fissuration, mais aussi d'augmenter la résistance à la compression, de retarder la ruine des éléments porteurs, et d'améliorer la résilience structurelle.

Dans le cadre de cette étude, l'attention sera portée sur une technique spécifique de confinement, à savoir, l'utilisation de grilles métalliques à différentes dimensions des vides de mailles carrées.

Ce procédé consiste à envelopper les éléments en béton à l'aide d'armatures métalliques disposées de manière régulière autour de la section à confiner. Les grilles agissent comme une enveloppe rigide qui limite l'expansion latérale du béton sous chargement, générant ainsi un état de contrainte triaxiale favorable, connu pour améliorer la résistance à la compression, la ductilité, et la capacité d'absorption d'énergie du matériau.

I.3 Travaux des Auteurs :

- a) **Fardis et Khalili (1981)** [9]; ont réalisé des essais de compression sur des cylindres de béton de 76×150 mm et de 76×150 mm. Quatre types différents de FRP ont été employés. Les chercheurs ont constaté que la rupture s'est produite quand la contrainte latérale du béton sous l'action combinée de la charge axiale et de la pression de confinement a atteint la contrainte de rupture du FRP. Ils ont également conclu, que l'enveloppe en FRP augmente non seulement la résistance de béton, mais augmente également la ductilité.
- b) **F. Taouche-Kheloui, K. Ait tahar et N.E.Hannachi (2012)** [10]

Des bielles de béton confiné conçues à partir de grille métallique en forme de losange au nombre de six ont été réalisées en vue de connaître l'apport du confinement de ce béton dans le comportement au chargement choisi. L'essai de compression réalisé sur les bielles de diamètre 6mm et de hauteur 20mm nous a permis de caractériser la résistance en compression, la Figure I-10 représente la courbe contrainte déformation de ces bielles.

Comparativement à la bielle de béton non confinée, la bielle confinée de grille métallique présente un gain en résistance de l'ordre de 50% ainsi qu'une déformation plus étendue avant rupture, donc un effet de ductilité plus important ce qui représente un apport fort significatif et représentatif.

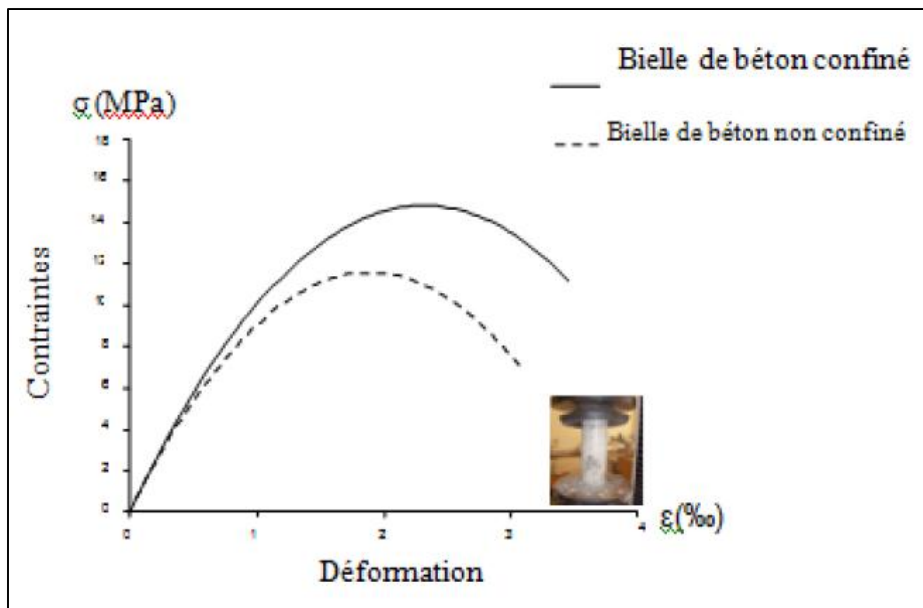


Figure I - 8 : Courbe contrainte-déformation des bielles [10]

c) Xiao et Wu (2001) [11]

Ils ont mené une étude de réhabilitation de trois spécimens de dimensions $\varnothing 610$ mm x 240 mm enveloppées avec des coques en composite préfabriqué GFRP.

Les coques sont placées sur la circonférence des colonnes en séquences, puis collées ensemble formant ainsi une enveloppe continue. Les spécimens sont soumis à un chargement horizontal et à une force de compression. Ils ont noté une amélioration de la capacité portante de la colonne réhabilitée qui a atteint celle de la section de référence.

d) Saafi et autres [12]

Ils ont conduit des études expérimentales pour évaluer les performances des colonnes de béton confinées avec des tubes de CFRP et de GFRP. Les variables d'essai ont inclus le type de fibres, l'épaisseur du tube et la résistance à la compression du béton.

Ils ont constaté que les colonnes renforcées par les tissus en fibres de carbone ou en fibres de verre montrent un accroissement de la résistance et la ductilité comparées à celles des spécimens non confinés. Le taux d'accroissement dépend de l'épaisseur du tube, des propriétés mécaniques du tube composite et de la résistance du béton témoin.

I.4 Conclusion :

Au terme de ce premier chapitre, il ressort que le béton, bien qu'étant un matériau largement utilisé dans la construction en raison de ses excellentes propriétés à la compression, présente certaines limites, notamment en termes de ductilité et de résistance à la traction. Le confinement se présente alors comme une stratégie efficace pour pallier ces insuffisances, en particulier dans les zones sismiques ou les ouvrages soumis à des charges extrêmes.

Les différentes techniques de confinement — qu'elles soient passives ou actives, internes ou externes — ont démontré leur capacité à améliorer significativement le comportement mécanique du béton. Parmi ces méthodes, l'utilisation de grilles métalliques à mailles carrées apparaît comme une solution à la fois économique, accessible et prometteuse, bien que peu étudiée jusqu'à présent.

Dans cette perspective, l'étape suivante de notre travail consiste à détailler les matériaux utilisés dans le cadre de cette étude expérimentale. Cela comprend non seulement le béton en lui-même, mais aussi les grilles métalliques de confinement, leurs caractéristiques géométriques et mécaniques, ainsi que les éventuels adjuvants et éléments complémentaires utilisés pour la mise en œuvre des éprouvettes.

CHAPITRE – II

PRÉSENTATION

&

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS

II.1 Introduction :

Ce chapitre est consacré à la présentation détaillée des matériaux qui ont été utilisés pour la réalisation des essais expérimentaux. La qualité, la nature et les propriétés mécaniques de ces matériaux influencent directement les résultats de l'étude et doivent donc être rigoureusement définies.

Dans un premier temps, nous présenterons les constituants du béton (ciment, granulats, eau, adjuvants), en mettant l'accent sur leurs rôles respectifs et leurs caractéristiques physiques afin d'établir la composition / Formulation du béton adéquate. Ensuite, une attention particulière sera portée sur les grilles métalliques à mailles carrées, utilisées comme dispositif de confinement. Leurs dimensions, ainsi que leur disposition seront décrites avec précision.

Enfin, nous aborderons brièvement les méthodes de confection des éprouvettes, les conditions de conservation et les précautions prises pour garantir la fiabilité des essais. Cette description permettra de mieux comprendre les résultats présentés dans les chapitres suivants.

II.2 Matériaux utilisés :

II.2.1 Constituants du béton :

II.2.1.1 Ciment :

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une poudre fine qui, mélangée à de l'eau, forme une pâte capable de durcir progressivement et de conserver sa résistance même sous l'eau. Il joue un rôle fondamental dans la fabrication du béton, car il permet d'agglomérer les granulats (sable et gravier) pour former un matériau compact et résistant.

Le type de ciment le plus couramment utilisé dans la construction est le ciment Portland, composé principalement de clinker (produit obtenu par la cuisson de calcaire et d'argile) et de petites quantités de gypse pour réguler la prise

Le ciment utilisé est : LAFARGE – Matine Ciment Portland au calcaire NA442 CEM II/B-L-42,5N.

Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des ouvrages d'Art, Infrastructures et superstructures pour bâtiments.

Quelques Caractéristiques techniques et propriétés physiques :

Tableau II - 1 : Caractéristiques techniques et propriétés physiques du Ciment

Paramètre	Valeur
▪ Résistance à la compression à 02 jours	> 10 MPa,
▪ Résistance à la compression à 28 jours	> 42,5 MPa
▪ Perte au feu	10%±2
▪ Expansion	≤ 3 mm
▪ Début de prise	150 min ±30
▪ Fin de prise	230 min ±50

II.2.1.2 Les Granulats :

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm. Les granulats peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage, Ces matériaux sont quelquefois encore appelées «agrégats».

Ils constituent l'ossature du béton et occupent 70 à 80% environ du volume d'un béton.

Les principales divisions granulométriques des granulats données par la norme NA452 sont les suivantes ;

Les granulats « entrants » dans la composition du béton sont constitués par des fractions silico-calcaires granulaire 3/8 & 8/15, et du sable (disponibles au niveau de laboratoire Béton de l'UMMTO).

II.2.1.3 Eau de gâchage :

De façon générale, l'eau de gâchage doit être propre (exp : eau potable). Il est déconseillé d'utiliser l'eau de mer qui contient environ 30 g/l de chlorure de sodium, Les sels sont considérés comme des agents qui provoqueraient les dégradations du béton, Un excès d'impuretés peut influencer non seulement sur le temps de prise, la résistance du béton, mais peut aussi faire apparaître des taches, corroder les armatures et réduire la durabilité [13].

Donc, On rejette en particulier [14]:

- les eaux séléniteuses (contenant du gypse soit avec des roches gypseuses, soit par contact avec des plâtres de démolition) dont l'action est particulièrement corrosive.

- Les eaux sulfatées, les eaux acides, les eaux courantes contenant de l'acide carbonique, les eaux contenant du gaz carbonique sont des eaux qui détruisent les ciments.
- les eaux pures, les eaux pluviales, désagrégant ou décomposant les ciments plus rapidement que ceux qui contiennent d'avantage de chaux.

II.2.1.4 Adjuvant :

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faibles quantités inférieur à 5% de quantité de ciment, afin d'améliorer certaines propriétés. Les principaux adjuvants sont [15] [13]:

- Les plastifiants et les super-plastifiants,
- Les retardateurs de prise,
- Les accélérateurs de prise ou de durcissement,
- Les entraîneurs d'air.

Dans notre cas, l'adjuvant utilisé est un Super-Plastifiant KAISER BOOST 190 de la marque DONKER, qui est un super-plastifiant réducteur d'eau et permet aussi de diminuer considérablement la teneur en eau du béton. Le Super-Plastifiant KAISER BOOST 190 est ajouté après l'introduction de la totalité du gâchage.

Contrairement à d'autres Super-Plastifiants qui sont au maximum limités à 5% du poids du ciment, le KAISER BOOST 190 exige un dosage de 0,6 à 2,5% du poids du ciment, soit 0,5l à 2l pour 100 Kg du ciment.



Figure II - 1 : Super-Plastifiant utilisé – Kaiser Boost 190

II.2.1.5 Grille métallique :

04 différents types et vides de mailles, à différents diamètre de fil ont été utilisés, à savoir ;

- Maille carrée 04cm avec diamètre de fil de 03mm,
- Maille carrée 03cm avec diamètre de fil de 03mm,
- Maille carrée 2,5cm avec diamètre de fil de 02mm,
- Maille carrée 1,5cm avec diamètre de fil de 02mm,

Avec :

- V : Vide de maille,
- D : Diamètre de fil.

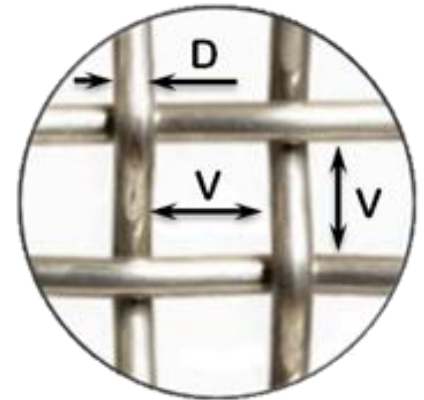


Figure II - 2 : Grille métallique utilisée

II.3 Préparation des Grilles et éprouvettes :

II.3.1 Préparation & Dimensions :

II.3.1.1 Préparation de la Grille Métallique :

En fonction de la valeur de l'enrobage choisie (03 cm), on prépare la grille précédemment découpée suivant une forme rectangulaire en respectant les dimensions adéquates pour chaque élément/Diamètre de confinement (Tableau II-2) [16].

Tableau II - 2 : Quantité de Grille métallique pour chaque type de Maille.

Qté Grille pour chaque type de maille (Dim. En cm)							
Item	Element	Enrobage	Périmètre	Nbr. Piece (Eprouvettes)	Aire	Périmètre Total	Aire Total
2	Ø 08	3	28.13	3	787.58	84.38	2362.75
4	Ø 12	3	40.68	3	1139.04	122.04	3417.12
6	Ø 16	3	53.24	3	1490.72	159.72	4472.16
Air Total							10252.03

Puis, il est transformé sous la forme finale cylindrique (Figure II-3).

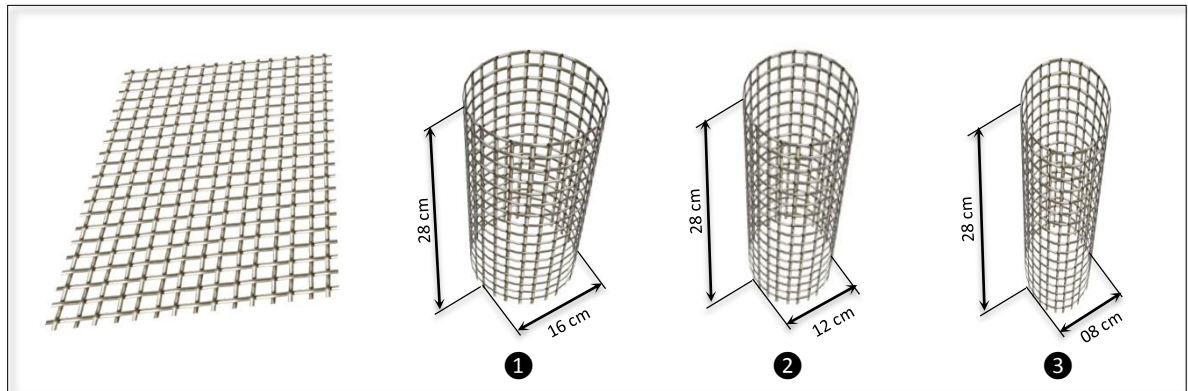


Figure II - 3 : Grille métallique confectionnées en forme cylindrique

Avec :

- ① : Grille confectionnée pour le confinement externe, Diamètre 16 cm.
- ② : Grille confectionnée pour le confinement interne, Diamètre 12 cm.
- ③ : Grille confectionnée pour le confinement interne, Diamètre 08 cm.

II.3.1.2 Préparation et remplissage des moules :

Les éprouvettes sont des cylindres en béton de dimensions standard ; 16cm de diamètre et de 32cm de hauteur, répondant aux prescriptions des normes NF P 18-411 (essais sur les bétons) [17].

Trente-neuf (39) éprouvettes sont fabriquées divisées en deux types, le premier en béton seul appelées '**Béton Témoin**' alors que le deuxième est **confinées** (renforcé / armé) avec grille métalliques a maille carrées sur trois différents diamètres de confinement comme cité précédemment (Int : 8cm & 12cm – Ext : 16cm).

Elles seront soumises à l'essai de compression (essai d'écrasement) à 28 jours.

Avant coulage, les grilles doivent être bien positionnées au centre des cylindres.



Figure II - 4 : Forme, diamètre et position des grilles à l'intérieur des éprouvettes

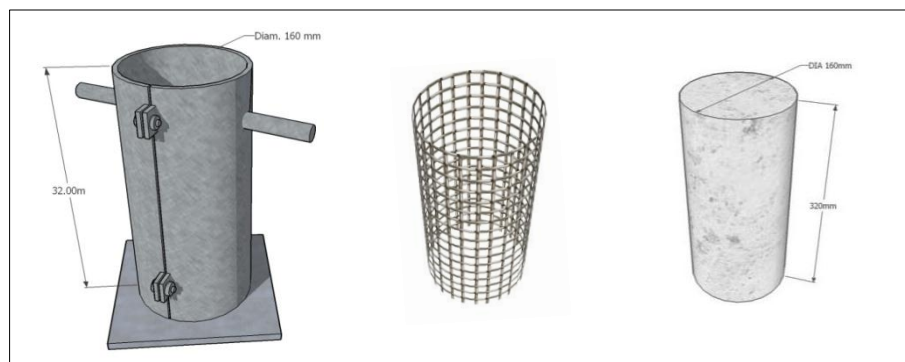


Figure II - 5 : Moule / Spécimen, Grille et éprouvettes

Une fois la grille est bien positionnée et centrée, le béton sera coulé par des couches successives et vibré au fur et à mesure (Figure II-6).

II.3.1.3 L'essai d'affaissement au cône d'Abrams :

Le principe du test consiste à constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effet de son propre poids, plus l'affaissement sera plus grand, le béton sera plus fluide.

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise œuvre pour un remplissage parfait, mais également ses performances à l'état durci.

Donc, la mesure de l'affaissement permet de vérifier si l'ouvrabilité du béton est conforme à celle prédéfinie.

Tableau II - 3 : Classes d'affaissement mesurées au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Consistance	Affaissement (mm)
S1	Ferme	10 à 40
S2	Plastique	50 à 90
S3	Très Plastique	100 à 150
S4	Fluide	160 à 210
S5	Très Fluide	> 220

Tableau II - 4 : Tolérances relatives aux valeurs cibles de consistance Essai d'affaissement [18]

Affaissement			
Plage des valeurs cibles, en mm	≤ 40	50 à 90	≥ 100
Tolérances, en mm	± 10	± 20	± 30

II.3.1.4 Serrage du béton (Vibration) :

Le serrage du béton (vibration) doit être effectué immédiatement après le remplissage des moules de façon à obtenir un serrage à refus du béton sans ségrégation excessive ni formation de laitance [19].

La vibration doit être appliquée par une Table vibrante durant le temps minimal nécessaire au serrage à refus du béton, 15 seconds environ. Il est préférable que le moule soit fixé, ou maintenu fermement contre cette table.

Le temps de vibration est un facteur très important, le béton serait insuffisamment serré s'il est très court, et dans le cas inverse, s'il est très long, il peut entraîner une ségrégation des constituants.

Certains indices permettent d'observer le moment requis pour l'arrêt de la vibration, tel que l'arrêt du dégagement de bulles d'air, la cessation de tassement du béton, et l'apparition de la laitance en surface.

Le béton se trouvant au-dessus du bord supérieur du moule doit être enlevé au moyen de deux truelles ou taloches en acier, par un mouvement de sciage de l'extérieur vers l'intérieur, puis la surface doit être soigneusement arasée [19].

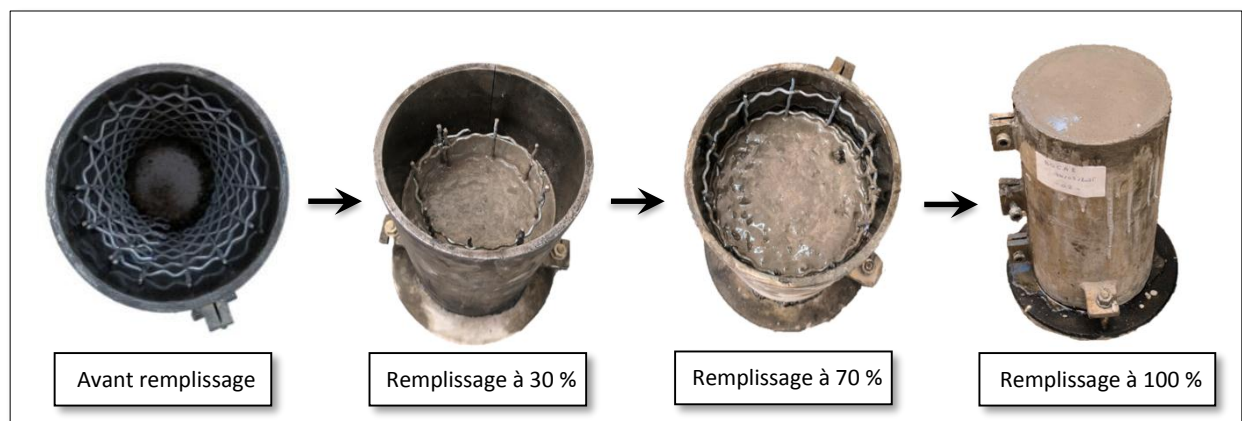


Figure II - 6 : Etapes de remplissages du béton et arasement des éprouvettes.

Après vibration et l'arasement des surfaces des éprouvettes, il faut s'assurer d'avoir une surface lisse et plane (Figure II - 6), cette étape est indispensable car la présence d'une surface convexe / bombée ou concave sur l'éprouvette provoque une répartition irrégulière des forces appliquées au cours des essais de compression et risque donc de minorer la résistance réelle du béton [16].

II.3.1.5 Marquage :

Les éprouvettes doivent être marquées sans endommagement de façon claire et durable.

Des enregistrements doivent permettre de garantir l'identification de l'éprouvette depuis le prélèvement jusqu'à l'essai [19].

Le marquage des éprouvettes a été défini de la manière suivante :

- . **BT** : Béton Témoin
- . **BGCA-8-01** : Béton Grille à maille Carrée – Type A - Diamètre de confinement 08 - Eprouvette 01
- . **BGCB-12-02** : Béton Grille à maille Carrée – Type B - Diamètre de confinement 12 - Eprouvette 02
- . **BGCC-08-03** : Béton Grille à maille Carrée – Type C - Diamètre de confinement 08 - Eprouvette 03
- . **BGCD-16-01** : Béton Grille à maille Carrée – Type D - Diamètre de confinement 08 - Eprouvette 01

Pour rappel, et comme cité dans l'introduction générale, Trois types de confinement prévus, à savoir :

- Un Confinement Intérieur avec un diamètre de confinement de 8 cm,
- Un Confinement Intérieur avec un diamètre de confinement de 12 cm,
- Un Confinement Extérieur avec un diamètre de confinement de 16 cm.

II.3.1.6 Conservation des éprouvettes :

Les éprouvettes en béton sont classiquement placées dans des conditions de conservation normalisées suivant la norme NF EN 12390-2 [19].

Les éprouvettes doivent rester dans le moule et être protégées contre les chocs et les vibrations pendant un minimum de 16 h et un maximum de 3 jours, à la température de $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (ou $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ dans les pays chauds).

Après démoulage, les éprouvettes doivent être entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai, à une température de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, [19].

Dans notre cas, c'est le premier choix qui a été opté, vu l'absence des conditions du deuxième.

Les éprouvettes ont été donc déposées dans des bacs remplis d'eau juste après le démoulage.



Figure II - 7: Conservation des éprouvettes dans un Bac d'eau

II.3.2 Machine d'essai :

La machine utilisée est une presse hydraulique de Type SEIDNER 2000 & 200, Firmware : SolidsBreak V3.2, sous Licence assurée par le Laboratoire Génie Civil de l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Les éprouvettes sont disposées entre deux plateaux, le plateau supérieur est conçu de telle sorte à épouser la forme de la surface de l'éprouvette même mal surfacée. L'effort est appliqué progressivement avec une vitesse constante jusqu'à la rupture 2,5 KN/s. L'arrêt de la machine peut être programmé en automatique ou en manuel.

Les données sont enregistrées / archivées dans la mémoire interne et peuvent aussi être transmises aux utilisateurs via clé USB.

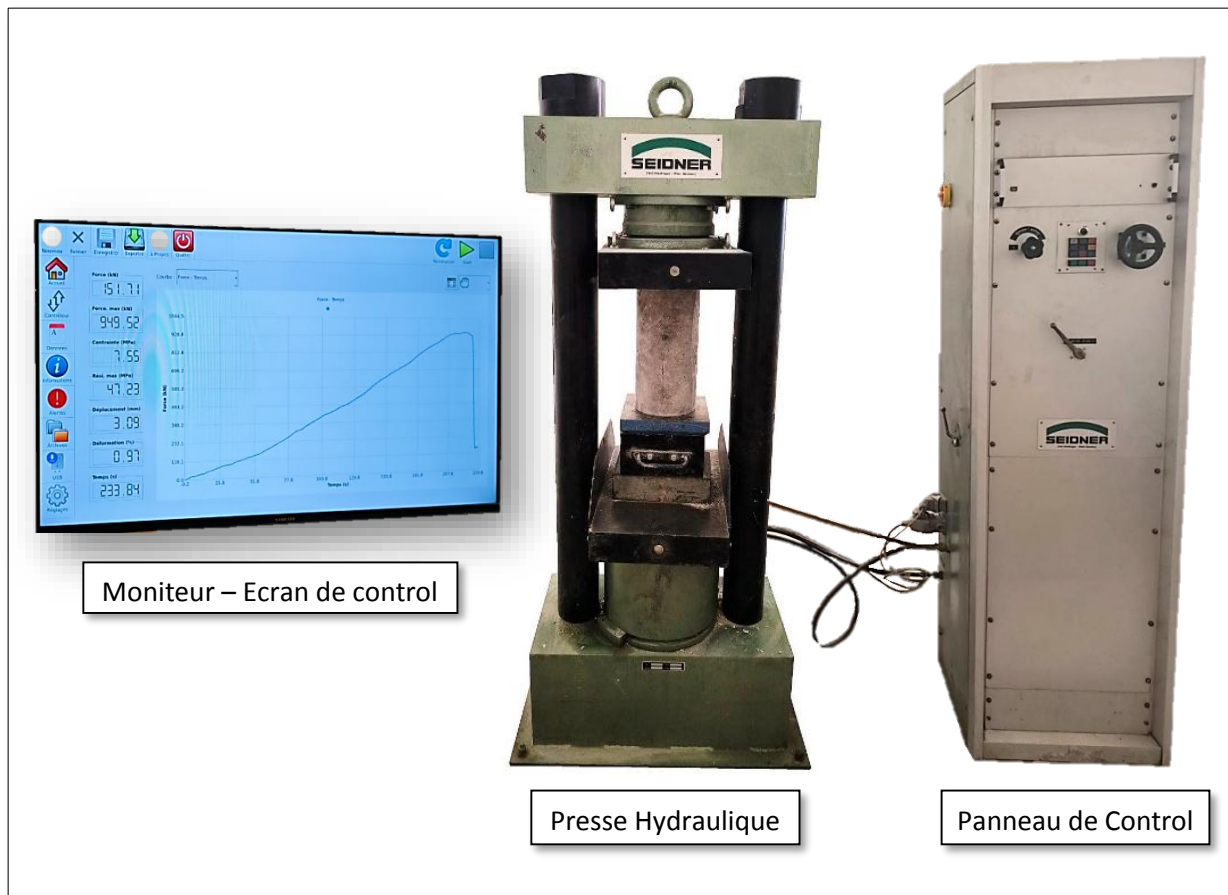


Figure II - 8 : Machine d'essais – Presse Hydraulique SEIDNER 2000 & 200

II.4 Etude de Composition du béton – Méthode Dreux-Gorisse :

II.4.1 Objectifs d'une Composition / Formulation des bétons :

La méthode à suivre pour la détermination de la composition / formulation du béton est la méthode Dreux-Gorisse [20] a l'avantage d'être issue nombreuses formulations ayant été testées sur chantier et ayant données satisfaction. Elle est d'autre part très simple d'utilisation puisque elle ne demande que de connaître les courbes granulométriques des granulats utilisés. Et après avoir réalisé une composition à partir de cette méthode, il est toujours possible de procéder à quelques essais en faisant varier les proportions des différents granulats pour vérifier si une amélioration de la qualité du mélange paraît réalisable.

Les performances requises pour un béton impliquent :

- Une consistance adaptée à sa destination, généralement définie par l'affaissement au cône d'Abrams
- Des qualités de résistances à différentes échéances, le plus souvent à 28 jours,

La formulation de béton doit permettre de respecter les premières exigences au moindre cout, le plus souvent donc à partir d'un dosage en ciment le plus faible possible tout en vérifiant que le dosage minimal est atteint.

Des logiciels permettent de traiter toute la partie non expérimentale du travail de formulation. Même avec de tels outils, il est indispensable de comprendre comment les différents paramètres influent sur les qualités du béton, car ces paramètres sont trop nombreux et trop variables pour qu'ils puissent être pris en compte dans toute leurs complexité.

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

- Détermination du rapport C/E,
- Détermination de C et E,
- Détermination de la compacité (γ) en fonction de D,
- Détermination des quantités des composants de la formulation du béton,
- Détermination des masses de granulats.

II.4.2 Hypothèse de travail :

II.4.2.1 Caractéristique du béton :

- Résistance moyenne à 28 jours du béton $F_c = 25 \text{ MPa}$
- Affaissement au cône d'Abrams $A = 7 \text{ cm}$
 - Consistance Plastique du béton ($50\text{mm} < A < 90\text{mm}$)

II.4.2.2 Caractéristique des Granulats :

- Classe des Granulats Courante
- Diamètre du plus gros granulat $D = 15 \text{ mm}$
- Coefficient granulaire $G = 0,45$
 - Diamètre moyen des granulats = $15 \text{ mm} < 16,5 \text{ mm}$
 - Qualité des granulats : Courante

Tableau II - 5 : Valeurs approximatives du coefficient Granulaire G

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins $D \leq 16,5$	Moyens $20 \leq D \leq 31,5$	Gros
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

II.4.2.3 Caractéristique du ciment :

- Type de Ciment CPJ CEM II / 42.5
- Résistance à la compression à 02 jours $> 10 \text{ MPa}$,
- Résistance à la compression à 28 jours $> 42,5 \text{ MPa}$
- Perte au feu $10\% \pm 2$
- Expansion $\leq 3 \text{ mm}$
- Début de prise $150 \text{ min} \pm 30$
- Fin de prise $230 \text{ min} \pm 50$

II.4.3 Masse Volumique (NF P 94-064):

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Comme on distingue le volume absolu et le volume apparent, il faut distinguer de même :

- **Masse volumique absolue** : c'est la masse de l'unité de volume absolue du corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps, sans tenir compte du volume des vides. [21]
- **Masse volumique apparente** : c'est la masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire, volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient. [21]

Il ne faut pas confondre Masses volumiques et densité : une densité est le rapport entre la masse d'un certain volume d'un corps et la masse du même volume d'eau à 4°C. Une densité est donc grandeur sans dimension, tandis que la masse volumique s'exprime en fonction des unités choisies (Kilogrammes par mètre cube, par exemple). [21]

II.4.3.1 Masse Volumique Absolue :

II.4.3.1.1 But de l'essai :

Cet essai a pour but de connaître la masse d'une fraction granulaire lors de l'élaboration d'une composition de bétons. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées. [22]

Plusieurs méthodes sont disponibles pour la détermination de la masse volumique absolue, à savoir :

- Méthode de l'éprouvette graduée, [21] [23]
- Méthode des éprouvettes Pycnomètres pour les sables et Gravillons (EN 1097-6), [23]
- Méthode Pycnomètre à air, [24]
- Méthode des pesées hydrostatiques [24]
- Masse volumique réelle des fillers (EN 1097-7) [23]
- Méthode du Ballon [21]

La méthode à suivre dans ce travail, est **la méthode de l'éprouvette graduée**.

Cette méthode est très simple et très rapide. Toutefois sa précision est faible. Elle Permet d'obtenir au mieux une valeur de la masse volumique comprise entre la masse volumique absolue et la masse volumique réelle. [23]

II.4.3.1.2 Conduite de l'essai :

- ① Mettre dans une éprouvette graduée un volume V_1 d'eau (Fig.II.5),
- ② Peser une masse M du corps (de l'ordre de 300g), et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soins de bien éliminer toutes les bulles d'air,
- ③ Lire le nouveau volume V_2 ,

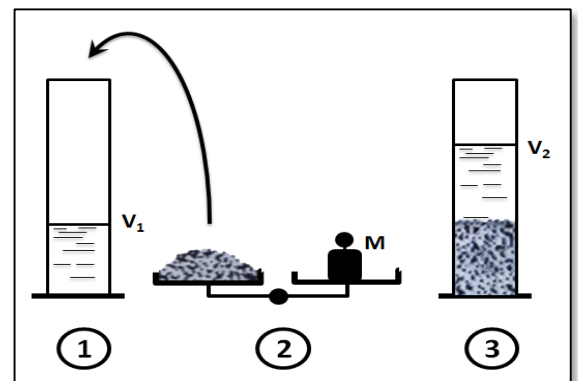


Figure II - 9 : Masse Volumique Absolue – étapes de l'essai

- Le Volume absolue est $V = V_2 - V_1$
- Et la masse volumique absolue donc est la suivante

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

Avec :

ρ_{abs} : Masse volumique absolue (g/cm³)

M : Masse d'échantillon (g)

V : Volume absolu de l'échantillon (cm³)

II.4.3.1.3 Masse volumique absolue du Sable :

$$M_{Sable} = 300 \text{ g}$$

$$V_1 = 300 \text{ ml} = 300 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 414 \text{ ml} = 414 \text{ cm}^3$$

$$V = V_2 - V_1 = 114 \text{ cm}^3$$

$$MV_{Abs} = \frac{M}{V} = \frac{300}{114} = 2,631 \text{ g/cm}^2$$

II.4.3.1.4 Masse volumique absolue du Gravier 3/8 :

Tableau II - 6 : Masse volumique absolue du Gravier 3/8

Pesée	Poids Gravier (g)	V_1 (ml = cm ³)	V_2 (ml = cm ³)	V	$MV_{app} = \frac{M}{V}$
Pesée 01	200	300	375	75	2,66 g/cm ³
Pesée 02	200	300	375	75	2,66 g/cm ³
Pesée 03	200	300	372	72	2,77 g/cm ³

II.4.3.1.5 Masse volumique absolue du Gravier 8/15 :

Tableau II - 7 : Masse volumique absolue du Gravier 8/15

Pesée	Poids Gravier (g)	V_1 (ml = cm ³)	V_2 (ml = cm ³)	V	$MV_{app} = \frac{M}{V}$
Pesée 01	200	300	373	73	2,739 g/cm ³
Pesée 02	200	300	372	72	2,777 g/cm ³
Pesée 03	200	300	375	75	2,666 g/cm ³

II.4.3.2 Masse Volumique Apparente :

II.4.3.2.1 But de l'essai :

Cet essai permet de déterminer la masse volumique apparente d'un corps (sable, gravier). Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre ces grains. [22]

II.4.3.2.2 Conduite de l'essai :

L'essai se fait suivant les étapes suivantes [21]:

- Prendre le sable (par exemple) dans les deux mains formant entonnoir,
- Placer ces deux mains à 10 cm environ au-dessus d'un récipient de volume et de masse préalablement connus, et laisser tomber ce sable ni trop vite, ni trop lentement.
- Verser ainsi le corps, toujours au centre du récipient, jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône.
- Araser à la règle.
- Peser le contenu.



Figure II - 10 :
Masse Volumique apparente
étapes de l'essai

Le test sera effectué avec un récipient de pesée cylindrique ;

- Hauteur : 14cm
- Diamètre Intérieur : 9,5 cm
- Poids du réceptient : 653 g
- Volume : $V = \pi \times r^2 \times h = \pi \left(\frac{9,5}{2}\right)^2 \times 14 = 992,35 \text{ cm}^3$



Figure II - 11 :
Récipient de pesée

II.4.3.2.3 Résultat :

La méthode est fidèle si le processus est respecté.

Il est recommandé de faire plusieurs essais, et de prendre la moyenne des résultats.

L'idéal ; 5 essais avec une mesure d'un litre, et s'arrêter à 3 essais si les résultats sont proches.

Ou encore 3 essais avec une mesure de 5 litres. [21]

II.4.3.2.4 Masse volumique apparente du Sable :

Tableau II - 8 : Masse volumique apparente du Sable

Pesée	Poids Total (Sable + récipient)	Poids du récipient	Poids du Sable	$MV_{app} = \frac{M}{V}$
Pesée 01	2246 g	653 g	1593 g	1,605 g/cm ³
Pesée 02	2252,3 g	653 g	1599.3 g	1.611 g/cm ³
Pesée 03	2269,3 g	653 g	1616.3 g	1.628 g/cm ³

II.4.3.2.5 Masse volumique apparente du Gravier 3/8 :

Tableau II - 9 : Masse volumique apparente du Gravier 3/8

Pesée	Poids Total (Gravier + récipient)	Poids du récipient	Poids du Gravier	$MV_{app} = \frac{M}{V}$
Pesée 01	2104,3 g	653 g	1451,3 g	1,462 g/cm ³
Pesée 02	2102,5 g	653 g	1449,5 g	1,460 g/cm ³
Pesée 03	2103,6 g	653 g	1450,6 g	1,461 g/cm ³

II.4.3.2.6 Masse volumique apparente du Gravier 8/15 :

Tableau II - 10 : Masse volumique apparente du Gravier 8/15

Pesée	Poids Total (Gravier + récipient)	Poids du récipient	Poids du Gravier	$MV_{app} = \frac{M}{V}$
Pesée 01	2140,8 g	653 g	1487,8 g	1,613 g/cm ³
Pesée 02	2143,2 g	653 g	1490,2 g	1.615 g/cm ³
Pesée 03	2139,3 g	653 g	1486,3 g	1,611 g/cm ³

II.4.4 Equivalant du Sable (EN 933-8) :

II.4.4.1 But de l'essai :

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrants dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. [23]

II.4.4.2 Principe et conduite de l'essai :

L'essai est effectué sur la fraction de 0/2mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins.

On lave l'échantillon selon le processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur H1 : Sable propre + Eléments fins
- Hauteur H2 : Sable propre seulement

L'équivalent de sable d'une prise d'essai d'un échantillon est par définition mesuré au piston et donné par la formule suivante :

$$SE = 100 \frac{h_2}{h_1}$$

Il y a 2 façons de mesurer h2, soit visuellement pour déterminer l'équivalent de sable à vue (ESV), soit avec un piston pour déterminer ES.

Le mode opératoire à une grande influence sur le résultat, donc il faut le suivre scrupuleusement. L'essai est effectué avec 120 g de grains. Il est préférable d'utiliser un échantillon humide, pour éviter les pertes des éléments fins du sable.

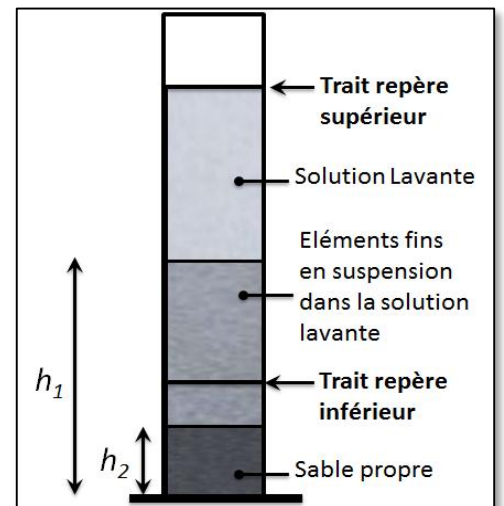


Figure II - 12 : Equivalant de sable
Etapes et définition de chaque partie de l'essai - 1

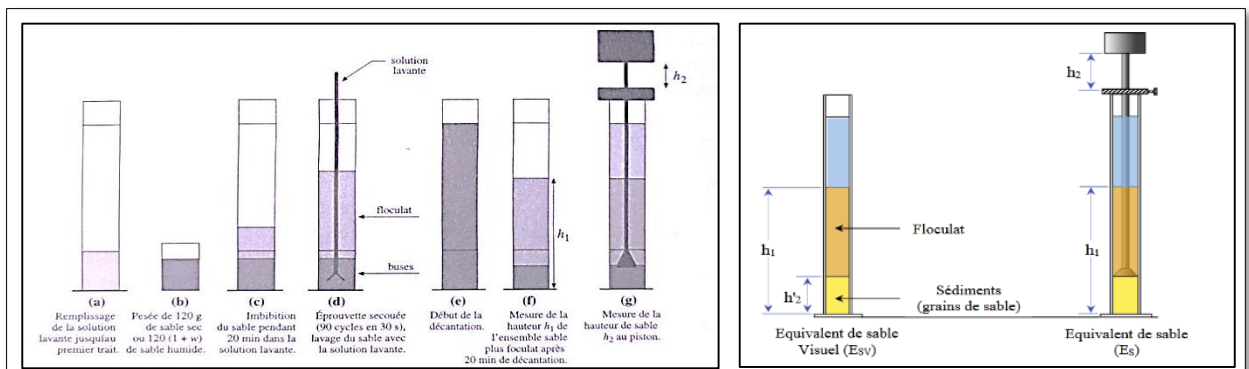


Figure II - 13 : Equivalant du Sable – Matériel et étapes du test

Tableau II - 11 : Equivalent du sable - Résultats obtenus

Echantillon	h_1 (cm)	h_2 (cm)	Equivalent du Sable (%) $SE = 100 \frac{h_2}{h_1}$
N°01	9.7	7.5	77
N°02	9.5	7.4	77
N°03	9.3	7.2	77

a) Echantillon N°01 :

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 9.7 \text{ cm} \\ h_2 = 7.5 \text{ cm} \end{array} \right\} SE = 100 \frac{h_2}{h_1} = 100 \frac{7.5}{9.7} = 77\%$$

b) Echantillon N°02 :

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 9.5 \text{ cm} \\ h_2 = 7.4 \text{ cm} \end{array} \right\} SE = 100 \frac{h_2}{h_1} = 100 \frac{7.4}{9.5} = 77\%$$

c) Echantillon N°03 :

$$\left. \begin{array}{l} h_1 = 9.3 \text{ cm} \\ h_2 = 7.2 \text{ cm} \end{array} \right\} SE = 100 \frac{h_2}{h_1} = 100 \frac{7.2}{9.3} = 77\%$$

SE = 77%**Tableau II - 12 :** Equivalent de sable – Propreté, Nature et qualité du sable.

SE (Au piston)	Nature et qualité du sable
SE < 60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
60 ≤ SE < 70	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
70 ≤ SE < 80	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
SE > 80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

SE = 77% ↔ On remarque qu'il est dans l'intervalle **70 % ≤ SE = 77 % < 80 %**

Donc, notre sable est un **Sable propre** à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.

II.4.5 Module de finesse du Sable :

Le module de finesse du sable se calcule avec la formule suivante ;

$$MF_{Sable} = \frac{1}{100} \times \sum \text{Refus cumulé en \% des Tamis } \{0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5\}$$

$$= \frac{1}{100} \times (89,1 + 65,21 + 40,84 + 22,02 + 4,67 + 0)$$

$$= \frac{1}{100} \times 221,84 = 2,218$$

$$MF_{Sable} = 2.218$$

- Si $1,8 < MF < 2,2$ Le sable est à majorité de grains fins
- Si $2,2 < MF < 2,8$ Sable Préférentiel
- Si $2,8 < MF < 3,3$ Sable un peu Grossier, donnera des bétons résistants mais moins maniables.

➤ **MF_{Sable} = 2.218 Sable Préférentiel.**

II.4.6 Essai d'analyse granulométrique (EN 933-1):

II.4.6.1 But de l'essai :

Pour de nombreux travaux de construction et pour l'exécution de nombreux essais, il est nécessaire de connaître certaines caractéristiques des matériaux utilisés, caractéristiques qui représentent ;

- Les dimensions,
- La forme,
- La masse volumique,
- La porosité,
- La teneur en impuretés

De l'échantillon qui a été prélevé.

L'analyse granulométrique est la première de ces recherches ; elle caractérise les granulats en déterminant la grosseur des grains qui les constituent, et les pourcentages des grains de chaque grosseur [21].

II.4.6.2 Conduite de l'essai :

A travers cette démarche, on détermine le pourcentage de « Tamisât » à travers chacun des tamis (ce qui passe au travers), pour cela, on pèsera le « refus » sur chacun d'eux (ce qui ne passe pas.

Emboîter les tamis utilisés les uns sur les autres, les dimensions croissantes de bas en haut. Dessous, à fond plein (pour recueillir les éléments fins). Dessus, couvercle (pour éviter la dispersion des poussières) [21].

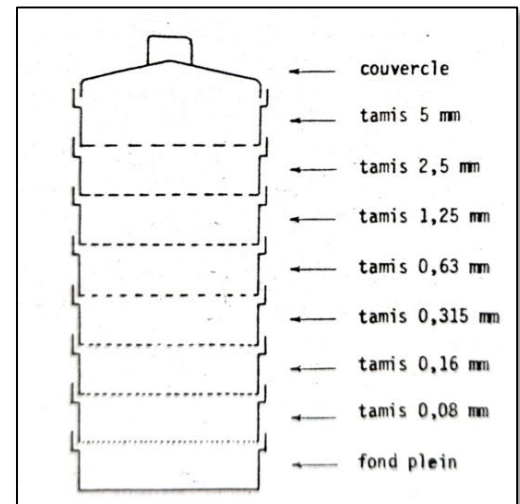


Figure II - 14 : Essai d'analyse granulométrique

Le matériau de masse M est versé sur la série de tamis choisis de telle manière que la progression des ouvertures soit croissante du bas de la colonne vers le haut. En partie inférieure, on dispose un tamis de 0,063 mm surmontant un fond étanche afin de récupérer les éléments fins. Un couvercle est également disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériaux pendant le tamisage [23].

On rappellera, **Tamisât**, le poids de matériau passant à travers un tamis donné et **Refus** le poids du matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau à étudier est versé en haut de la colonne et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. Le temps de tamisage varie avec le type de machine utilisée, mais dépend aussi de la charge de matériau présente sur le tamis et de son ouverture. Un étalonnage de la machine est donc nécessaire.

Dans notre cas, la durée de tamisage est de 5 minutes.

Une fois que le tamisage est terminé, le tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit R_1 la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieure est pesé. Soit R_2 la masse du deuxième refus. La somme $R_1 + R_2$ représente le refus cumulé sur le deuxième tamis.

Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures croissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés R_n aux différents niveaux de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond de la colonne de tamis est également pesé. Soit P sa masse.

La somme des refus cumulés mesurés sur les différents tamis et du tamisât sur le fond doit coïncider avec le poids de l'échantillon introduit en tête de colonne. La perte éventuelle de matériau pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 1% du poids total de l'échantillon de départ [23].

Les résultats des refus sont exprimés en pourcentage de la masse de départ, et sont représentés selon les tableaux suivants :

II.4.6.3 Expression des résultats (Courbe Granulométrique) :

Le pourcentage des refus cumulés, ou ceux du tamisât cumulés, sont représentés sous forme d'une courbe granulométrique en portant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, et les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique.

La représentation graphique de l'analyse granulométrique des tableaux précédents est donnée sur les figures suivantes. Elles correspondent aux Sable, Gravier 0/3 et 8/15.

a. Sable 0/3 :**Tableau II - 13 :** Analyse Granulométrique du Sable 0/3

Analyse Granulométrique du Sable 0/3, Masse = 2000 g				
Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
5	0	0	0	100
2.5	93.50	93.50	4.67	95.32
1.25	374	440.50	22.02	77.98
0.63	376.20	816.70	40.84	59.16
0.315	487.50	1304.20	65.21	34.79
0.16	477.80	1782	89.10	10.90
0.08	103.30	1885.20	94.26	5.74
Fond	97	1982.20	99.11	0.89

b. Gravier 3/8**Tableau II - 14** : Analyse Granulométrique du Gravier 3/8

Analyse Granulométrique du Gravier 3/8, Masse = 5000 g				
Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
8	0	0	0	100
6.3	826.10	826.10	16.52	83.48
5	2582.10	3408.10	68.16	31.83
4	1078.80	4487	89.74	10.26
3.15	454.70	4941.70	98.83	1.16
Fond	58.30	5000	100	0

c. Gravier 8/15**Tableau II - 15** : Analyse Granulométrique du Gravier 8/15

Analyse Granulométrique du Gravier 8/15, Masse = 5000 g				
Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât cumulé (%)
16	0	0	0	100
12.5	1927.80	1927.80	38.55	61.44
10	1305.10	3232.90	64.65	35.34
8	1154.20	4387.10	87.74	12.25
Fond	613	5000	100	0

II.4.6.4 Détermination du Rapport C/E :

$$f_{cb} = \sigma_c \times G \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad \text{Formule de Bolomey}$$

Avec

- f_{cb} : résistance visée à 28 jours,
- C : dosage du ciment en kg/m³ de béton,
- E : dosage de l'eau en kg/m³ de béton,
- σ_c : Classe vraie du ciment en MPa,
- G : coefficient granulaire.

Faire sortir $\frac{C}{E}$:

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cb}}{\sigma_c \times G} + 0,5$$

$$f_{cb} = f_{c28} \times 1,15 = 25 \times 1,15 = 28,75 \text{ MPa}$$

$$\frac{C}{E} = \frac{28,75}{42,5 \times 0,45} + 0,5 = 2$$

II.4.6.5 Détermination de la quantité du Ciment (C) :

De l'abaque (Estimation de la quantité de Ciment), Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée.

Nous aurons :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 2 \\ A = 7 \end{array} \right\} C = 400 \text{ Kg/m}^3$$

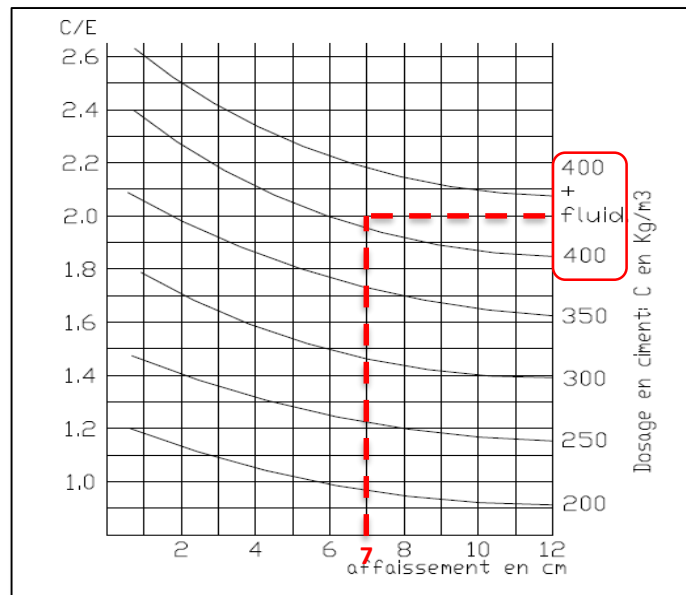


Figure II - 15 : Abaque - Estimation de la quantité de Ciment

II.4.6.6 Détermination de la quantité de l'eau (E) :

$$\frac{C}{E} = 2 \rightarrow E = \frac{C}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ Kg/m}^3$$

Correction sur le dosage en eau en fonction de D max ;

Diamètre en mm	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50
Correction en %	+9	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6

$$D = 15 \text{ mm} \rightarrow E_{cor} = E + 4\% = 208 \text{ Kg/m}^3$$

$$E = 208 \text{ Kg/m}^3$$

II.4.6.7 Tracé de la courbe granulométrique de référence (Ligne de Référence AOB) :

La composition granulométrique optimale est représenté par une ligne brisée de référence AOB, Le Point B (à l'ordonnée 100%) est confondu avec le point d'ordonnée 100% de la courbe granulométrique de plus gros granulat, le point de brisure A a des coordonnées suivantes :

- En abscisse : $D/2$
- En ordonnée : $Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$

a. **Ordonnée du point A :**

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p$$

Avec :

- D : Diamètre du plus gros granulat
- K : Terme correcteur
- K_s : Correction si MF du sable est fort
- K_p : Correction si le béton doit être pompé

- $D = 15 \text{ mm}$
- $MF = 2.218$

- $\left. \begin{array}{l} \text{Vibration : Normale} \\ \text{Forme Granulaire : concassé} \\ \text{Dosage ciment : } 400 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \end{array} \right\} \rightarrow K = 0$

Tableau II - 16 : Détermination du terme correcteur K

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Format des granulats		Roulé	Concassé	Roulé	Concassé	Roulé	Concassé
Dosage ciment	400+f	-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
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

- $K_s = 6 \times MF - 15 = (6 \times 2.218) - 15 = -1.69$
- $K_p = 0 \rightarrow \begin{cases} = 0 \text{ si le béton est non pompable} \\ 5 \leq K_p \leq 10 \text{ si le béton est pompable} \end{cases}$

$$Y_A = 50 - \sqrt{D} + K + K_s + K_p = 50 - \sqrt{15} + 0 - 1.69 + 0 = 44,43$$

$$Y_A = 44,43 \%$$

$$X_A = \frac{D}{2} \rightarrow D_{max} \leq 20 \text{ mm}$$

$$X_A = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ mm}$$

b. **Point B :**

Le point B a pour abscisse $D = 15 \text{ mm}$ et ordonnée 100 % de tamisât :

$$X_B = 15 \text{ mm}$$

$$Y_B = 100 \%$$

Courbe Granulométrique :

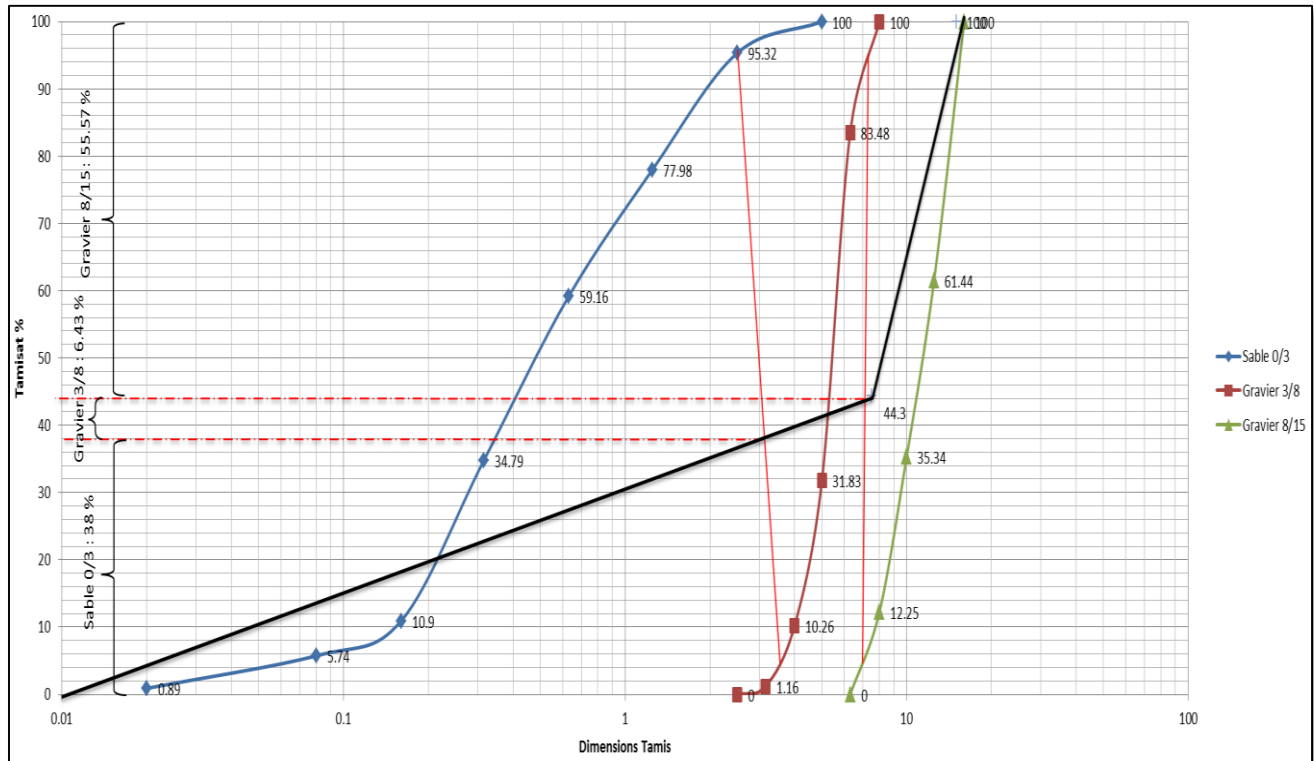


Figure II - 16 : Courbe Granulométrique Globale

c. Résultats – Pourcentages des Agrégats donnés par la courbe granulométrique :

- Sable 0/3 : **38%**
- Gravier 3/8 : **6.43%**
- Gravier 8/15 : **55.57%**

II.4.6.8 Détermination des quantités des composants de la formulation du béton :

II.4.6.8.1 Coefficient de compacité (γ) en fonction de D :

Tableau II - 17 : Coefficient de compacité (γ) en fonction de D

Consistance	Serrage	Coefficient γ en fonction du diamètre D des granulats						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,795	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,800	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	Piquage	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
	Vibration faible	0,765	0,795	0,810	0,820	0,825	0,830	0,835
	Vibration normale	0,770	0,800	0,815	0,825	0,830	0,835	0,840
	Vibration puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	Vibration faible	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
	Vibration normale	0,780	0,810	0,825	0,835	0,840	0,845	0,850
	Vibration puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855

- Consistance : Plastique
 - Vibration : Normale
 - D = 15 mm
- } $\gamma = 0,815$

$$\gamma_{corr} = 0,815 - 0,03 = 0,785$$

II.4.6.8.2 Volume total absolu :

$$V_{abs} = V_c + V_g + V_s = 1m^3$$

$$V_c = \frac{C}{MV_{abs}}$$

Avec :

- V_c : Volume absolue de ciment en dm^3
- C : masse de ciment en kg
- MV_{abs} : masse volumique absolue du ciment en kg/dm^3 , soit $3100 kg/m^3 = 3,1 kg/dm^3$

$$V_c = \frac{C}{MV_{abs}} = \frac{400}{3,1} = 129,03 dm^3$$

On a :

$$V_{abs} = V_c + V_g + V_s$$

En remplace ($V_g + V_s$) par V_G

Avec :

- V_G : Volume absolue des granulats

$$V_G = (1000 \times \gamma) - V_c$$

$$V_G = (1000 \times 0,785) - 129,03$$

$$V_G = 655,97 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

II.4.6.8.3 Volume du sable :

$$V_s = S \% \times V_G$$

$$V_s = 38 \% \times 655,97 = 0,38 \times 655,97$$

$$V_s = 249,26 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

II.4.6.8.4 Volume des gravillons :

$$V_g = G \% \times V_G$$

$$V_g = 62 \% \times 655,97 = 0,62 \times 655,97$$

$$V_g = 406,7 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{g_{3/8}} = g_{3/8} \% \times V_G$$

$$V_{g_{3/8}} = 6,43 \% \times 655,97 = 0,0643 \times 655,97$$

$$V_{g_{3/8}} = 42,17 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

$$V_{g_{8/15}} = g_{8/15} \% \times V_G$$

$$V_{g_{8/15}} = 55,57 \% \times 655,97 = 0,5557 \times 655,97$$

$$V_{g_{3/8}} = 364,52 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

II.4.6.8.5 Composition pondérale sèche en Kg :

- Masse de ciment : 400 Kg/m³
- Masse de l'eau : 208 Kg/m³
- Volume du Sable :

$$S = V_s \times MV_{abs}$$

$$S = 249,26 \times 2,631$$

$$S = 655,80 \text{ Kg/m}^3$$

- Masse des gravillons :

$$G = V_g \times MV_{abs}$$

$$G = 406,7 \times 2,66$$

$$G = 1081,82 \text{ Kg/m}^3$$

- **Gravier 3/8**

$$1081,82 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow 62 \%$$

$$x \text{ ---} \rightarrow 6,43 \%$$

$$V_{G\ 3/8} = 112,20 \text{ Kg/m}^3$$

- **Gravier 8/15**

$$1081,82 \text{ Kg/m}^3 \rightarrow 62 \%$$

$$x \text{ ---} \rightarrow 55,57 \%$$

$$V_{G\ 8/15} = 969,62 \text{ Kg/m}^3$$

Tableau II - 18 : Composition de béton pour 1 m³

Composant	Quantité
Ciment	400 Kg/m ³
Eau	208 Kg/m ³
Sable	655,80 Kg/m ³
Gravier 3/8	112,20 Kg/m ³
Gravier 8/15	969,62 Kg/m ³

II.4.6.8.6 Composition de béton pour 01 éprouvette :

Le volume de l'éprouvette

$$V = \pi \times r^2 \times H$$

$$V = \pi \times (8)^2 \times 32$$

$$V = 6,43 \times 10^{-3} m^3$$

$$\mathbf{V = 0,0064m^3}$$

a) Ciment :

$$400 \text{ Kg} \rightarrow 1 m^3$$

$$x \rightarrow 0,0064 m^3$$

$$C = \frac{0,0064 \times 400}{1}$$

$$\mathbf{C = 2.56 Kg}$$

b) Eau :

$$208 \text{ Kg} \rightarrow 1 m^3$$

$$x \rightarrow 0,0064 m^3$$

$$E = \frac{0,0064 \times 208}{1}$$

$$\mathbf{E = 1.33 Kg}$$

c) Sable :

$$655,80 \text{ Kg} \rightarrow 1 m^3$$

$$x \rightarrow 0,0064 m^3$$

$$S = \frac{0,0064 \times 655,80}{1}$$

$$\mathbf{S = 4,19 Kg}$$

d) Gravier 3/8

$$112,20 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$x \quad \rightarrow 0,0064 \text{ m}^3$$

$$G_{3/8} = \frac{0,0064 \times 112,20}{1}$$

$$G_{3/8} = 0,718 \text{ Kg}$$

e) Gravier 8/15

$$969,62 \text{ Kg} \rightarrow 1 \text{ m}^3$$

$$x \quad \rightarrow 0,0064 \text{ m}^3$$

$$G_{3/8} = \frac{0,0064 \times 969,62}{1}$$

$$G_{8/15} = 6,20 \text{ Kg}$$

Tableau II - 19 : Composition de Béton pour **01 éprouvette** cylindrique 16x32cm

Composant	Quantité
Ciment	2,56 Kg
Eau	1,33 Kg
Sable	4,19 Kg
Gravier 3/8	0,718 Kg
Gravier 8/15	6,20 Kg

Tableau II - 20 : Composition de Béton pour **03 éprouvettes** cylindriques 16x32cm

Composant	Quantité
Ciment	7,68 Kg
Eau	4,00 Kg
Sable	12,57 Kg
Gravier 3/8	2,15 Kg
Gravier 8/15	18,6 Kg

Tableau II - 21 : Composition de Béton pour 03 éprouvettes avec Majoration de +15%

Composant	Quantité
Ciment	8,83 Kg
Eau	4,6 Kg
Sable	14,45 Kg
Gravier 3/8	2,47 Kg
Gravier 8/15	21,40 Kg

Remarque :

La composition de Béton pour trois (03) éprouvettes avec Majoration de +15% a été calculée dans le but de déterminer la quantité des différents matériaux nécessaire pour les gâchages au laboratoire.

Les gâchages se préparent pour un volume de trois (03) éprouvettes à la fois. Et c'est la quantité maximale que peut contenir le malaxeur à béton disponible au laboratoire.



II.5 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les principales étapes liées à la formulation et à la préparation du béton utilisé dans notre étude. Après une introduction générale, nous avons décrit les matériaux constitutifs du béton, en soulignant leurs caractéristiques et leur influence sur les performances finales du matériau.

Nous avons ensuite exposé les modalités de préparation des éprouvettes, en précisant leurs dimensions et les spécificités de la machine d'essai employée, garantissant ainsi la fiabilité des mesures à venir.

Enfin, nous avons traité la composition du béton selon la méthode Dreux-Gorisse, reconnue dans le domaine du génie civil, en nous appuyant sur plusieurs paramètres. L'ensemble des essais a été réalisé selon les normes en vigueur, assurant une base rigoureuse pour la formulation du béton.

Cette démarche nous permettra, dans le chapitre suivant, d'étudier le comportement mécanique du béton conçu, notamment à travers des essais de résistance à la compression et d'autres analyses techniques.

CHAPITRE – III

PRÉSENTATION

&

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

III.1 Introduction :

Après avoir défini avec précision les caractéristiques des matériaux, les techniques du confinement, ainsi que les étapes de formulation et de préparation du béton selon la méthode Dreux-Gorisse (Chapitre II), il convient à présent d'évaluer les performances réelles du béton conçu.

Ce troisième chapitre est donc consacré à la présentation des résultats expérimentaux issus des essais mécaniques effectués, notamment ceux de la résistance à la compression.

Dans un premier temps, nous exposerons les données obtenues à l'issue des différents tests en les organisant de manière claire et précise. Par la suite, ces résultats feront l'objet d'une interprétation technique. Visant à mettre en lumière l'influence des paramètres des différents types de confinement sur le comportement du béton.

III.2 Présentation des résultats :

Les résultats des essais sont présentés sous forme de tableaux et courbes contrainte-déformation.

III.2.1 Résultats des essais de compression sur le béton témoin :

Tableau III - 1 : Résultats des essais sur le béton témoin

Item	Réf. Eprouvette	Date de coulage	Affaissement (cm)	Date d'écrasement (Age : 28 jours)	Moyenne (MPa)
1	BT-01	23/03/2025	7	20/04/2025	35.99
2	BT-02				
3	BT-03				



Figure III - 1 : Eprouvette Béton Témoin avant essai

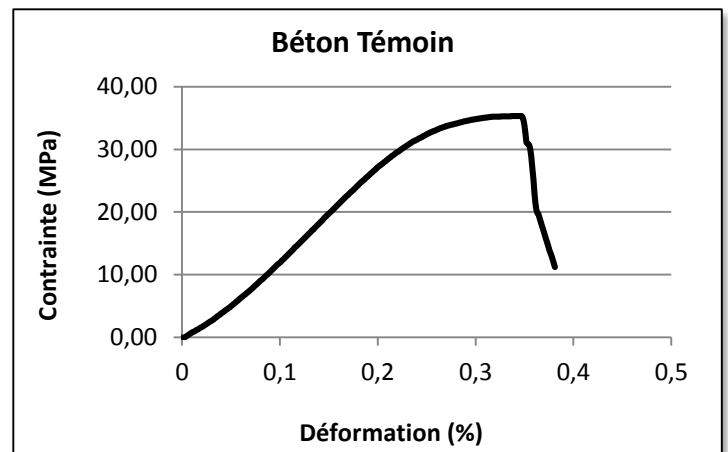


Figure III - 2 : Courbe Contrainte – Déformation – Béton Témoin

III.2.2 Résultats des essais de compression sur le béton Confiné :

III.2.2.1 Résultats des essais pour le Type - A :

Tableau III - 2 : Résultats des essais sur le béton Confiné – Type A

Item	Réf. Epreuve	Date de coulage	Affaissement (cm)	Date d'écrasement (Age : 28 jours)	Résistance Moyenne (MPa)
4	BGCA-8 - 01	24/03/2025	7	21/04/2025	36.37
5	BGCA-8 - 02				
6	BGCA-8 - 03				
7	BGCA-12 - 01	06/04/2025	7.3	04/05/2025	37.50
8	BGCA-12 - 02				
9	BGCA-12 - 03				
10	BGCA-16 - 01	06/04/2025	7	04/05/2025	42.04
11	BGCA-16 - 02				
12	BGCA-16 - 03				

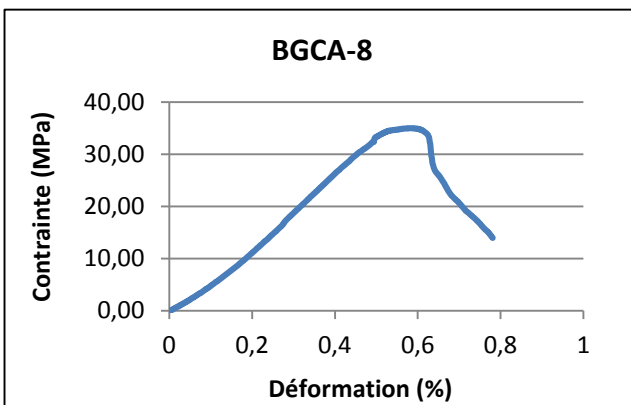


Figure III - 3 : Courbe Contrainte – Déformation BGCA-08

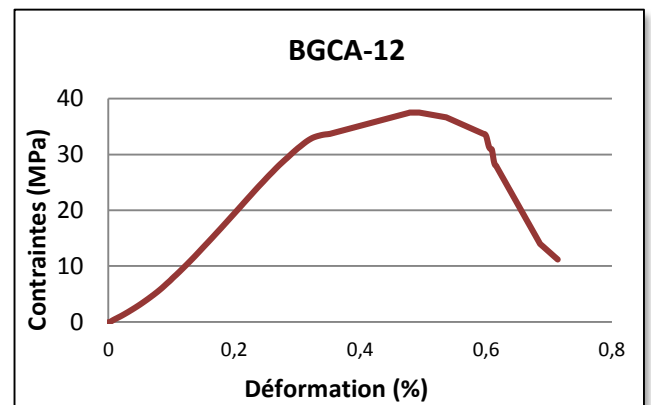


Figure III - 4 : Courbe Contrainte – Déformation BGCA-12

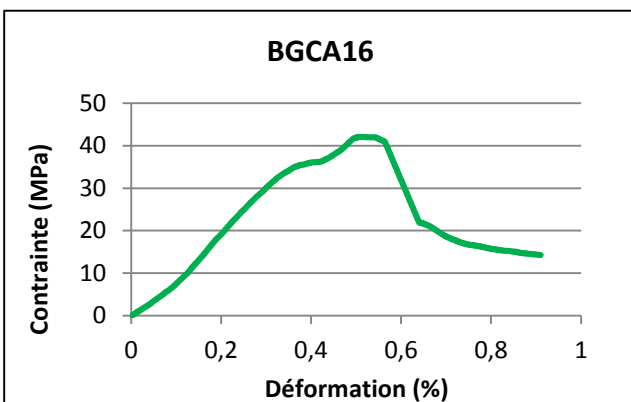


Figure III - 6 : Courbe Contrainte – Déformation BGCA-16

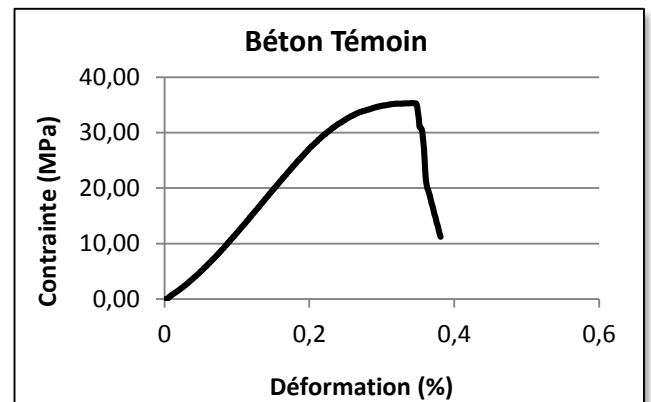


Figure III - 5 : Courbe Contrainte – Déformation Béton témoin

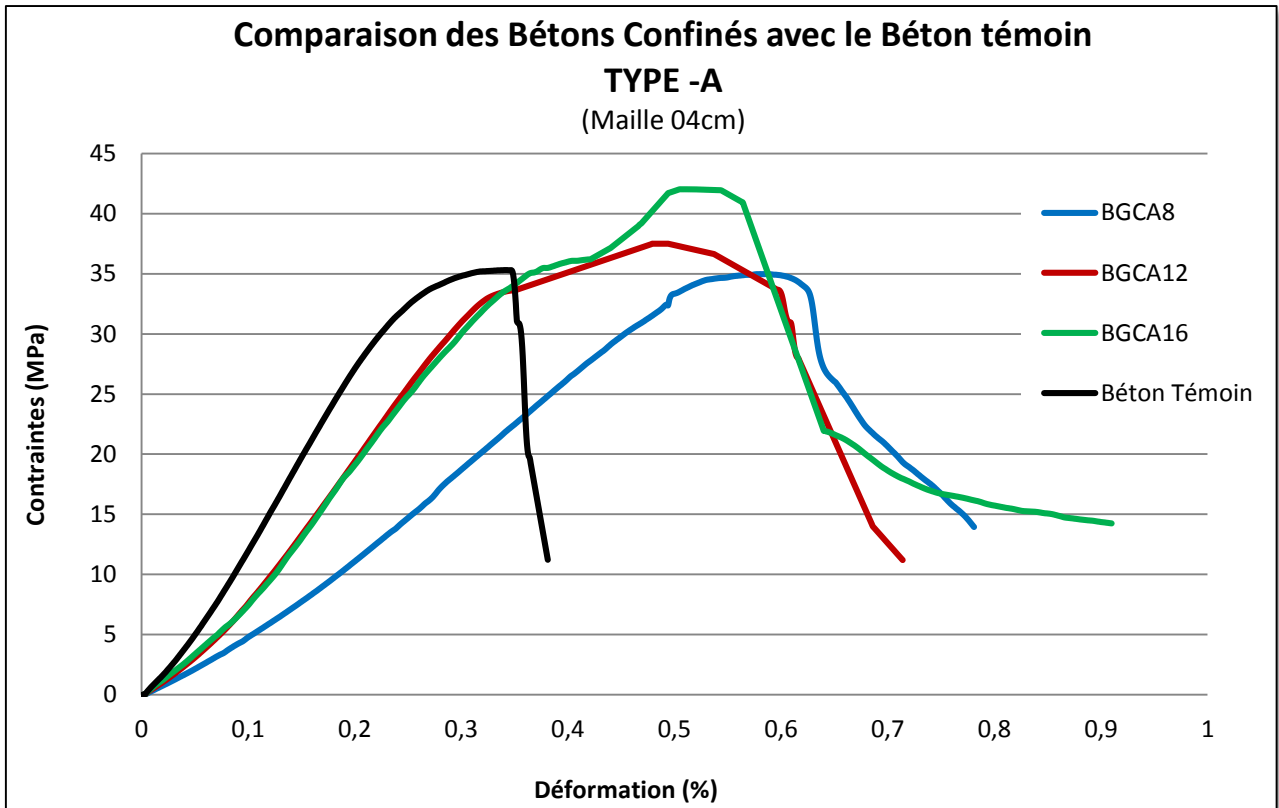


Figure III - 7 : Comparaison des bétons Confinés Type A avec le béton témoin

Données Clés :

- **Type - A** - : Maille de 04 cm
- Résistances Moyennes :
 - BGCA-08 : 36.37 MPa,
 - BGCA-12 : 37.50 MPa,
 - BGCA-16 : 42.04 MPa.

Interprétation :

- La résistance augmente progressivement avec l'augmentation de diamètre de l'éprouvette (de 8 à 16 cm),
- Les courbes contrainte-déformation (Courbes des paramètres et courbe comparative) montrent une ductilité modérée, avec une amélioration claire de la résistance par rapport au béton témoin,
- Le béton BGCA-16 présente le meilleur comportement mécanique, indiquant une bonne efficacité du confinement avec cette maille (Confinement Externe).

III.2.2.2 Résultats des essais pour le Type - B :

Tableau III - 3 : Résultats des essais sur le béton Confiné – Type B

Item	Réf. Eprouvette	Date de coulage	Affaissement (cm)	Date d'écrasement (Age : 28 jours)	Résistance Moyenne (MPa)
13	BGCB-8 - 01	07/04/2025	6.9	05/05/2025	37.59
14	BGCB-8 - 02				
15	BGCB-8 - 03				
16	BGCB-12 - 01	08/04/2025	7.2	06/05/2025	38.13
17	BGCB-12 - 02				
18	BGCB-12 - 03				
19	BGCB-16 - 01	09/04/2025	6.9	07/05/2025	45.32
20	BGCB-16 - 02				
21	BGCB-16 - 03				

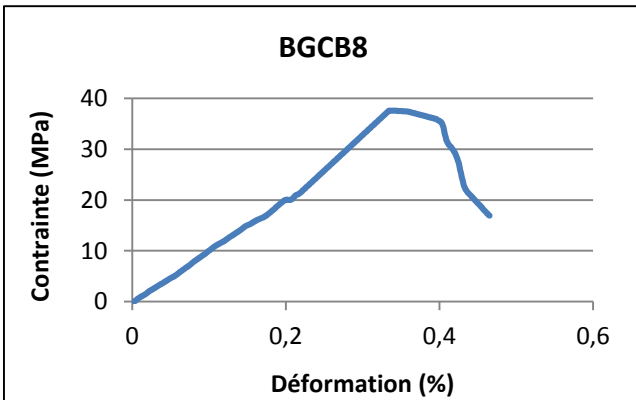


Figure III - 9 : Courbe Conainte – Déformation BGCB-08

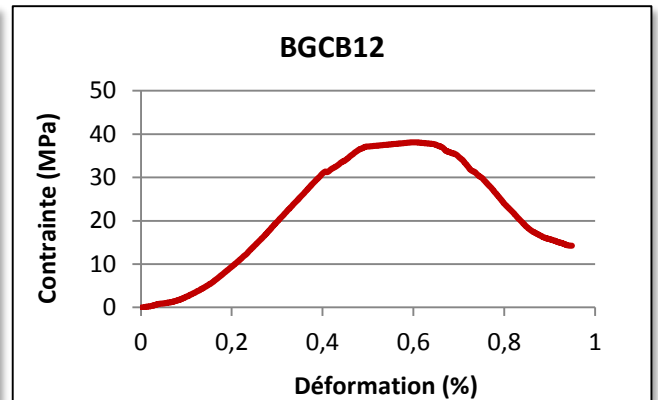


Figure III - 8 : Courbe Conainte – Déformation BGCB-12

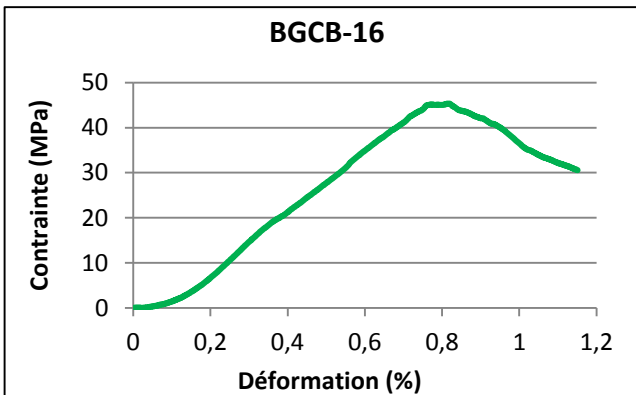


Figure III - 10 : Courbe Conainte – Déformation BGCB-16

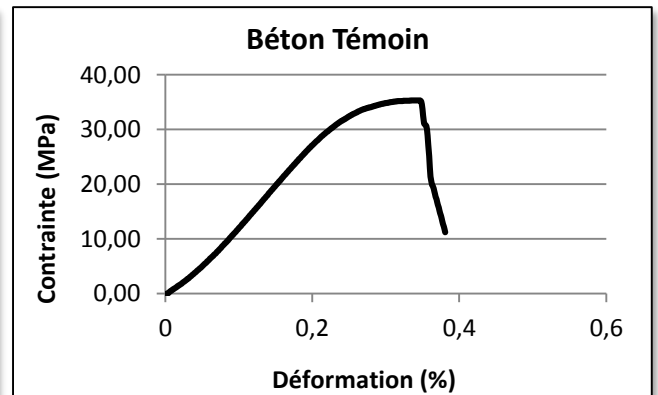


Figure III - 11 : Courbe Conainte – Déformation Béton Témoin

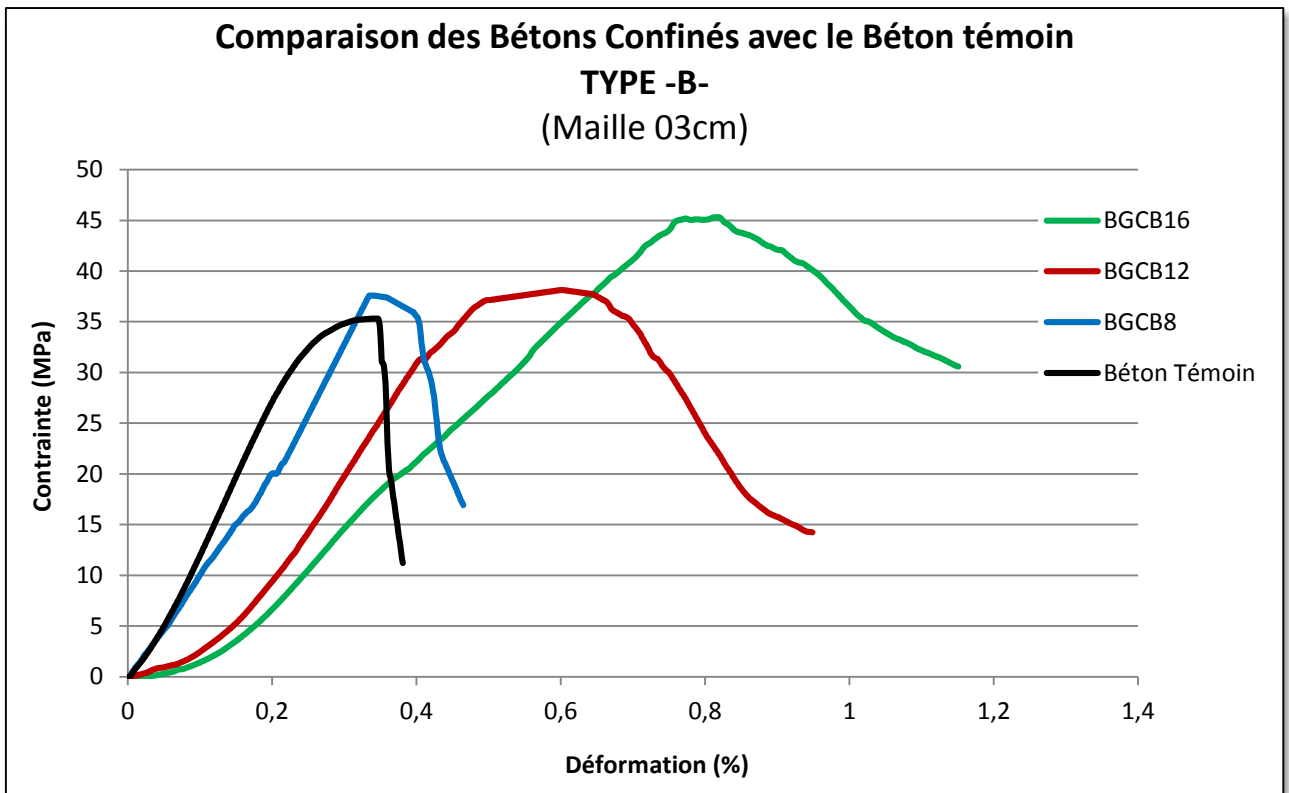


Figure III - 12 : Comparaison des bétons Confinés Type B avec le béton témoin

Données Clés :

- **Type - B -** : Maille de 03 cm
- **Résistances Moyennes :**
 - BGCB-08 : 37.59 MPa,
 - BGCB-12 : 38.13 MPa,
 - BGCB-16 : 45.32 MPa.

Interprétation :

- On note une amélioration plus marquée de la résistance, notamment pour BGCB-16 qui dépasse les 45 MPa,
- Les courbes confirment un comportement plus rigide, avec un pic de contrainte plus élevé que le Type A,
- Cela montre que la réduction de la maille de confinement (passant de 4 à 3 cm) améliore significativement la résistance à la compression.

III.2.2.3 Résultats des essais pour le Type - C :

Tableau III - 4 : Résultats des essais sur le béton Confiné – Type C

Item	Réf. Eprouvette	Date de coulage	Affaissement (cm)	Date d'écrasement (Age : 28 jours)	Résistance Moyenne (MPa)
22	BGCD-8 - 01	16/04/2025	7.1	14/05/2025	39.78
23	BGCD-8 - 02				
24	BGCD-8 - 03				
25	BGCD-12 - 01	16/04/2025	7.1	14/05/2025	41.61
26	BGCD-12 - 02				
27	BGCD-12 - 03				
28	BGCD-16 - 01	16/04/2025	7.1	14/05/2025	46.05
29	BGCD-16 - 02				
30	BGCD-16 - 03				

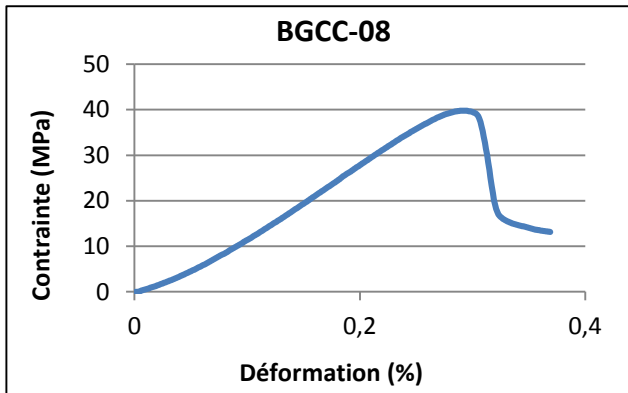


Figure III - 13 : Courbe Conainte – Déformation BGCC-08

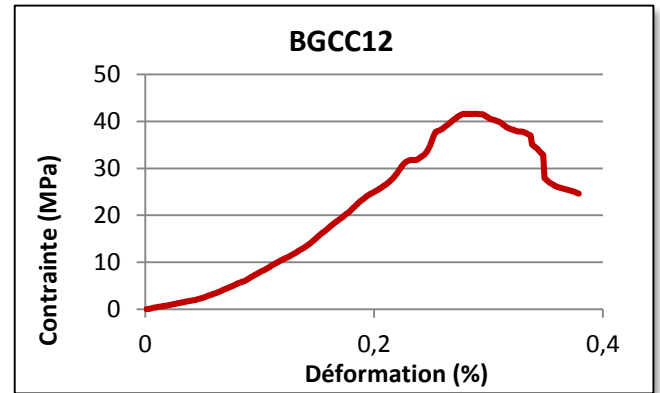


Figure III - 14 : Courbe Conainte – Déformation BGCC-12

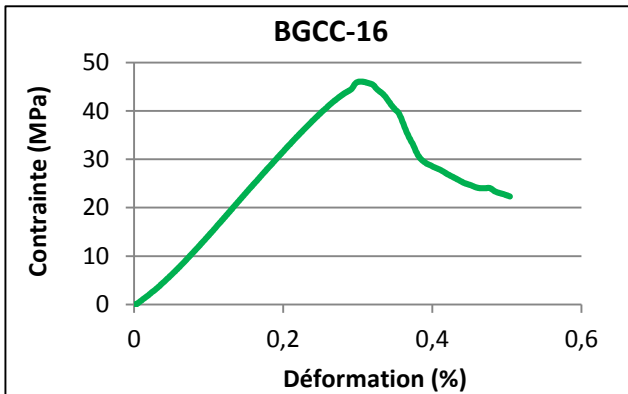


Figure III - 15 : Courbe Conainte – Déformation BGCC-16

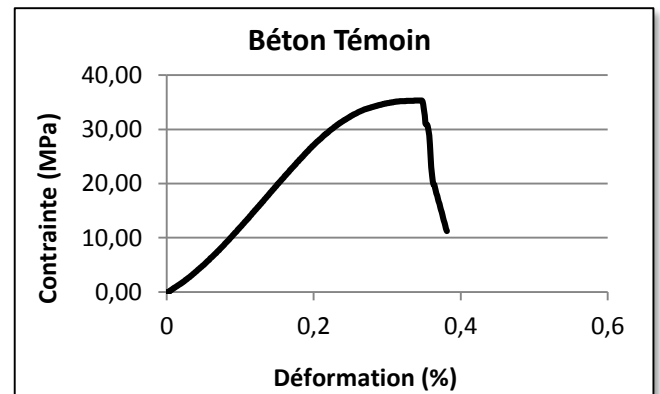


Figure III - 16 : Courbe Conainte – Déformation – Béton témoin

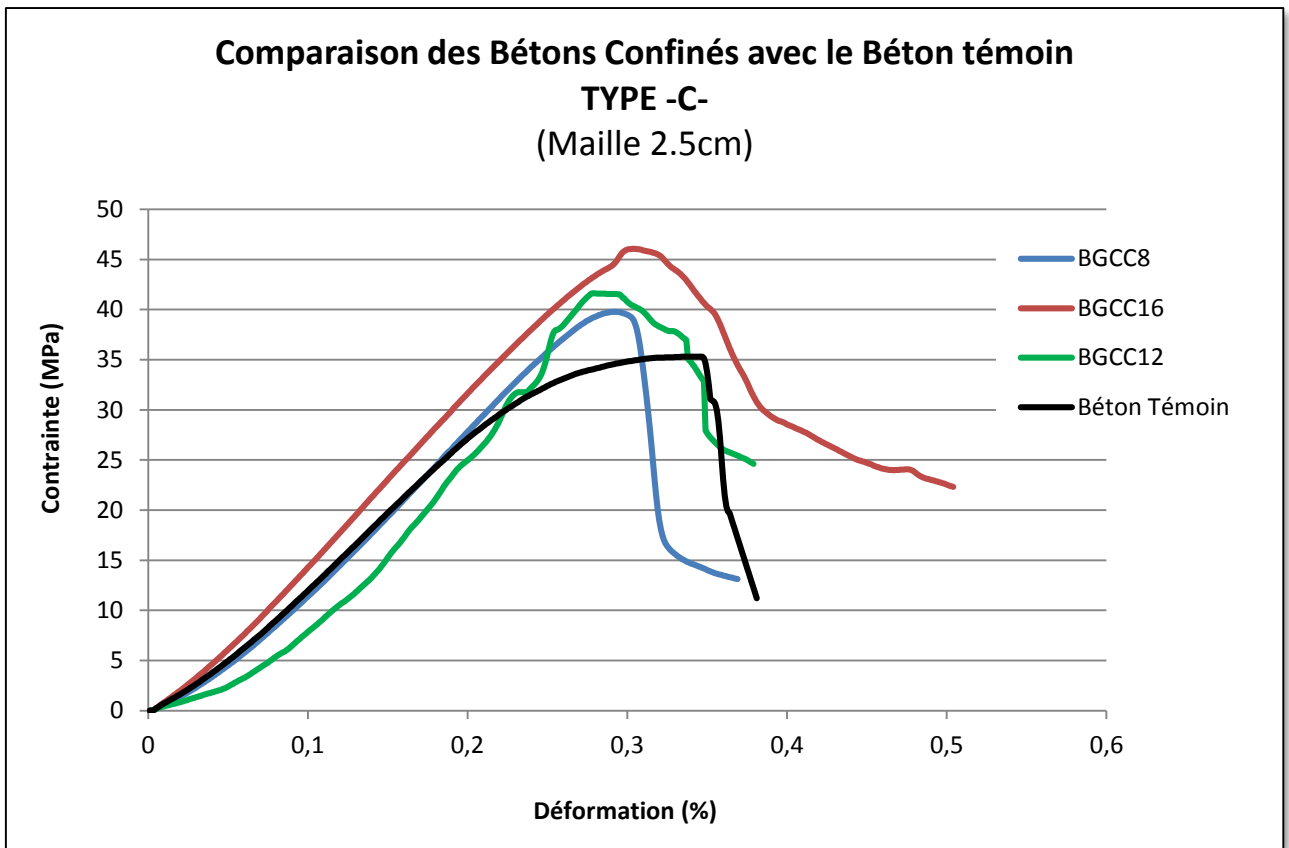


Figure III - 17 : Comparaison des bétons Confinés Type C avec le béton témoin

Données Clés :

- **Type - C -** : Maille de 2.5 cm
- **Résistances Moyennes :**
 - BGCC-08 : 39.78 MPa,
 - BGCC-12 : 41.61 MPa,
 - BGCC-16 : 46.05 MPa.

Interprétation :

- La résistance augmente encore par rapport au type B, indiquant l'impact bénéfique du maillage plus serré sur le confinement,
- Les courbes (Fig. correspondantes) montrent une meilleure tenue post-pic, signe d'une meilleure capacité d'absorption d'énergie,
- Le gain est plus visible pour les éprouvettes de diamètre plus important (BGCC-16).

III.2.2.4 Résultats des essais pour le Type - D :

Tableau III - 5 : Résultats des essais sur le béton Confiné – Type D

Item	Réf. Eprouvette	Date de coulage	Affaissement (cm)	Date d'écrasement (Age : 28 jours) Date	Résistance Moyenne (MPa)
31	BGCC-8 - 01	09/04/2025	6.9	07/05/2025	40.43
32	BGCC-8 - 02				
33	BGCC-8 - 03				
34	BGCC-12 - 01	13/04/2025	6.8	11/05/2025	42.55
35	BGCC-12 - 02				
36	BGCC-12 - 03				
37	BGCC-16 - 01	14/04/2025	7	12/05/2025	47.86
38	BGCC-16 - 02				
39	BGCC-16 - 03				

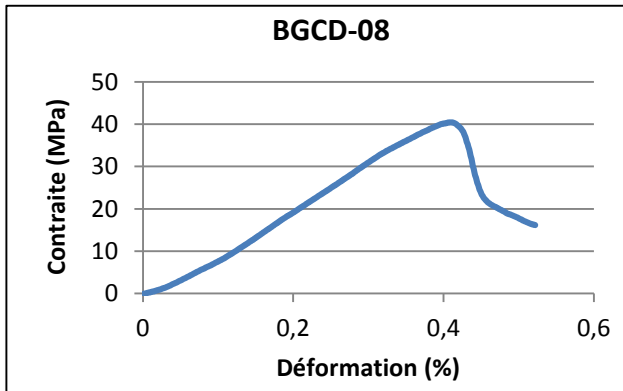


Figure III - 18 : Courbe Conainte – Déformation BGCD-08

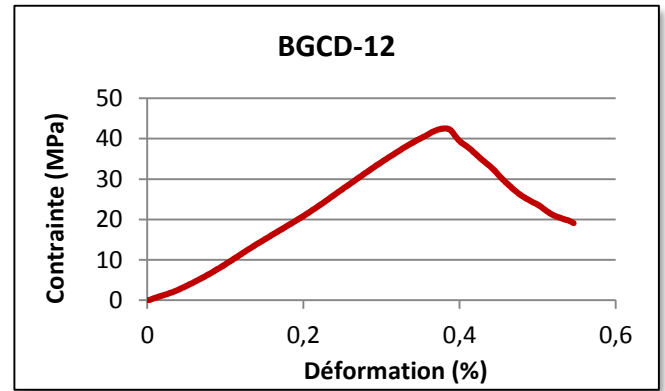


Figure III - 19 : Courbe Conainte – Déformation BGCD-12

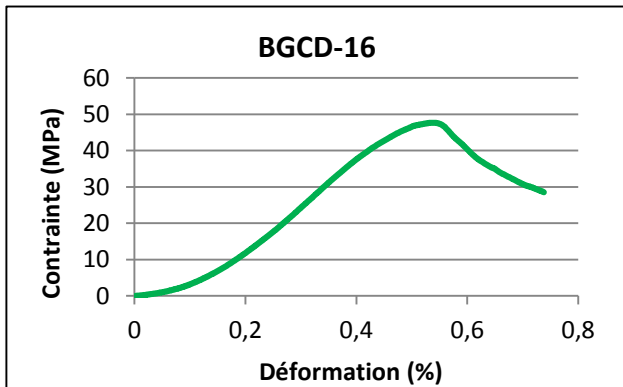


Figure III - 21 : Courbe Conainte – Déformation BGCC-16

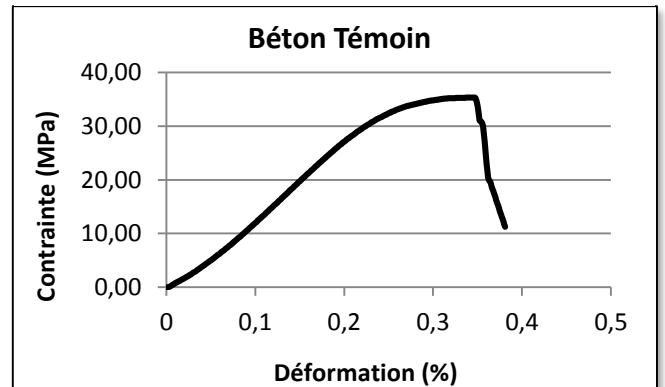


Figure III - 20 : Courbe Conainte – Déformation – Béton Témoin

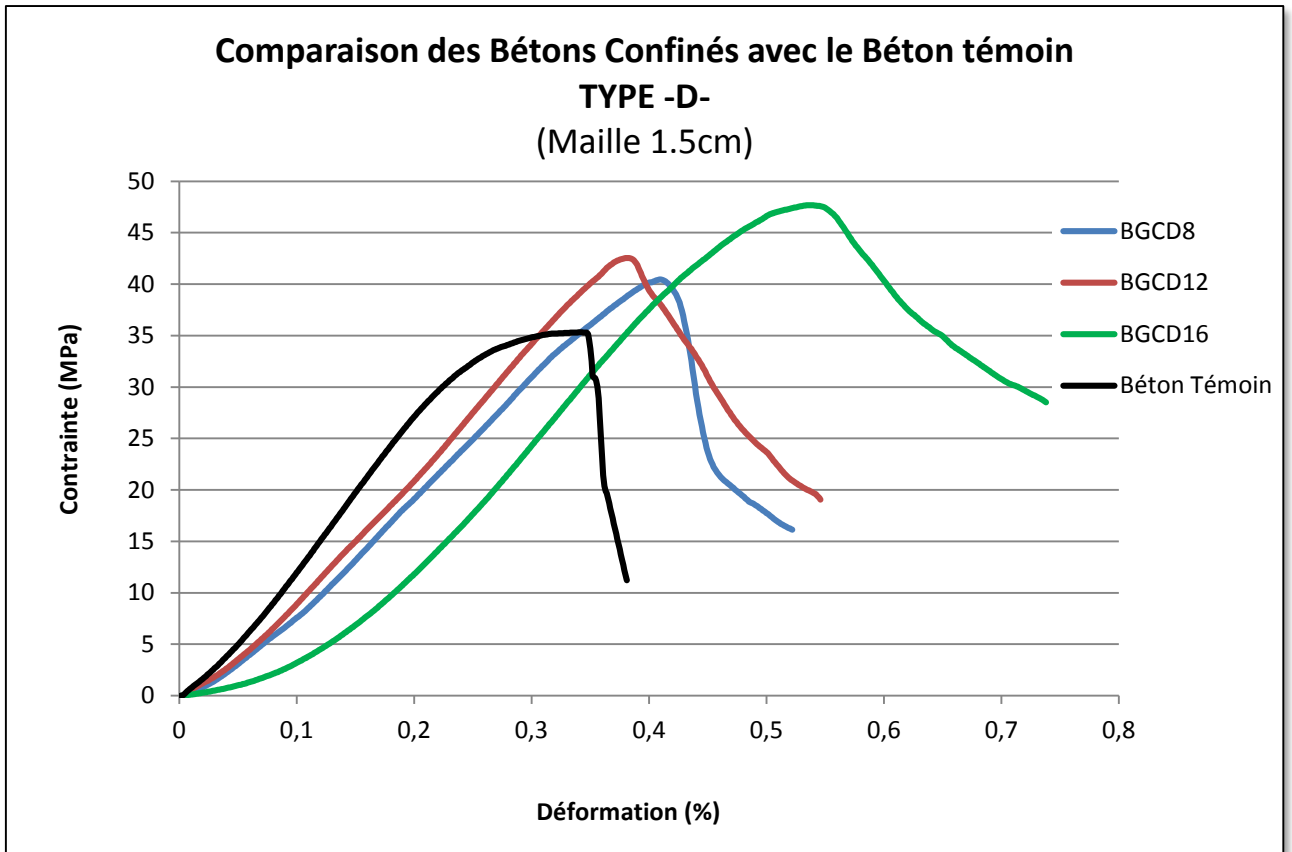


Figure III - 22 : Comparaison des bétons Confinés Type C avec le béton témoin

Données Clés :

- **Type - D -** : Maille de 1.5 cm
- **Résistances Moyennes :**
 - BGCD-08 : 40.43 MPa,
 - BGCD-12 : 42.55 MPa,
 - BGCD-16 : 47.86 MPa.

Interprétation :

- Le type - D - offre les meilleures performances mécaniques parmi tous les autres types,
- Les courbes (Fig. correspondantes) montrent une résistance élevée et une meilleure ductilité que les types précédents,

III.2.3 Influence de la dimension de la maille sur la résistance du béton :

III.2.3.1 Confinement Interne - Ø 8 :

Evolution de la contrainte Maximale en fonction du type de maille utilisée pour un confinement interne de diamètre Ø8.

Augmentation progressive de la contrainte avec la diminution de la dimension de la maille, passant de 35,38 MPa pour la A8 qui représente la maille 4cm à 40,43 MPa pour la D8 qui représente la maille 1,5 cm.

Tableau III - 6 : Influence Dim. Maille – Résistance Ø 8

Item	Maille		Contrainte (Mpa)
	Type	Dim.	
1	A8	4cm	36.37
2	B8	3cm	37.59
3	C8	2.5cm	39.78
4	D8	1.5cm	40.43

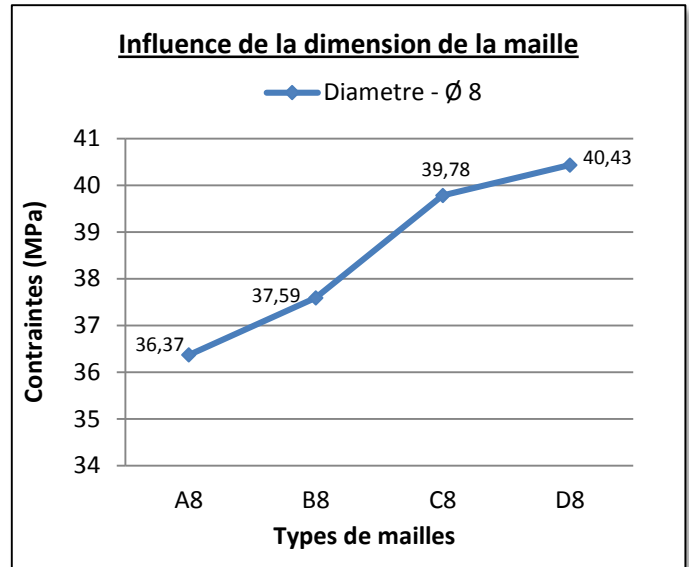


Figure III - 23

Influence de la dimension de la maille Ø 8 sur la résistance

III.2.3.2 Confinement Interne - Ø 12 :

Augmentation progressive de la contrainte avec la diminution de la dimension de la maille, passant de 37,50 MPa pour la A12 qui représente la maille 4cm à 42,55 MPa pour D12 qui représente la maille 1,5 cm.

Tableau III - 7 : Influence Dim. Maille – Résistance Ø 12

Item	Maille		Contrainte (Mpa)
	Type	Dim.	
1	A12	4cm	37.50
2	B12	3cm	38.13
3	C12	2.5cm	41.61
4	D12	1.5cm	42.55

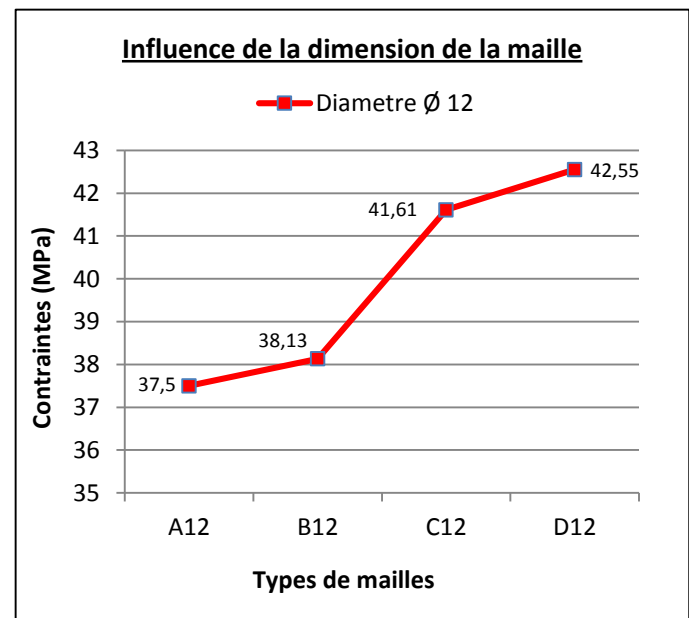


Figure III - 24

Influence de la dimension de la maille Ø 12 sur la résistance

III.2.3.3 Confinement Externe - Ø 16 :

Augmentation progressive de la contrainte avec la diminution de la dimension de la maille, passant de 42.04 MPa pour la A16 qui représente la maille de 4cm à 47.86 MPa pour la D16 qui représente la maille 1,5 cm.

Tableau III - 8 : Influence Dim. Maille – Résistance Ø 16

Item	Maille		Contrainte (Mpa)
	Type	Dim.	
1	A16	4cm	42.04
2	B16	3cm	45.32
3	C16	2.5cm	46.05
4	D16	1.5cm	47.86

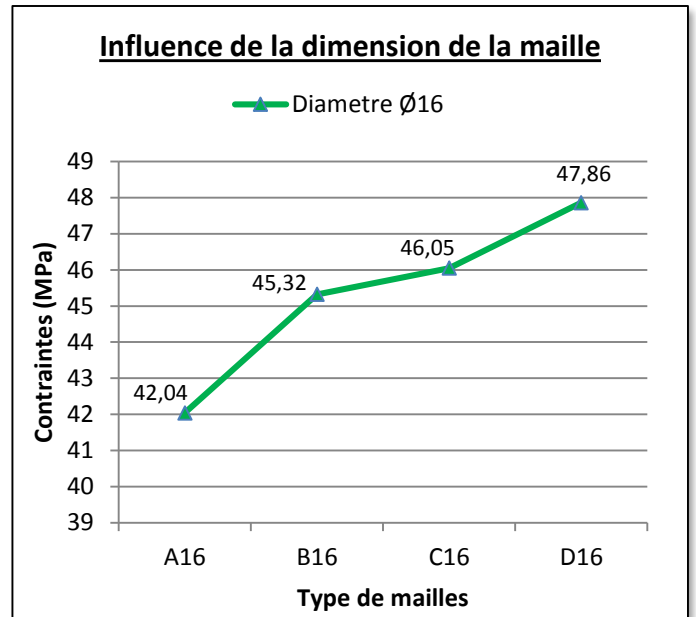


Figure III - 25

Influence de la dimension de la maille Ø 16 sur la résistance

III.2.3.4 Interprétation de l'influence de la dimension de la maille de confinement :

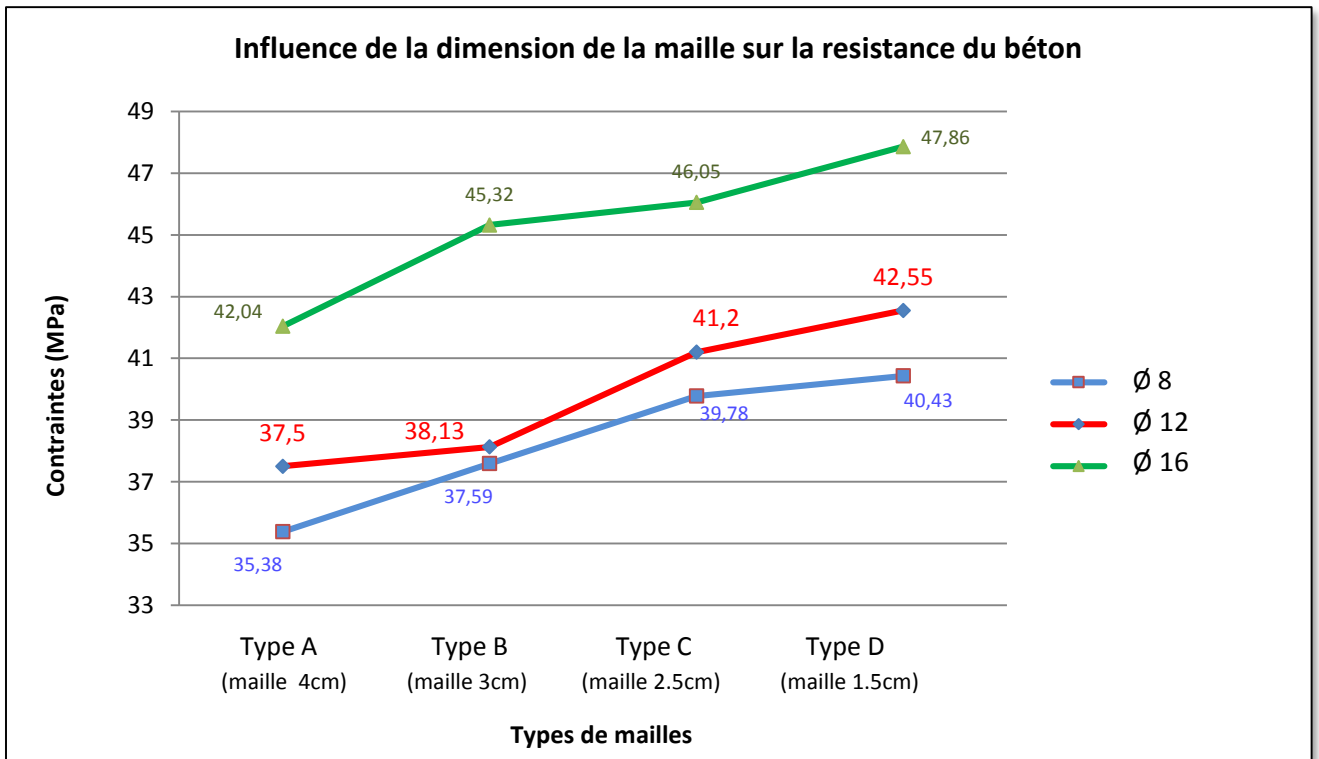


Figure III - 26 : Influence de la dimension de la maille sur la résistance du béton

Tous les bétons confinés présentent une résistance largement supérieure au béton non confiné,

Le comportement post-pic est aussi plus stable, ce qui est essentiel pour des structures soumises à des charges dynamiques ou sismiques,

La réduction de la maille améliore considérablement la résistance à la compression,

Cela s'explique par une limitation plus efficace des déformations transversales (effet cerclage), ce qui retarde la fissuration et prolonge la phase élastique.

III.2.4 Influence de la position de confinement sur la résistance du béton :

III.2.4.1 Type A (Maille de 04 cm) :

La résistance augmente clairement avec la taille de l'élément confiné. Le béton A16 présente une amélioration d'environ 19% par rapport à A8, ce qui démontre que le confinement est plus efficace lorsqu'il agit sur une plus grande surface

La courbe est ascendante et régulière et la maille est suffisamment large pour montrer une réponse progressive du béton confiné.

Tableau III - 9 : Influence position de confinement – Type A

Item	Position	Contrainte (MPa)
1	A8	36.37
2	A12	37.5
3	A16	42.04

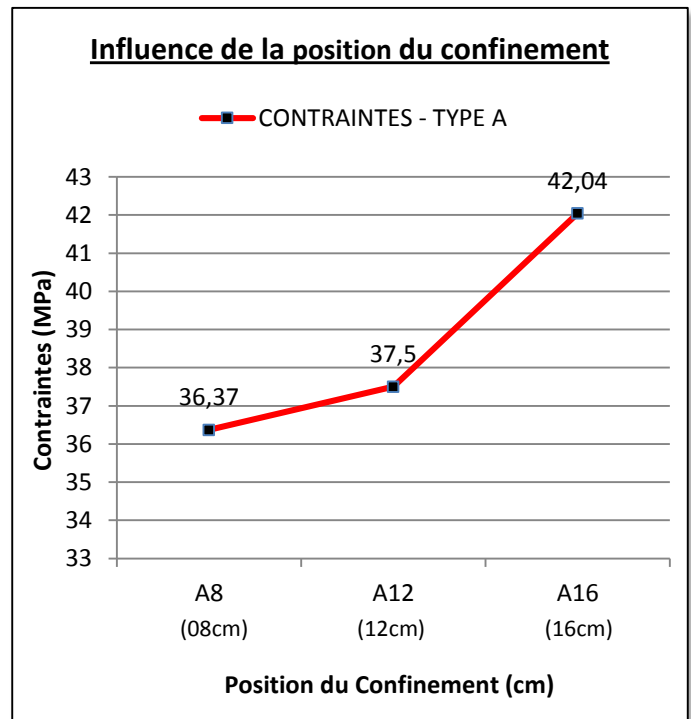


Figure III - 27 : influence de la position de confinement – Type A

III.2.4.2 Type B (Maille de 03 cm) :

La progression de la résistance reste notable,

La maille plus serrée (3 cm) par rapport au type précédent, améliore globalement la résistance dans toutes les positions, en particulier pour les grandes dimensions.

Tableau III - 10 : Influence position de confinement – Type B

Item	Position	Contrainte (MPa)
1	B8	37.59
2	B12	38.13
3	B16	45.32

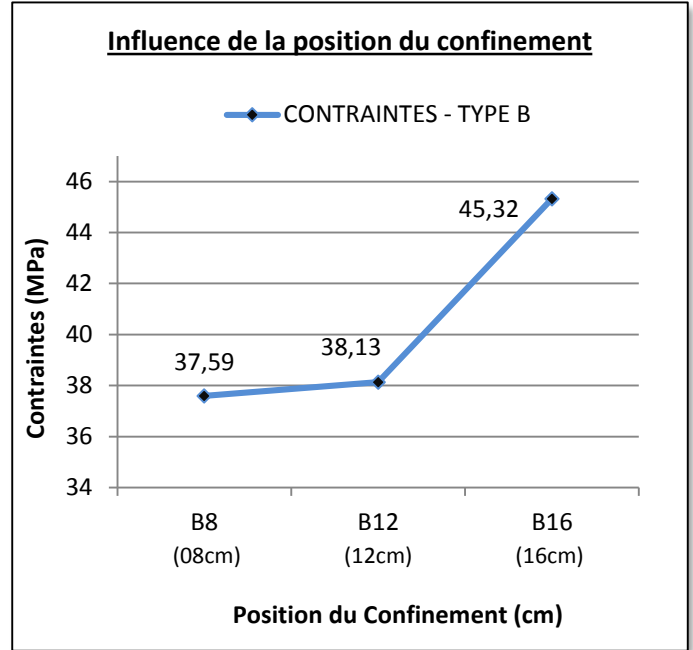


Figure III - 28 : influence de la position de confinement – Type B

III.2.4.3 Type C (Maille de 2.5 cm) :

Le type C montre les effets les plus linéaires avec une croissance constante et efficace de la contrainte.

Le maillage réduit permet une meilleure homogénéité de la contrainte, en contrôlant mieux les microfissures internes.

Ce type montre que le confinement très serré est performant quel que soit le diamètre, mais avec un gain renforcé à plus grande échelle (C16).

Tableau III - 11 : Influence position de confinement – Type C

Item	Position	Contrainte (MPa)
1	C8	39.78
2	C12	41.61
3	C16	46.05

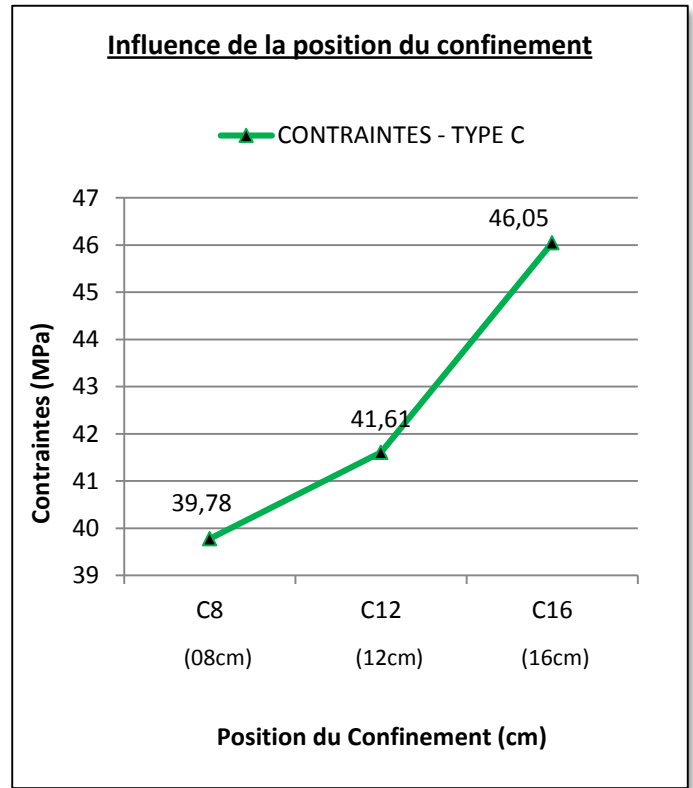


Figure III - 29 : influence de la position de confinement – Type C

III.2.4.4 Type D (Maille de 1.5 cm) :

C'est le type qui affiche les meilleures performances globales, et le plus grand écart entre D8 et D16,

Le confinement est le plus efficace à grande échelle, suggérant un rapport entre maillage serré (dimensions des vides des mailles) et configuration géométrique ou technique (Confinement intérieur/extérieur)

Tableau III - 12 : Influence position de confinement – Type D

Item	Position	Contrainte (MPa)
1	D8	40.43
2	D12	42.55
3	D16	47.86

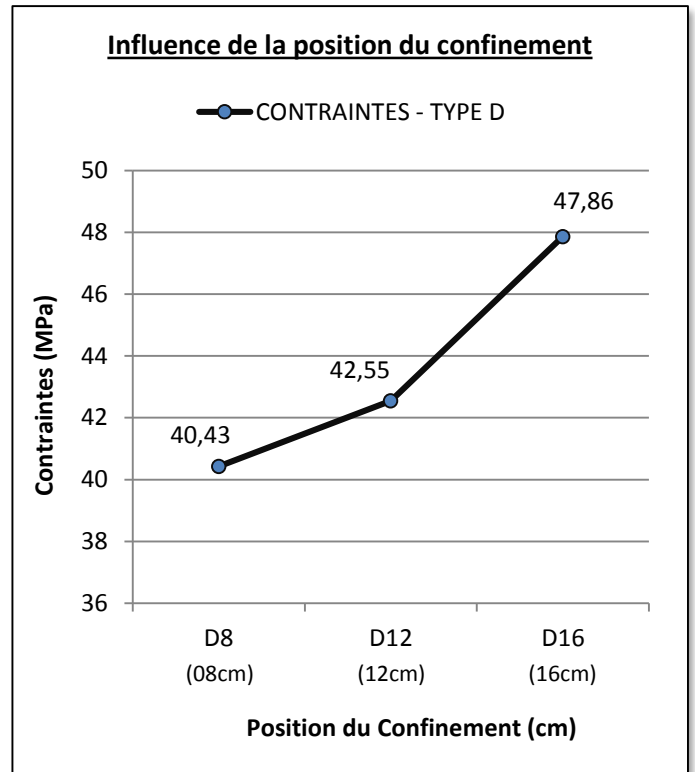


Figure III - 30 : influence de la position de confinement – Type D

III.2.4.5 Discussions Générale sur l'influence de la position de confinement sur la résistance du béton :

Pour tous les types (A – B – C – D), l'augmentation de la dimension confinée (de 8 cm à 16 cm) entraîne une hausse significative de la résistance à la compression.

Cela s'explique par une plus grande zone soumise au confinement, donc une réduction plus importante de la dilatation latérale, ce qui renforce la capacité de portance.

Et en Comparant entre les différents types :

- Type A (Maille 04cm) : montre une croissance plus lente,
- Type B (Maille 03cm) : apporte une amélioration intermédiaire,
- Type C (Maille 2.5cm) : présente un bon compromis entre efficacité et régularité.
- Type D (Maille 1.5cm) : combine tous les avantages et atteint les meilleures performances, surtout sur les éprouvettes les plus grandes.

Plus la section confinée est importante, plus le confinement est efficace, surtout si la configuration du maillage est optimisée.

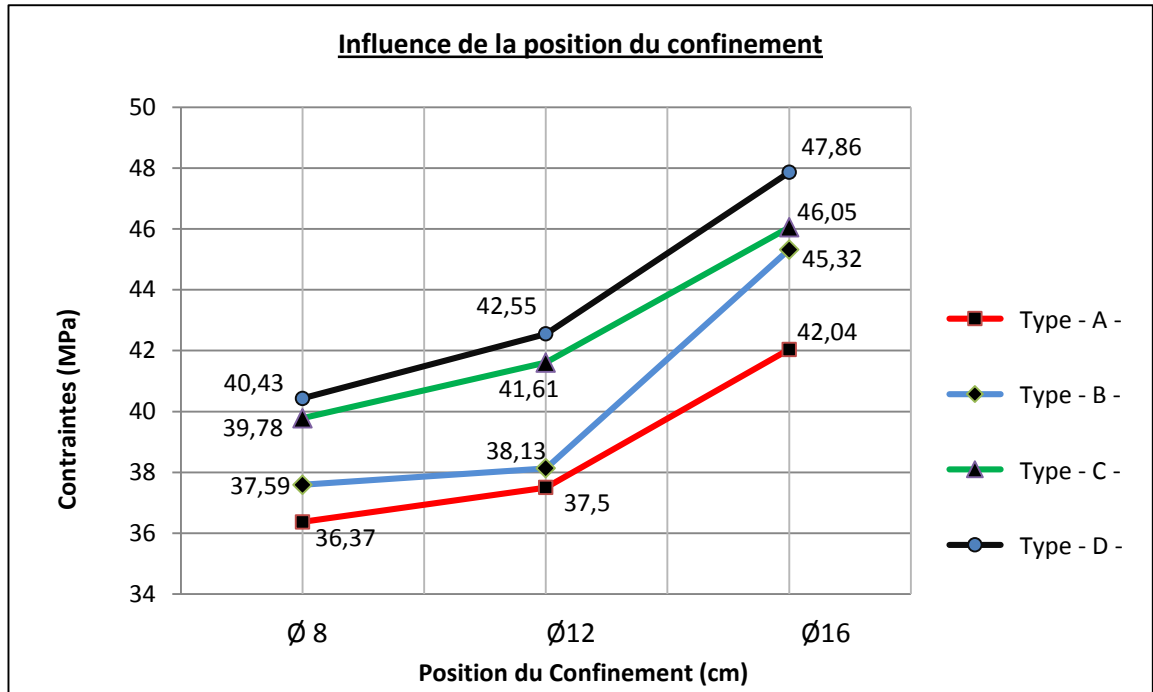


Figure III - 31 : Influence de la position du confinement

L'analyse des résultats met en évidence une forte corrélation entre la position du confinement (dimension de l'éprouvette) et la résistance à la compression du béton.

Plus la zone confinée est importante, plus la résistance augmente, indépendamment du type de maille. Toutefois, l'effet est amplifié avec un maillage plus serré.

Le type D, représentant une configuration renforcée ou combinée, confirme la supériorité d'un confinement bien réparti et sur une large zone.

Ces résultats soulignent l'importance de considérer la taille de la zone confinée comme paramètre de conception structurelle pour améliorer la ductilité et la résistance du béton armé.

III.2.4.6 Comparaison des performances mécaniques des bétons confinés et non confinés (Béton témoin) :

L'histogramme met en évidence une nette différence entre les bétons confinés et le béton non confiné (béton témoin) en termes de contraintes maximales supportées.

Les bétons confinés, quel que soit le type de maille utilisé, présentent des résistances supérieures à celles du béton témoin, avec des valeurs allant jusqu'à 47,86 MPa contre 35,99 MPa pour le béton non confiné.

Cette amélioration significative souligne l'efficacité du confinement dans l'augmentation de la capacité portante du béton. De plus, on observe que les différents types de mailles influencent également la résistance, les mailles plus serrées (type C et D) offrent des performances mécaniques supérieures.

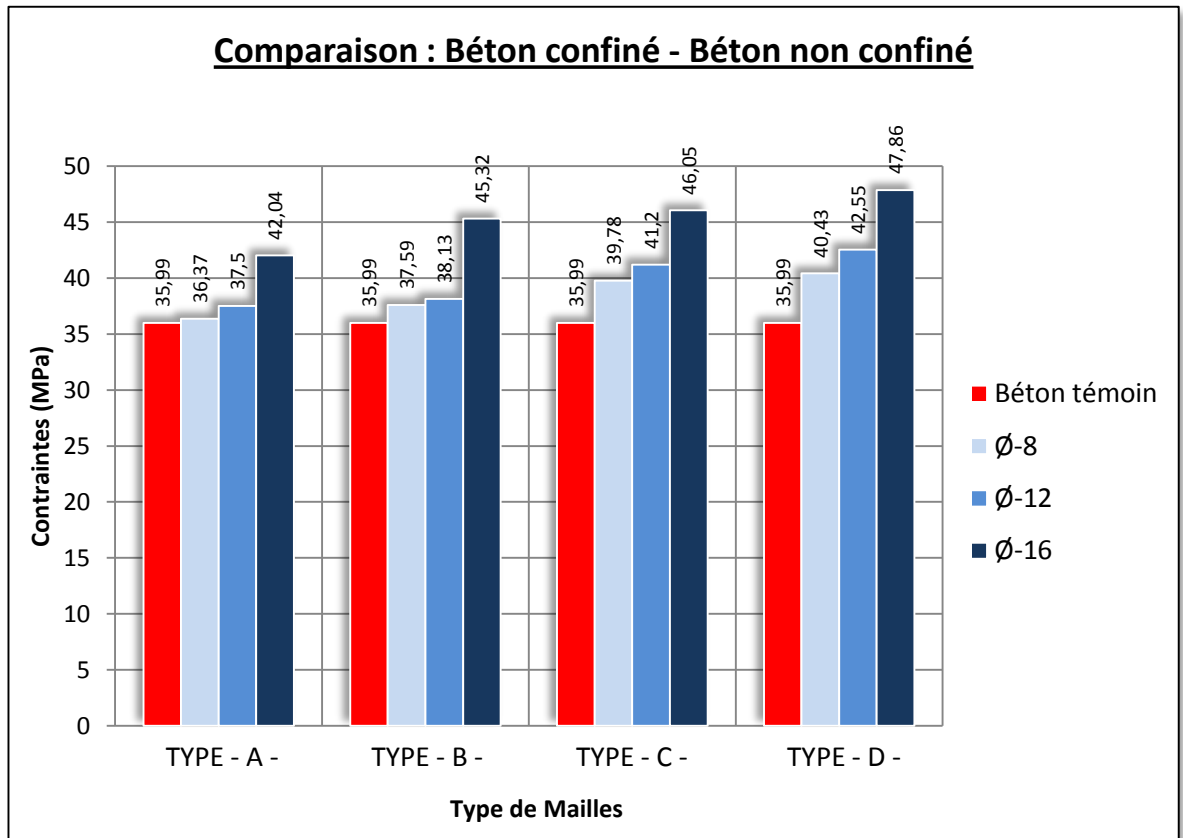


Figure III - 32 : Comparaison des bétons confinés et non confiné (Béton Témoin)

III.3 Modes de ruptures :



L'analyse des éprouvettes rompues lors de l'essai de compression axiale, nous permet de mieux évaluer l'apport de renforcement de l'éprouvette du béton par les différentes grilles (plastiques, métalliques et végétales) sur sa ductilité et sa résistance ainsi que son mode de rupture en visualisant les ouvertures des lèvres des fissures.

III.3.1 Rupture du Béton non confiné (béton témoin) :

Les éprouvettes du béton témoin (non confinées) ont toutes subies des ruptures normales de cisaillement associées à des degrés de fissuration plus ou moins importantes.

Une destruction presque totale de l'éprouvette du béton avec une forme de cône a été observée.

Et d'après les courbes contrainte-déformation, on constate une montée rapide, chute brutale (très peu de ductilité)

Eprouvette	Photo avant	Photo après
Béton Témoin		

III.3.2 Rupture du béton Confiné par grilles métalliques :

Les éprouvettes du béton confinées ont subies des ruptures qui diffèrent en fonction du type de maille et du diamètre du confinement.







Les bétons faiblement confinés (type A) présentent des ruptures localisées, souvent brutales, caractéristiques d'un comportement fragile.

En revanche, les éprouvettes fortement confinées (types C et D) montrent un comportement ductile, avec des fissures contenues et une bonne tenue même après la contrainte maximale.

Cela montre que le confinement n'augmente pas seulement la résistance, mais modifie aussi fondamentalement la manière dont le béton se rompt.







III.3.2.1 Confinement avec Grille de type A (Maille de 4cm):

Tableau III - 13 : Confinement avec Grille de type C (Maille de 2.5cm)

Eprouvette	Photo avant	Photo après	Mode de Rupture
BGCA-08			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistances faibles comparant avec les autres types : (36.37 MPa > 42.04 MPa)
BGCA-12			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fissures verticales localisées au centre. ▪ Éclatement partiel des parties non confinées.
BGCA-16			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maille trop large donne confinement peu efficace. ➤ Rupture localisée ou semi-fragile.







III.3.2.2 Confinement avec Grille de type B (Maille de 3cm):

Tableau III - 14 : Confinement avec Grille de type B (Maille de 1.5cm)

Eprouvette	Photo avant	Photo après	Mode de Rupture
<p>BGCB-08</p>			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistances un peu plus élevées: (37.59 MPa > 45.32 MPa)
<p>BGCB-12</p>			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Courbes : légère augmentation de ductilité ▪ Fissures verticales visibles mais mieux reparties. ▪ Maille commence à jouer un rôle de contention.
<p>BGCB-16</p>			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rupture généralisée avec contrôle partiel (semi-ductile).







III.3.2.3 Confinement avec Grille de type C (Maille de 2.5cm):

Tableau III - 15 : Confinement avec Grille de type C (Maille de 2.5cm)

Eprouvette	Photo avant	Photo après	Mode de Rupture
BGCC-08			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Haute Résistances ; (39.78 MPa > 46.05 MPa)
BGCC-12			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Courbes : montée lente, palier long, meilleure dissipation d'énergie ▪ Bombement modéré sur éprouvette Ø12. ▪ Maille joue un rôle de contention.
BGCC-16			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rupture contenue et ductile.

III.3.2.4 Confinement avec Grille de type D (Maille de 1.5cm):

Tableau III - 16 : Confinement avec Grille de type D (Maille de 1.5cm)

Eprouvette	Photo avant	Photo après	Mode de Rupture
BGCD-08			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Résistances un peu plus élevées: (40.43 MPa > 47.86 MPa)
BGCD-12			<ul style="list-style-type: none"> ▪ Courbes : très bonne tenue post-pic. ▪ Bombement bien maîtrisé. ▪ Maille commence à jouer un rôle de contention.
BGCD-16			<ul style="list-style-type: none"> ➤ Rupture d'écrasement axial (très ductile).

III.3.2.5 Résumé comparatif des modes de rupture :

Tableau III - 17 : Résumé comparatif des modes de rupture

Type	Maille	Résistance	Mode de rupture	Degré de ductilité
A	4 cm	Moyenne	Localisée / semi-fragile	Faible
B	3 cm	Moyenne +	Généralisée	Moyenne
C	2.5 cm	Haute	Contenue / ductile	Élevée
D	1.5 cm	Très haute	Écrasement axial, stable	Très élevée

III.4 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté et interprété l'ensemble des résultats expérimentaux obtenus à l'issue des essais mécaniques sur les différentes configurations de béton confiné.

L'étude comparative des types de confinement (A, B, C et D) a permis de démontrer l'influence significative de la géométrie du confinement, notamment la taille de la maille et la position du confinement sur la résistance à la compression du béton ainsi que sa ductilité.

Il a été constaté que la réduction de la maille et l'augmentation de la zone confinée ($\varnothing 16$ cm) améliorent nettement la résistance mécanique, ainsi que la ductilité du matériau.

Le type D, présentant un confinement renforcé, s'est révélé le plus performant, avec une rupture contrôlée et une excellente stabilité post-pic.

L'analyse des courbes contrainte-déformation a confirmé que le confinement contribue à retarder la rupture, à améliorer la dissipation d'énergie et à modifier le comportement global du béton de fragile à ductile.

Enfin, l'observation des modes de rupture a renforcé ces constats en montrant que les bétons faiblement confinés présentent des ruptures localisées, parfois brutales, tandis que les bétons correctement confinés maintiennent une bonne cohésion même après écrasement.

Ces résultats confirment l'intérêt du confinement dans l'optimisation du comportement mécanique du béton, en particulier dans les applications nécessitant sécurité, performance et durabilité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE :

Le présent travail de recherche avait pour objectif principal d'étudier l'effet du confinement sur le comportement mécanique du béton, en particulier sa résistance à la compression et son mode de rupture. Pour ce faire, plusieurs types de bétons confinés ont été élaborés, testés et analysés selon différentes configurations de maillage et de position de confinement.

L'analyse expérimentale a permis de mettre en évidence des résultats clairs : plus le confinement est resserré et bien réparti sur l'éprouvette, plus la résistance à la compression est élevée. De même, l'efficacité du confinement est renforcée lorsque la zone confinée est plus importante. Ces conclusions sont appuyées par les courbes contrainte-déformation et par l'analyse visuelle des modes de rupture, qui montrent une nette transition du comportement fragile vers un comportement ductile grâce au confinement.

Ce travail confirme donc l'intérêt structurel du béton confiné, non seulement pour augmenter la résistance du matériau, mais aussi pour améliorer sa stabilité et sa sécurité après rupture. Ces résultats peuvent être exploités dans le dimensionnement de structures en zones à forte sollicitation mécanique ou sismique, où la performance et la ductilité sont primordiales.

Pour aller plus loin, des études futures pourraient intégrer d'autres variables telles que la nature du confinement (fibre de verre, acier, polymères), le comportement en flexion, ou encore les effets à long terme, afin de proposer des solutions encore plus adaptées aux exigences du génie civil moderne.

En conclusion, et comme réponse claire à la question posée dans l'introduction générale ;

« Dans quelle mesure le confinement du béton par des grilles métalliques à mailles carrées peut-il améliorer ses propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression et la ductilité ? »

« La réduction de la maille et l'augmentation de la zone confinée ($\emptyset 16$ cm) améliorent nettement la résistance mécanique, ainsi que la ductilité du matériau ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] K. BENKACI, *Simulation numérique des cylindres en béton à base des déchets de verre confinés.*, UMMTO , 2019.
- [2] A. M. Neville, *Propriétés des bétons (5e éd.)*, Eyrolles., 2012.
- [3] M. Cheyrezy, *Histoire du béton armé : Des origines à nos jours.*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées., 1995.
- [4] J. Muller, *Le béton précontraint*, Eyrolles, 1992.
- [5] H. OKAMORA. & M. OUCHI, *Self-compacting concrete.*, Journal of Advanced Concrete Technology, 1(1), 5–15. <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>, 2003.
- [6] E. FERRIER, *comportement de l'interface composite-béton sous des sollicitations de fluage thermostimulé et en fatigue oligocyclique. Application au calcul prévisionnel de la durabilité de poutres BA renforcées.*, Lyon: Thèse de doctorat université Lyon1,, 1999.
- [7] B. BELKACEM & D. BENFERIDJE, *ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DES BETONS AUTOPLACANTS CONFINES PAR DES GRILLES COMPOSITES*, LAGHOUAT: Université Amar Telidji - Laghouat, 2019.
- [8] R. CALGARO & J. LACROIX, *Maintenance et réparation des ponts . Presses de l'Ecole Nationale des ponts et chaussées, pp.11-19., 1997,.*
- [9] M. N. FARDIS & H.H KHALILI, *RP-encased concrete as a structural*, Magazine of Concrete Research, Vol. 34, No. 121, pp. 191-202,, 1982.
- [10] Fatma.Taouche-Kheloui, *Modélisation du comportement à la fatigue - Thèse de doctorat en génie civil*, Tizi Ouzou: Université Mouloud Mammeri UMMTO, 2012.
- [11] W. H. XIAO Y, *Concrete stub columns confined by various types of FRP*, Hong Kong, China: international conference on FRP composites in Civil, 2001.
- [12] M. SAAFI, A. H. TOUTANJI et Z. and Li, «Behaviour of Concrete Columns Confined with Fiber Reinforced Polymer Tubes,» *ACI Materials Journal*, vol. 96, n° %104, pp. 500-509, 1999.
- [13] O. D. OULD AMROUCHE Massinissa, *INFLUENCE DE LA HAUTEUR DE LA ZONE CONFINÉE PAR DES COMPOSITES 'GFRP' SUR LA RESISTANCE DES CYLINDRES EN BETON*, Bouira: UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ DE BOUIRA, 2019.

- [14] L. MADOUNI, SIMULATION NUMERIQUE DES ÉLÉMENTS EN BETON CONFINÉS PAR DES GRILLES METALLIQUES, TIZI-OUZOU: Université Mouloud Mammeri TIZI-OUZOU, 2011.
- [15] J. F. George Dreux, nouveau guide du béton et de ses constituants, Edition eyrolles , 1998.
- [16] K. AIT RAHMANE, Analyse expérimentale du béton confiné par grille, Tizi Ouzou: UMMTO, 2017.
- [17] A. Boulafa, Etude de l'efficacité de renforcement par recouvrement en matériaux composites des colonnes en béton armé, Uniersité 08 Mai 1945 Guelma, 2012.
- [18] Afnor, *Béton - Partie 1 : Spécifications, Performances, production et Conformité*, Saint-Denis La Plaine Cedex: Association Française de Normalisation (AFNOR), 2002.
- [19] Afnor, *NF EN 12390-2 - Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance*, Association française de normalisation (Afnor), 2001.
- [20] G. Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants. ., Paris : Eyrolles, 1998.
- [21] R. Lanchon, Cours de laboratoire, Granulats, Bétons et Sols, Monge - Paris: Edition Casteilla, 1983.
- [22] N. T. Kadi Abdelghani, Méthodes de la formulation des bétons. (Etude Théorique), mémoire de fin d'étude, Diplôme du Master, Adrar: UNIVERSITE AHMED DRAIA D'ADRAR, 2019.
- [23] J.-C. S.-A. R.Dupain, Granulats, Sols, Ciments et Béton, Caracterisation des matériaux de Genie civil par les essais de laboratoire., Monge - Paris: Edition Casteilla , 2009.
- [24] R. Lanchon, Cours de laboratoire 2, Granulats, Bétons et Sols, Monge - Paris: Edition Casteilla, 1988.
- [25] P. K. MEHTA & PJM MONTIERO, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*., McGraw-Hill, 2014.
- [26] P. K. MEHTA & PJM MONTIERO, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (4th ed.)*., McGraw-Hill, 2014.