



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Amar Thelidji- Laghouat

FACULTÉ : GENIE CIVIL ET ARCHITECTURE

DÉPARTEMENT : GENIE CIVIL

MÉMOIRE DE MASTER

Présenté par : HANINI Mohamed EL-Mokhtar & DJELLOULI

Abdelkader

DOMAINE : Science et Technologies

FILIERE : GENIE CIVIL

OPTION : Structures

Thème

**Étude de l'effet de l'introduction des fibres métalliques sur
le comportement mécanique des éléments structuraux en béton
armé.**

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	qualité
Mr. MERAH Ahmed	Prof	Président
Mme BENMILOUD Meriem	M.A.A	Examinatrice
Mr. KROBBA Benharzallah	M.C.A	Rapporteur
Mr. BENGUIT Ammar	M.A.A	Co-rapporteur

Sessoin : Septembre- 2022

Remerciements

*Nous remercions premièrement avant tout Notre Dieu
Qui nous a donné le courage et la volonté de poursuivre
nos études*

*Nous remercions en second nos parents et nos familles,
qui ont sacrifiés leur vie pour notre bien*

*Nous remercions très vivement notre
encadreur Mr, KROBBA Benharzallah et co-encadreur
BENGUIT Ammar pour leur aide précieuse et leur
bon encadrement ainsi que*

*Nous remercions également le président et les membres
de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail.*

*Nous remercions tous les enseignants qui ont contribué
à notre formation.*

*Nous remercions aussi tous nos amis pour leur aide,
leur patience, leur compréhension et leur
encouragement.*

Dédicace

Je dédie cet humble acte à mes chers parents pour leur

Amour et leur sacrifice.

À mes frères et sœurs pour leur patience, leur soutien et

Leurs encouragements à mon égard.

A mon binôme Djellouli Abdelkader

A mes amis proches, amis d'études, et ceux avec qui j'ai

Partagé les souffrances du logement universitaire,

A tous ceux qui me connaissent de près ou de loin

HANINI.M.ELMOKHTAR.

Dédicace

Une dédicace, au plus cher et au plus proche de mon cœur

A l'âme de mon père le pur, et à ma chère mère, que Dieu

prolonge sa vie. Qui m'ont été d'aide et de soutien. A

celle qui a soutenu moi et suivi mes pas, ma chère épouse.

A mes frères, collègues, à mes professeurs de haut crédit

pour mes études, à tous ceux qui m'ont soutenu de près ou de

loin. A ceux qui pensent et recherchent pour faire avancer les

connaissances partout Je dédie cet humble travail et nous

demandons à dieu d'en faire un phare pour chaque étudiant

en savoir...

DjallOuli Abdelkader.



RESUME

ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استخدامًا في مجال البناء، لكنها تظل مادة هشة تحت تأثير قوى الأحمال العرضية (الزلازل والصدمات وما إلى ذلك). لهذا السبب، تم إجراء بحث في إطار هذه المذكرة لتحسين الخصائص الميكانيكية في الانحناء والضغط عن طريق إضافة ألياف في الخرسانة السائلة المكونة من نوعين من الحصى $8/3$ و $15/8$ ، ونوعين من الرمل ، رمال الكثبان و رمل الحجر الكلسي. في هذا السياق، هدفنا هو دراسة تأثير إضافة الألياف المعدنية على الخواص الميكانيكية للخرسانة. لهذا، بدأنا بدراسة تجريبية لتحديد تركيبة الخرسانة بدون ألياف ثم دراسة تأثير إضافة الألياف على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة وأخيرا قمنا بتحليل سكوني وديناميكي لمنشأة ذات 7 طوابق بالخرسانة المسلحة مع وبدون ألياف باستخدام برنامج روبات التحليلات الهيكلية المهني 2015

الكلمات المفتاحية : ألياف معدنية ؛ ضغط؛ الانحناء ؛ خرسانة الألياف ؛ الحساب الديناميكي

Abstract

Concrete is the most used material in the field of construction, but it remains a Brittle material under the effect of accidental load forces (earthquake, shock, etc.). For this reason, research that falls within the scope of this thesis has been carried out to improve the mechanical characteristics in bending and compression by adding fibers to a fluid concrete made up of two types of gravel $3/8$ and $8/15$, and two types of sand, sand of dune and limestone. At first part of the work, an experimental investigation was carried out to determine the optimal of the constituents of the concrete. In the second part, the effect of adding sisal fiber on the physical-mechanical properties of optimized concrete was assessed and finally a statistical and dynamic analysis of an R+7 reinforced concrete structure with and without fibers was carried out using the ROBOT structural analyzes Professional 2015 software.

Keywords: Metal fibers; Compressive strength; Flexural strength; Fiber-reinforced concrete; Dynamic study

Résumé

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de la construction, mais il reste un matériau fragile sous l'effet des efforts des charges accidentelles (séisme, chocs, ...). Pour cette raison, une recherche qui rentre dans le cadre de ce mémoire a été effectuée pour améliorer les caractéristiques mécaniques en flexion et en compression par l'ajout de fibres dans un béton fluide constitué de deux classes de gravier ($3/8$ et $8/15$), et deux types de sable (sable de dune et sable calcaire). Dans ce cadre, l'objectif de notre travail est d'étudier l'effet de l'introduction des fibres métalliques sur le comportement mécanique des éléments structuraux en béton armé. A cet effet, une première investigation expérimentale portant sur l'optimisation des constituants de béton témoin à été effectuée, ensuite l'effet d'adjonction des fibres sur les propriétés physico-mécaniques des bétons élaborés, et enfin une analyse statistique et dynamique d'une structure R+7 en béton armé avec et sans fibres a été réalisée à l'aide du logiciel ROBOT structural analyses Professional 2015.

Mots clés : Fibres métalliques ; Compression ; Flexion ; Béton de fibre ; Calcul dynamique

SOMMAIRE

REMIRCIMENTS

DEDICACE

RESUME

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
I.1 Généralité sur les fibres et les bétons de fibres :	3
I.2 Les fibres et les bétons de fibre	4
I.2.1 Les fibres.....	5
I.2.1.1 Les différents types de fibres	6
I.2.2 Choix et rôles des fibres dans le béton.....	11
I.2.3 Caractéristiques des fibres	13
I.2.4 Domaines d’application des fibres.....	14
I.3 Béton de fibre métallique.....	16
I.3.1. Différents types de fibres métalliques.....	16
I.3.2 Classification des fibres métalliques.....	17
I.3.2.1 Les fibres d’acier	17
I.3.2.2. Les fibres amorphes	17
I.3.3 Domaines d’application des fibres métalliques.....	18
I.3.4 Action des fibres métalliques dans le béton	18
I.3.5 Rentabilité et Inconvénients de l'utilisation des bétons de fibres	21
I.3.6 Applications des Bétons de fibres.....	22
I.4 Effet du dosage et de l’orientation des fibres d’acier dans le béton.....	24
I.4.1 Influence du dosage en fibres	24
I.4.2 Résistance à la flexion.....	25
I.5 Quelques exemples d’ouvrages construits en béton de fibres... ..	26
Conclusions.....	27

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

II.1 Introduction :	28
II.2 Les matériaux utilisés :	28
II.3- Caractéristiques des composants :	29
II.3.1 Sables:	29
II.3.1.1 Masse volumique absolue des sables :	29
II.3.1.2. Masse volumique apparente des sables :	30
II.3.1.3 Equivalent de sable :	31
II.3.1.4 L'absorption :	32
II.3.1.5 Analyse granulométrique:	33
II.3.1.6 Module de finesse:	36
II.3.2 Gravier:	37
II.3.2.1 Masse volumique apparente et absolue :	37
II.3.2.2 L'absorption :	37
II.3.2.3. Analyse granulométrique:	39
II.3.3 Ciment :	40
II.3.3.1 Caractéristiques chimiques	40
II.3.3.2 Caractéristiques physiques et mécaniques	41
II.3.4 Eau de gâchage :	41
II.3.5 Adjuvant :	41
II.3.6 Fibres :	42
Le tableau II.15 résume les résultats des formulations de béton avec et sans fibres..	43
II.4 Confection et conservation du béton :	44
II.4.1 Malaxage du béton	44

II.4.1.1 Béton témoin :	44
II.4.1.2 Béton avec fibres :	44
II.4.2- Confection et cure des éprouvettes:.....	44
II.4.3- Essais de caractérisation de béton :	45
CONCLUSION.....	48

CHAPITRE: RÉSULTATS DÉSUÉTUDES DYNAMIQUES ET COMPARATIVE

III -1) INTRUCTION.....	49
III.2 Caractéristiques des bétons utilisés	49
III.3.Présentation de l'ouvrage.....	52
III.4.Caractéristiques géométrique de l'ouvrage :	52
III.5.Conception structurelle :	52
III.5.1 Choix du système de contreventement :	52
III.5.2.Plancher :	53
III.5.3.Maçonnerie :	53
III.5.4.Escaliers :	53
III.5.5.Revêtement :	53
III.5.6.Acrotères :	54
III.5.7.Local d'ascenseur :	54
III.5.8.Balcons :	54
III.6.Pré dimensionnement.....	54
III .6.1 Pré dimensionnement des dalles :	54
III.6.1.1 Dalles en corps creux :	54
III.6.1.2 Dalles pleines (Les Balcons):.....	57
III.6.2.Pré dimensionnement des poutres :	57
III.6.2.1 Les poutres principales :	57
III.6.2.2 Les poutres secondaires :	58
III.6.3 les voiles :	58
III.6.4.Les escaliers :	60

III.6.5.Les poteaux :.....	61
III.6.5.1.Descente de charges :.....	61
III.7.L'étude du comportement dynamique des structures.....	64
III.7.1.Choix de la méthode de calcul (art 4.1 RPA99/2003 ; P33).....	64
III .7.1.1 Méthode statique équivalente (art 4.2 RPA99/2003).....	64
III.7.1.2.Méthode d'analyse modale spectrale (art 4.3 RPA99/2003).....	69
III.7.2 Modélisation de la réponse structurelle.....	71
III .7.3 Vérification des résultats vis-à-vis du RPA99/Version 2003.....	80
III.7.3.1. Vérification de la résultante des forces sismiques.....	80
III.7.3.2.Vérification des déplacements.....	80
III.7.3.3.Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble	85
III.7.3.4 Justification vis-à-vis de l'effet P- Δ : (art 5.9 RPA99/2003).....	88
III.8.Comparaison des résultats d'études.....	90
III.8.1 Les modes propres	90
III .8.1.1 Les périodes.....	90
III .8.1.2 Masses modales effectives.....	91
III .8.2 Les déplacements au sommet de la structure	92
III .8.3 Effet d'ajout des fibres sur l'effort tranchant total à la base de la structure :.....	94
Conclusion.....	95
CONCLUSION GÉNÉRALE	96
REFERNCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	98
ANNEXES	102

Liste des figures et des Photos

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I.1 : Modèle de composite à base de fibres	5
Figure I.2 : Courbes effort/déformation et examen des ruptures en flexion dans un béton sans fibres et dans un béton avec fibres métalliques	12
Figure I.3 : Différents types de fibres métalliques	16
Figure I.4 . Contrôle des fissures dans les bétons	19
Figure I.5 : Comportements fragile et ductile des bétons.....	20
Figure I.6 . Processus d'action des fibres dans le comportement du béton.....	20
Figure I.7 : Exemples de renforcement des éléments avec des BFM.....	23
Figure I.8 : Effet des fibres incorporées dans un béton sur son affaissement	24
Figure I.9 : Variation de la viscosité plastique avec le pourcentage des fibres incorporées.....	25
Figure I.10 : Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres	25
Figure I.11 : Influence du % de fibres sur la résistance à la flexion	26

LIST DES PHOTOS

Photo I.1 : fibres de bois	7
Photo I.2 : fibres animale.....	7
Photo I.3 Fibres d'amiante	8
Photo I.4 : Fibres de verre.....	9
Photo I.5 : fibre de carbone	9
Photo I.6 : les fibres PP, PVC, polyamide.....	10
Photo I.7 : Fibres Métallique.....	11
Photo I.8 : Exemples d'applications du béton de fibres	23

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Figure II.1. Configuration de l'essai d'équivalent de sable.....	32
Figure II.2 : Courbe granulométrique de différents types de sables.....	36
Figure II.3 : Courbe granulométrique des graviers.....	40
LIST DES PHOTOS	
Photo II.1 : Illustration des différents granulats utilisés.....	29
Photo II.2. Essai de Masse volumique apparente.....	30
Photo II.3. Essai équivalent de sable.....	31
Photo II.4. Essai L'absorption de sable.....	33
Photo II.5. Essai L'absorption de gravier.....	38
Photo II.6 Les éprouvettes.....	45
Photo II.7 Essai cône d'Abrams.....	45
Photo II.8 Presse d'écrasement à la compression.....	46
Photo II.9. Presse hydraulique.....	47

CHAPITRE III: RESULTATS D'ETUDES DYNAMIQUES ET COMPARATIVE

Figure III.1 Le dispositif utilisé pour déterminer le module d'élasticité.....	49
Figure III.2 Module d'élasticité des bétons élaboré.....	49
Figure III.3 Résistance à la compression des bétons élaborés.....	50
Figure III.4 Masse volumique des bétons élaborés.....	50
Figure III.5. Coupe verticale du plancher en corps creux.....	54
Figure III.6. Coupe du voile en élévation.....	58
Figure III-7: Coupe de voile en plan.....	58
Figure III.8. Schéma terminologie d'escalier.....	59
Figure. III.9. Poteau centrale le plus sollicité.....	61
Figure III.10. Structure en 3D.....	69
Figure III.11. Disposition des voiles.....	70
Figure III 12. Vue générale du modèle.....	70

Figure III 13. 1er mode	71
Figure III 14. 2éme mode	71
Figure III.15 : 3éme mode.....	71
Figure III 16. 1er mode	73
Figure III 17. 2éme mode	73
Figure III.18: 3éme mode.....	73
Figure III 19. 1er mode	75
Figure III 20. 2éme mode	75
Figure III.21 : 3éme mode.....	75
Figure III 22. 1er mode	77
Figure III 23. 2éme mode	77
Figure III.24 : 3éme mode.....	77
Figure III.25 courbes de période.....	90
Figure III.26 : La masse sismique de la structure direction xx : 9 modes.....	91
Figure III.27 : La masse sismique de la structure direction yy : 11 modes.....	91
Figure III.28 : Les déplacements au sommet de la structure dans la direction XX.....	92
Figure III.29 : Les déplacements au sommet de la structure dans la direction YY.....	92

Liste des Tableaux

CHAPITRE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1 : les caractéristiques mécaniques et physiques des fibres les plus utilisées.....	14
Tableau I.2 : domaines d'application privilégiée par type des fibres	15

CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX ET ETUDE EXPERIMENTALE

Tableau II.1. Résultat de la Masse volumique absolue.....	30
Tableau II.2. Résultat de la Masse volumique apparente	31
Tableau II.3. Résultat de l'essai d'équivalent de sable	32
Tableau II.4. Résultat de l'essai d'absorption d'eau des sables	33
Tableau II.5: Analyse granulométrique de sable calcaire (SC).....	35
Tableau II.6: Analyse granulométrique de sable dunaire (SD).....	35
Tableau II.7: Analyse granulométrique de sable alluvionnaire(SA).....	35
Tableau II.8: Module de finesse.....	36
Tableau II.9. Résultat des essais de la masse volumique apparente et absolue des graviers..	37
Tableau II.10. Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés	38
Tableau II.11: Analyse granulométrique de gravier 3/8 (G3/8).....	39
Tableau II.12: Analyse granulométrique de gravier 8/15 (G8/15).....	39
Tableau II.13- Caractéristiques chimiques du ciment.....	40
Tableau II.13- Propriétés physiques et mécaniques du ciment	41
Tableau II.14 : Composition typique du béton de fibres [ACI 544.3R-08].....	42
Tableau II.15. Composition des bétons étudiés/m ³	43
Tableau II.16 Propriétés mécaniques et physiques des bétons utilisés.....	47

CHAPITRE III: RESULTATS D'ETUDES DYNAMIQUES ET COMPARATIVE

Tableau III.1. Tableau récapitulatif.....	55
Tableau III.2. Epaisseur de voiles	59
Tableau III.3 Équation de charge en termes de Br	62
Tableau III.4. Estimation des sections droites... ..	62
Tableau III-5: détermination du facteur de qualité Q.....	65
Tableau III.6 valeur W_{Total} donnée par logiciel ROBOT	65
Tableau III.7 Résumé des résultats la période fondamentale.....	67
Tableau III.8 résultats La force sismique sens X.....	67
Tableau III.9 résultats La force sismique sens Y.....	68
Tableau III 10: Modes propres de la structure	72
Tableau III 11: Modes propres de la structure	74
Tableau III 12: Modes propres de la structure	76
Tableau III 13: Modes propres de la structure	78
Tableau III-17. Vérification des déplacements. (Sens x-x).....	81
Tableau III.18. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)	81
Tableau III-19. Vérification des déplacements. (Sens x-x).....	82
Tableau III.20. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)	82
Tableau III-21. Vérification des déplacements. (Sens x-x).....	83
Tableau III.22. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)	83
Tableau. III-23: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)...	84
Tableau III.24 vérification les résultats	84
Tableau. III-25: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)...	85
Tableau III.26 vérification les résultats	85
Tableau. III-27: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)...	85
Tableau III.28 vérification les résultats	86

Tableau III-29: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)...	86
Tableau III.30 vérification les résultats	86
Tableau III.31: Vérification des effets P- Δ	87
Tableau III.32: Vérification des effets P- Δ	88
Tableau III.33: Vérification des effets P- Δ	88
Tableau III.33: Vérification des effets P- Δ	89
Tableau III .35 valeur des périodes.....	90



INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale

Le béton est le matériau le plus utilisé dans les constructions en béton armé, mais sont parfois soumises à des sollicitations extrêmes telles que des chocs et des séismes, dont les conséquences peuvent être désastreuses. Les raisons à de tels dommages sont multiples. Lorsque les sollicitations sismiques sont importantes, le manque de ductilité dans les structures rend les ruptures fragiles prépondérantes.

Eviter des ruptures fragiles est un des objectifs de toute conception en béton armé. Ce type de rupture est encore plus fréquent dans le cas d'un béton de résistance élevée, du fait que la ductilité est inversement proportionnelle à la résistance. Cependant, avec l'amélioration de ses propriétés mécaniques, ce matériau devient fragile et explosif, et donc moins ductile à la rupture. Un tel comportement fragile du béton est particulièrement troublant dans les régions sismiques et peut causer des dégâts importants en vies humaines et en infrastructures, même en présence d'armatures de confinement. En conséquence, la réduction de la vulnérabilité au séisme du bâti devient un souci majeur.

Les bétons renforcés de fibres métalliques (BFM) connaissent, à ce jour, peu d'applications dans le domaine des éléments de structure. Les fibres métalliques ajoutées au béton frais rendent le matériau béton durci plus ductile et plus déformable. Ces fibres permettent la couture des fissures formées dans la matrice fragile du béton et à confiner leur développement, rendant le matériau durci plus apte à se déformer et donc à absorber de l'énergie.

Pour bénéficier pleinement des avantages de ce matériau telles que l'augmentation de sa résistance à la compression, de sa résistance à la traction et de sa résistance au cisaillement, même si l'augmentation de ces deux dernières ne sont pas en proportion avec la première, la ductilité du matériau béton doit être améliorée.

En couturant une fissure, les fibres absorbent partiellement la force de traction et donc le béton fissuré ne perd pas complètement sa résistance à la traction après fissuration. Une résistance de traction résiduelle est maintenue dans le béton contenant des fibres après fissuration, contrairement au béton ne contenant pas de fibres.

Le sable est l'un des composants du béton, leur effet sur les caractéristiques du béton à l'état frais et à l'état durci constitue un facteur très important. Plusieurs types de sable de propriétés et de natures différentes sont disponibles en Algérie tel que le sable des dunes, le sable calcaire et le sable alluvionnaire.

L'utilisation du sable des dunes ainsi que celui obtenu suite au concassage de roches calcaires pour la confection de mortiers ou de bétons offre une opportunité pour la préservation des sables alluvionnaires dont l'exploitation effrénée nuit de façon très sensible à l'environnement et constitue une contribution technique, économique et environnementale importante.

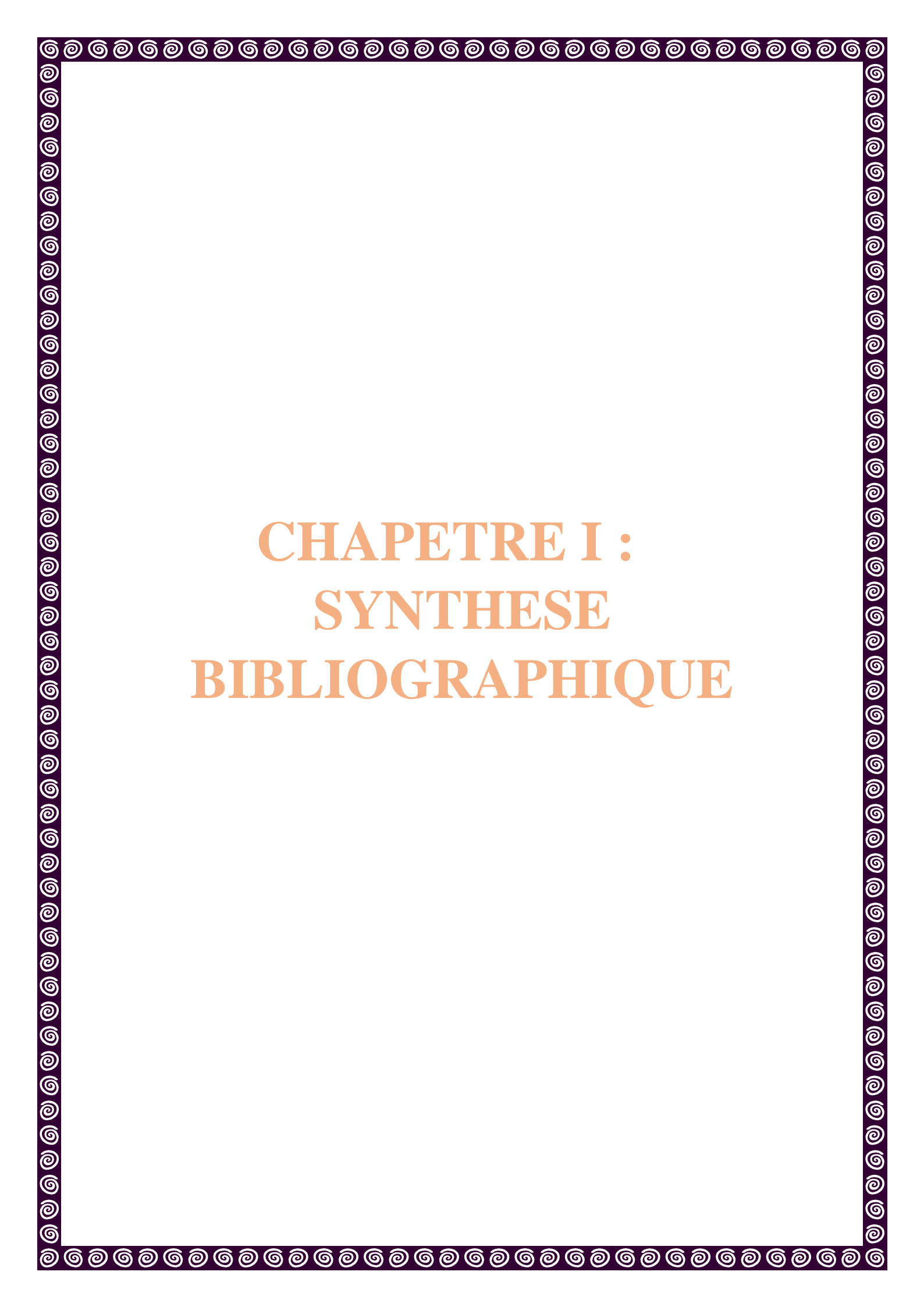
De ce qui précède, l'objectif de ce travail de recherche est d'étudier l'effet de l'introduction des fibres métalliques sur le comportement mécanique des éléments structuraux en béton armé à base de sable dunaire-calcaire.

Pour atteindre cet objectif, le présent travail permet de mettre en évidence les aspects positifs de l'ajout de fibres métalliques au béton sous sollicitations dynamique et statique. La modélisation a été réalisée par un logiciel d'analyse des structures en béton armé (ROBOT structural analyses Professional 2015).

Notre mémoire est subdivisée en trois chapitres :

1. Le premier chapitre est consacré à une revue bibliographique sur le béton fibré.
2. Le deuxième chapitre est dédié à la caractérisation des matériaux et le matériel utilisé.
3. Le troisième chapitre traite les résultats obtenus et leur interprétation.

Le mémoire se termine par une conclusion générale qui synthétise le travail de recherche effectué.



CHAPETRE I :
SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Généralité sur les fibres et les bétons de fibres :

Historique

L'idée de renforcer un matériau fragile à l'aide de fibres de différentes natures, n'est pas nouvelle dans l'histoire, l'homme a toujours essayé de rendre les matériaux de construction plus résistants et plus durables pour faire face aux conditions difficiles de la nature. Le plus vieil écrit probablement, traitant d'un tel matériau composite, se trouve dans le passage du livre de l'Exode chapitre 5: 6-7: "Le jour même, Pharaon donna cet ordre aux surveillants du peuple et aux scribes : Ne continuez plus à donner de la paille hachée au peuple pour mouler les briques comme hier et avant-hier; qu'ils aillent eux-mêmes ramasser la paille qu'il leur faut".

A cette même période approximativement 1500 ans avant J.-C., la colline de "Aqar Quf", haute de 57 m près de l'actuelle Bagdad fut construite à l'aide de briques cuites au soleil et renforcées de paille. Ainsi l'utilisation de fibres d'amiante "Asbestos fibre" ou de nature différente telle que, paille, roseaux, poils des chevaux pour le renforcement de matériau peut remonter à plus de 4000 ans. C'est ainsi que la paille était utilisée autrefois pour renforcer les briques de terre, les poils de chevaux pour renforcer le mortier de chaux et la filasse pour renforcer le plâtre. Plus récemment, les fibres d'amiante mélangées aux pâtes de ciment ont connu des utilisations dans le domaine de la construction, particulièrement après la 2ème guerre mondiale où les besoins en construction étaient énormes. Cette amiante ciment a été mise en application pour la première fois vers 1910 [1].

Bien que des fibres aient été employées en matériaux de construction depuis longtemps, la première utilisation des fibres d'acier dans le béton s'est produite en 1910, lorsqu'Harry Franklin Porter (USA) montra que l'ajout de clous d'acier dans le béton, améliore considérablement sa résistance à la traction [2]. En 1914, William Ficklin (USA) introduit des copeaux métalliques dans un béton pour améliorer sa résistance à l'usure et à la fissuration et obtint le premier brevet [3]. Vers 1960, le béton renforcé de fibre d'acier a commencé à se développer à un rythme accéléré. Les quatre dernières décennies marquent un développement expansif et moderne.

Le vrai point de départ des recherches sur les bétons fibrés date de 1963 avec les travaux de Romualdi (USA), sur l'arrêt de la propagation des fissures dans une matrice par des fibres

Réparties [4]. Quelques années plus tard, en 1969, des premiers essais sur un béton de fibres de verre sont réalisés chez Wilmington en Grande Bretagne. L'année suivante, des essais sur un béton de fibres d'acier ont aussi démarré chez Bekaert [5]

De nombreux travaux et applications ont eu lieu sur le béton de fibres depuis son développement. Cependant, l'objectif principal de ces dernières décennies a été de concevoir un matériau renforcé de façon homogène et ayant un comportement isotrope. C'est ainsi que l'insertion de fibres discontinues dans la matrice cimentaire a très vite été la voie à de nombreuses recherches [6]. Il faut souligner qu'un renforcement sous forme de fibres distinctes ne peut pas être utilisé en remplacement direct d'une armature d'acier conventionnelle dans les pièces en béton armé et précontraint. Les fibres, en effet, sont moins efficaces que les armatures conventionnelles à taux d'acier équivalant face à des contraintes structurelles bien définies pour lesquelles les approches de conception des structures permettent de concentrer la section d'acier aux endroits critiques.

Avec la disponibilité progressive de fibres de diverses natures, le rêve qui a commencé il y a plus d'un siècle, pour mélanger des fibres dans le béton au même titre que le sable et le gravier est réalisable et aboutit à un béton structural. Enfin, à chaque fois que l'utilisation d'un béton de haute résistance est d'actualité, il faudra analyser de manière très approfondie, la solution fibres métalliques. En effet, les fibres métalliques et le béton de haute résistance constituent un couple idéal, dans lequel il existe une très forte synergie [7].

I.2 Les fibres et les bétons de fibre

Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées" (figure I.1). Alors que la matrice béton a pour rôle de diffuser les efforts, les fibres ont pour rôle principal la compensation des défaillances de la matrice et de suppléer la perte de résistance en traction de la matrice au droit d'une fissure. Les fibres sont des éléments discontinus, de nature variable, répartis uniformément dans la matrice et ayant une orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres permettent l'arrêt et la couture des fissures améliorant ainsi le comportement post-fissuration du béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et la macro-fissuration. Elles ont de plus, la capacité de transférer les charges, dès lors qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée [8].

La distribution homogène des fibres dans le béton est donc la condition principale pour pouvoir parler d'un béton renforcé uniformément, avec les mêmes caractéristiques dans tous les points de la matrice.

Par ailleurs, les fibres constituent une sorte de granulat filiforme gênant l'assemblage optimal du squelette des granulats. La géométrie des fibres, leur dosage, ainsi que la mise en place du matériau frais, sont des paramètres affectant très fortement le comportement global du matériau durci [9].

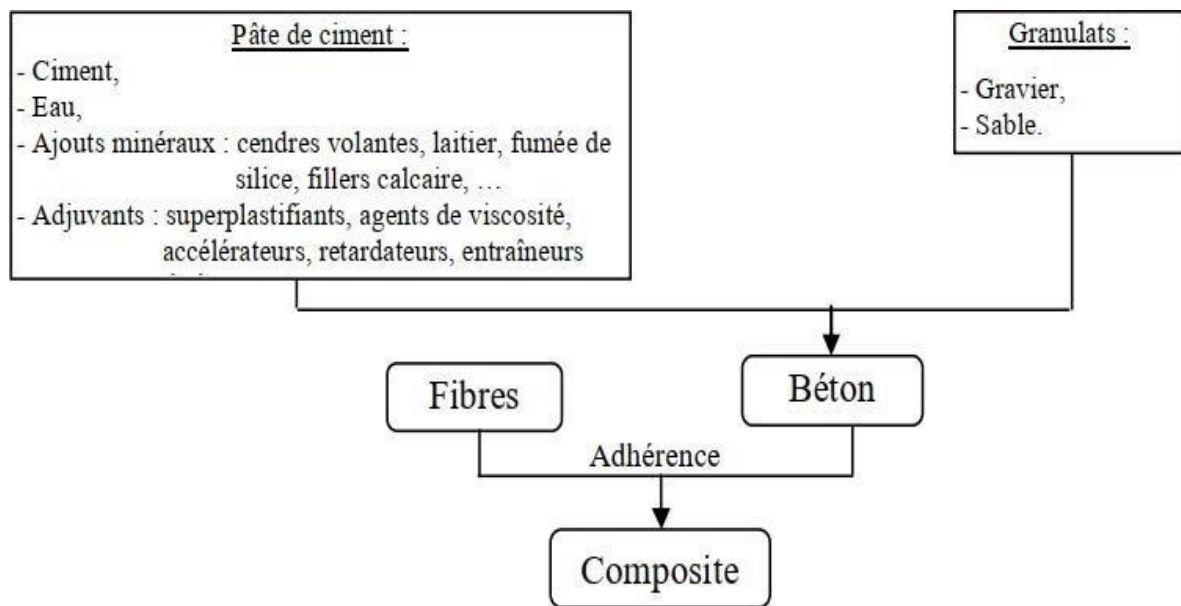


Figure I.1 : Modèle de composite à base de fibres [9]

I.2.1 Les fibres

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un

Choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite [9]

I.2.1.1. Les différents types de fibres

Au fil des années, des fibres de toute nature ont été expérimentées pour renforcer des bétons et des mortiers. La compatibilité chimique avec la pâte de ciment, et les caractéristiques mécaniques sont les qualités à atteindre des fibres. Les fibres sont classées selon leur origine (synthétiques, naturelles ou artificielle), leurs dimensions (macro ou microfibrilles), leur forme (ondulée, droite, ... etc.) et leurs propriétés mécaniques. Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces massives, renforcement de pâte pure de matériau de béton, réparation de structures, etc.), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leur prix. Plusieurs types de fibres ont fait leur preuve dans le renforcement du béton et on peut distinguer principalement celles qui sont citées ci-dessous. [10]

A. Fibres naturelle

Contrairement aux fibres minérales, les fibres naturelles sont des fibres organiques d'origine végétale ou animale (Figure 2-1). Dans l'industrie des composites, les fibres naturelles sont très intéressantes car non seulement elles possèdent des propriétés mécaniques conformes aux applications du génie civil, mais elles permettent aussi la revalorisation des ressources agricoles locales de fibres naturelles. De plus, leur très faible densité peut diminuer le poids des structures et ceci est un élément clé dans l'utilisation de PRFN. Une étude de Ticoalu et al. en 2010 fait le point sur l'utilisation des polymères à renfort de fibres naturelles (PRFN), montrant leurs usages en tant que poutres, toitures, citernes ou encore en ponts pour piétons [11]

A.1 Fibres végétales :

La fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent aussi à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sortes de fibres végétales : les fibres provenant des poils, les fibres du liber, et les fibres extraites des troncs de certaines graminées. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois) [12]



Photo I.1 : fibres de bois

A.2 Fibres animales :

Les fibres animales sont composées principalement de protéines. La kératine constitue les poils (dont les laines en tout genre) et les plumes. La soie est une sécrétion de fibroïne produite par le ver à soie, chenille d'un papillon du genre bombyx et les araignées. La laine et les plumes sont des très bons isolants pour la construction. [13]



Photo I.2: fibres animale

B. Fibres minérales

B.1 Fibres d'amiante :

Ces fibres sont considérées comme les renforcements les plus anciens des matrices cimentaires et aussi pour la confection de tissus résistants aux feux. Elles sont en fait des bâchettes de microfibres extrêmement fines, difficilement fusibles (vers 1500°C) et ont l'avantage d'être inattaquable par les ciments. Elles Possèdent une excellente tenue au feu. Une bonne résistance a la traction et un module d'élasticité élevé. Elles sont aussi plus résistantes aux agressions chimiques et aux micros organisme, ainsi que leur résistance électrique élevée. Les fibres d'amiante sont utilisées dans les applications suivantes : voiles, tuyaux, panneaux, matériaux d'isolation thermique et protection contre le feu, tuyaux d'égout, plaque de toitures plates et ondulées, revêtements de mur [14]



Photo I.3 : Fibres d'amiante

B.2 Fibres de verre :

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 trous d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100µm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12, et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types : La fibre de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre de verre au borosilicate [15]



Photo I.4: Fibres de verre

B.3 Fibres de carbone :

Le carbone est très dispendieux ce qui le rend beaucoup moins populaire que le verre moins disponible sur le marché, les fibres de carbone sont cependant reconnues comme étant les fibres les plus performantes. Les types de fibres de carbone sont classés selon leurs propriétés mécaniques.

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection. Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très intéressantes.

[16]



Photo I.5 : fibre de carbone

C. Fibres organique :

C.1 Le polyamide :

Qui représente la famille la plus importante des plastiques par leur tonnage. Le résiste mal aux acides minéraux.

C.2 Le polychlorure de vinyle (PVC) :

Est une matière thermoplastique obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle. Le PVC résiste bien aux acides et aux alcalis.

C.3 Le polypropylène (PP) :

Est un thermoplastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylènes dans le cas d'un homopolymère et d'une altération contrôlée de motifs propylène et éthylène dans les copolymères. Le PP résiste bien aux alcalis et aux acides.



Photo I.6 : les fibres PP , PVC , polyamide

L'adhérence fibre-béton est généralement faible, du fait qu'il n'y a aucune liaison chimique possible entre les fibres et la matrice, ce qui limite la reprise des efforts par les fibres à l'interface fibre-matrice après la fissuration de la matrice. Par contre, il faut noter l'excellente résistance de ces fibres (PVC, PP) vis-à-vis aux acides, aux sels et alcalins du béton [16]

D. Les fibres métalliques

Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été resté encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du

Béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interrassiale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits à la nombreuse variété de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets. [17]



Photo I.7: Fibres Métallique

I.2.2 Choix et rôles des fibres dans le béton

Le choix des fibres dépend de l'usage recherché (pièces minces massives, renforcement de pâte pure de matériau de béton, réparation de structures ...), de leurs propriétés (résistance et module plus ou moins élevés, adhérence plus ou moins bonne...) de leur disponibilité et de leur prix. Actuellement plusieurs natures de fibres sont utilisées, les qualités indispensables qu'elles doivent présenter sont les suivantes [18] :

- Pouvoir adhérer parfaitement à la pâte de ciment.
- Avoir une bonne résistance à la traction.
- Ne pas risquer d'être attaquées par le milieu basique du ciment.
- Ne pas se dégrader dans le temps et conserver leurs qualités propres.

- Ne présenter aucun danger pour la main d'œuvre qui les manipule.
- Ne pas avoir d'incidence excessive sur le cout du béton.

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité.

- Transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes
- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures.

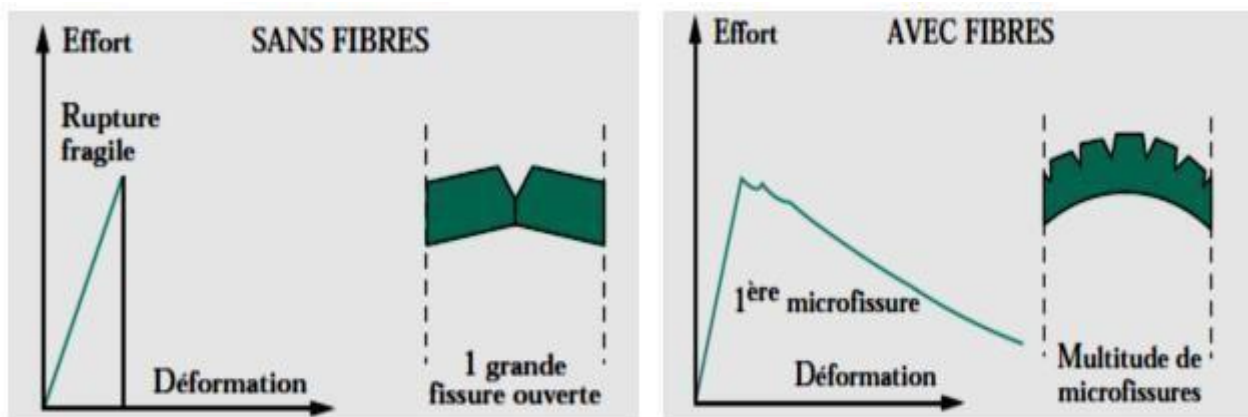


Figure I.2 : Courbes effort/déformation et examen des ruptures en flexion dans un béton sans fibres et dans un béton avec fibres métalliques [19]

Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- l'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire ;
- l'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration ;
- la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge ;
- la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur) ;
- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion ;

- l'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion [20]

I.2.3 Caractéristiques des fibres

Chaque type de fibre présente des caractéristiques et des propriétés, dimensions (diamètre et longueur), formes (fils lisses, crantés, ondulés, etc.), résistance mécanique (traction), durabilité dans la matrice cimentaire. Pour améliorer les performances mécaniques des bétons, les fibres doivent avoir une bonne capacité de déformation, c'est –à-dire posséder un module d'élasticité plus élevé que la matrice béton. Elles doivent être relativement longues et fines, flexibles sans être fragiles pour éviter leur destruction lors du malaxage, faciles à incorporer et sans danger pour la main d'œuvre. Leur forme ou leur état de surface doit faciliter l'accrochage afin de bien adhérer à la pâte de ciment. Sans oublier leur prix de revient doit rester raisonnable pour un dosage le plus faible possible. La résistance en traction est parmi les principales caractéristiques améliorées. Cette amélioration dépend de l'adhérence des fibres dans le sens des contraintes. C'est la forme de la fibre et son état de surface qui sont responsable de la qualité de l'adhérence. Le dosage, la dispersion des fibres, aléatoire ou orientée dans une direction préférentielle, fixent l'aptitude du béton à résister à des efforts bien déterminés.

L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange (formation d'oursins), créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité. Comme les fibres sont éparpillées au hasard dans le béton ; toutefois, si les fibres soient alignées dans la direction des contraintes en service, on obtient de meilleures résistances en traction et en flexion [21]

Tableau I.1 : les caractéristiques mécaniques et physiques des fibres les plus utilisées[21]

Fibres	Diamètre (μm)	Long (mm)	Densité	R_t MPa	$E \cdot 10^3$ MPa	Allongement à la rupture en %	Coef de dilatation ($\mu\text{/m}$)	R_{feu} Temps Max C°
Acier	5 -500	20-80	7.8	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte (ruban)	36x2600 de section	50-60	7.8	2500	140	1	-	1500
Verre	5 -20	40-70	2.6	1500-3000	80	2-3.5	9	800
Polyprop ylène	10 - 200	25-75	0.9	400-750	5-10	15-25	90	150
Polyster	-	-	1.4	700-850	8	11-13	-	-
Amiante	0.02-20	5	2.5-3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
carbone	5 - 9	Variable	1.7-2	2000-3000	250- 400	0.5-1.5	-	400- 1500
Sisale	10 - 50	1 - 50	1.5	-	130	3	-	-

I.2.4 Domaines d'application des fibres

La recherche et le développement ont permis d'appliquer un concept de renforcement structural à différents types d'ouvrages en béton. De par leurs propriétés, les fibres trouvent un vaste domaine d'applications où il faut réduire les risques de fissuration, augmenter la résistance aux impacts et tirer parti de l'amélioration de la performance du béton pour optimiser le dimensionnement des ouvrages. Le béton fibré est utilisable dans tous les domaines du génie civil, aussi bien dans les constructions industrielles, commerciales et institutionnelles que résidentielles. [22].

Tableau I.2 : domaines d'application privilégiée par type des fibres. [23]

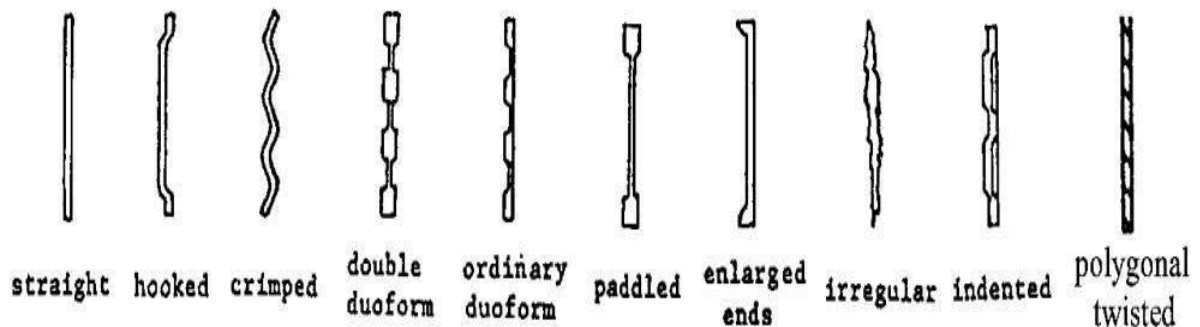
<i>Domaines d'application privilégiés par type de fibres</i>			
<i>Type de fibres</i>	<i>Dosage courant</i>	<i>Domaine d'application privilégié</i>	<i>Exemples d'application</i>
<i>Fibres métalliques</i>	0,5 à 2 % en volume 40 à 160 kg/m ³	Renfort pour bétons structurels et armature structurelle	<ul style="list-style-type: none"> - Dallages, sols industriels, planchers, dalles de compression - Éléments préfabriqués - voussoirs de tunnels, poutres, conteneurs, tuyaux - Bétons projetés en travaux souterrains, stabilisation de pente et ouvrages d'assainissement - Pieux de fondation, semelles filantes
<i>Fibres polypropylène</i>	0,5 à 2 % en volume 0,5 à 2 kg/m ³	Limitation de la fissuration liée au retrait Amélioration de la tenue au feu des bétons	<ul style="list-style-type: none"> - Dallage - Voussoirs de tunnels - Revêtement d'ouvrages souterrains - Mortiers projetés - Parements esthétiques
<i>Fibres de verre</i>	1 à 2 %	Réalisation d'éléments préfabriqués très minces	<ul style="list-style-type: none"> - Parements architectoniques - Panneaux de façade - Éléments décoratifs

- ✓ Ici, on s'intéressera davantage aux fibres métalliques et plus particulièrement aux fibres d'acier.

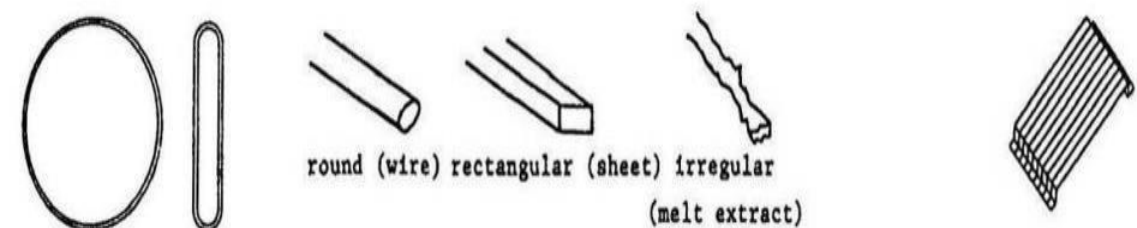
I.3. Béton de fibre métallique

I.3.1. Différents types de fibres métalliques

Il existe de nombreuses variétés de fibres métalliques qui se distinguent par leur diamètre, leur section (ronde, carrée), leur limite élastique, leur longueur. Elles peuvent être rectilignes, crochetées, ondulées, tronquées, embouties ou en boucle figure 1.2 [24]



(a) Formes des fibres métalliques



(b) Fibres en boucle

(c) Sections des fibres

(d) Fibres accolées en paquets

Figure I.3 : Différents types de fibres métalliques [25]

La plupart du temps, les fibres sont évaluées par le biais du rapport d'élanement (L/d). Comme La majorité des études sur le béton renfort de fibres concluent qu'une augmentation du rapport d'élanement d i o r e les propriétés du béton, la tendance générale est donc d'opter pour une fibre longue et de faible diamètre sans se soucier des autres caractéristiques des fibres. Le rapport d'élanement est toutefois trompeur pour les fibres d'acier, car beaucoup d'entre elles sont déformées aux extrémités, ce qui contribue à l'amélioration des propriétés mécaniques sans pour autant affecter le rapport d'élanement. L'efficacité des différents types d'ancrage varie beaucoup selon la géométrie.

I.3.2 Classification des fibres métalliques

Les fibres métalliques peuvent être classées selon plusieurs catégories. Selon le matériau de base de leur fabrication, on peut distinguer quatre groupes [26]:

- Groupe I : Fil tréfilé à froid
- Groupe II : Acier laminé découpé
- Groupe III : Extrait de fonte amorphe
- Groupe IV : Autres

Afin d'améliorer l'ancrage, les fibres métalliques peuvent être soit droites, soit déformées et il est possible de distinguer les fibres :

- A crochets
- Ondulation
- Extrémités élargies
- Autres

I.3.2.1 Les fibres d'acier

Conformément à la norme française NF EN 14889-1, [26]. les fibres d'acier sont des éléments droits ou déformées provenant de fil étiré à froid raboté, de tôle découpée, d'extraits de coulée, ou de blocs d'acier fraisés. Les fibres d'acier se rencontrent sous diverses formes, soit par leur mode de fabrication et on distingue les fibres copeaux de faible longueur, les fibres tréfilées, soit par les modes de traitement destinés à améliorer l'ancrage ou l'adhérence, comme les fibres ondulées ou crantées, les fibres déformées aux extrémités, les fibres aux extrémités écrasées en «tête de clou », etc.[27]. Sur le marché, les fibres d'aciers les plus courantes ont des longueurs de 30 à 60 mm avec des diamètres de 0.4 à 1 mm ; quelquefois elles sont traitées contre la corrosion ou sont en acier inoxydable. Certaines d'entre elles, en acier

doux écroui, d'une longueur de 25 à 60 mm, sont encollées par paquets de 10 à 30. Leur dispersion dans le malaxeur s'opère aisément et rapidement en évitant la formation d'oursins (ou boules de fibres).

I.3.2.2. Les fibres amorphes

Les fibres amorphes, appelées souvent les fibres de fonte, se présentent sous forme de rubans souples, coupés en longueur de 15 à 40 mm. Leur largeur est comprise entre 0.5 et 3 mm pour des épaisseurs de 20 à 40 microns. Ce ruban est obtenu par trempe d'un jet de métal liquide

sur une roue en rotation à grande vitesse. Cette technique permet d'obtenir des rubans extrêmement minces. L'état amorphe de l'alliage et sa composition (teneur en chrome > 5 %) confèrent à ces fibres une bonne résistance à l'attaque par les acides et les chlorures. Plusieurs recherches, ont montré que la résistance à la flexion du béton renforcé de fibres de fonte ductile est indépendante de la longueur des fibres incorporées. Par contre, la résistance à la compression est légèrement augmentée par l'emploi de fibres de fonte courtes en raison d'une meilleure homogénéité du composite, [28].

I.3.3 Domaines d'application des fibres métalliques

Sur le marché européen, le béton renforcé de fibres métalliques(BRFM) est arrivé sur dans la seconde moitié des années 70. A cette époque, il n'existait aucune norme ou recommandation, ce qui freinait le développement de cette nouvelle technologie. Pourtant, le BRFM commençait à être utilisé dans différents ouvrages de travaux publics, revêtements de tunnels, mines, dallages, dalles sur pieux, éléments préfabriqués, etc.

Initialement, les fibres métalliques étaient utilisées pour se substituer à un renforcement secondaire, ou pour limiter les fissures dans les sections les moins critiques des ouvrages. Aujourd'hui, les fibres métalliques sont largement utilisées comme renforcement principal et unique des dallages industriels et des produits en béton préfabriqué. Des études ont montré que les fibres métalliques sont également utilisées dans les structures garantissant la durabilité et la

faisabilité des constructions, notamment dans les ouvrages suivants :

- ❖ Renforcement des pieux de fondation
 - ✓ le renforcement des dalles sur pieux ;
 - ✓ le remplacement intégral des cages d'armatures standard pour les voussoirs préfabriqués de tunnel
- ❖ renforcement des caves et radiers de fondation
 - ✓ le renforcement des tuyaux préfabriqués
 - ✓ le renforcement en cisaillement des éléments de construction précontraints.

I.3.4. Action des fibres métalliques dans le béton

Depuis que le béton de fibres a été conçu, de nombreux travaux ont montré que l'insertion de fibres métalliques dans une matrice de béton permet d'augmenter les

Caractéristiques mécaniques, comme la résistance à la compression ou la résistance à la flexion du composite résultant. Cependant, ce type de béton n'est pas considéré comme un substitut aux bétons traditionnels, mais comme un matériau nouveau qui devient intéressant pour la conception de structures performantes. Avec de faibles dosages en fibres (exemple 1% en volume), les bétons de fibres obtenus présentent des performances intéressantes. De plus, leur

coût est relativement bas au regard de certaines applications spécifiques.

Au fil des ans, des recherches, [28] ont montré que le rôle principal des fibres métalliques dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- ✓ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la figure 3.
- ✓ La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (figure 4).

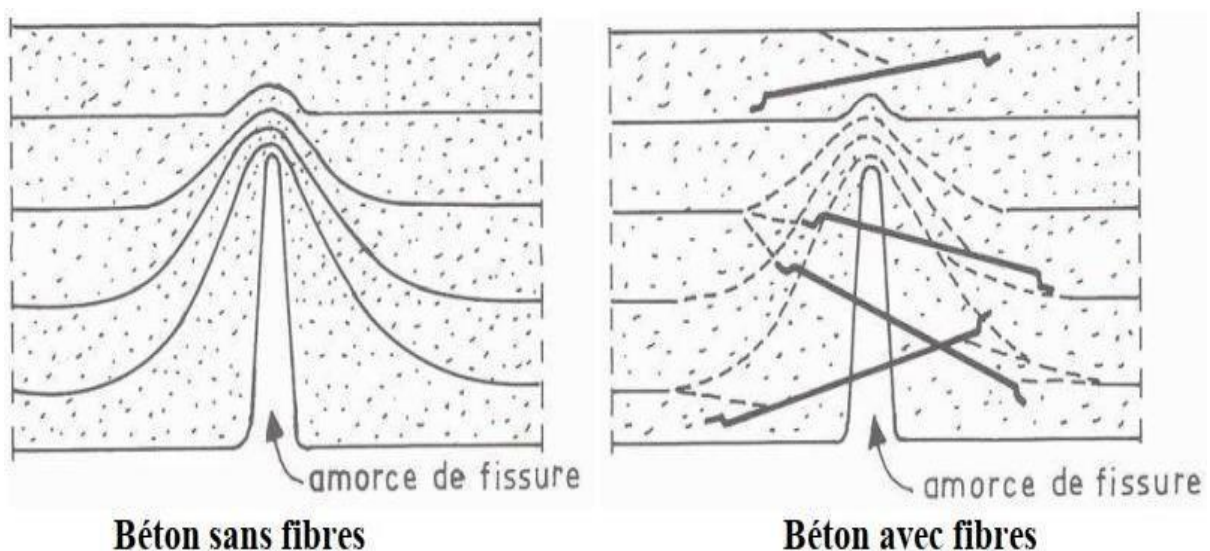


Figure I.4. Contrôle des fissures dans les bétons[28]

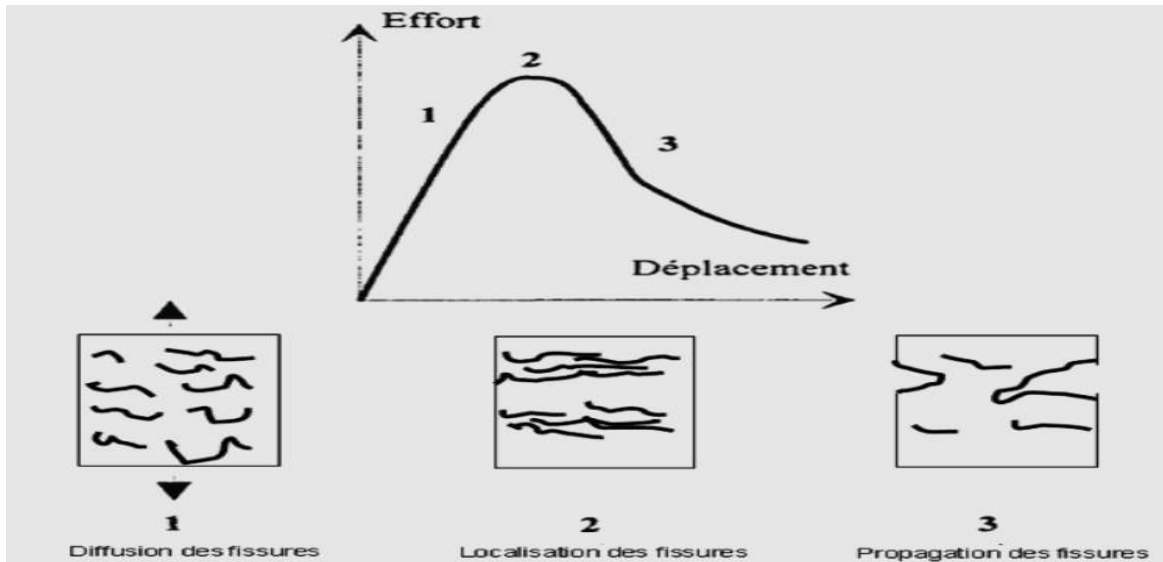


Figure I.5 : Comportements fragile et ductile des bétons[28]

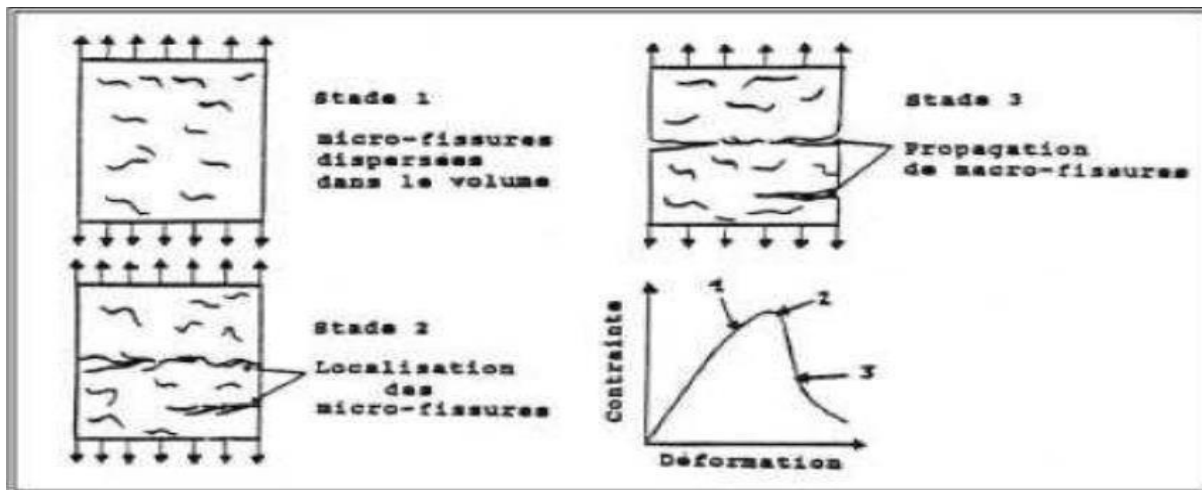


Figure I.6. Processus d'action des fibres dans le comportement du béton[28]

On peut distinguer 3 phases sur la courbe contrainte - déformation qui représente son Comportement (Figure 5). Une première phase où l'on observe la formation de microfissures qui se développent très tôt, généralement dans des zones de moindre résistance mécanique comme l'interface entre les granulats et la matrice (auréoles de transition). La longueur de ces fissures est de l'ordre du diamètre des granulats, leur largeur de l'ordre du micron. Durant cette phase, les fibres sont inactives. La deuxième phase correspond au développement des macro-fissures qui résultent de la coalescence des microfissures. A ce stade, des contraintes sont transférées aux fibres qui contribuent à limiter la propagation des fissures. Cette étape est suivie par la propagation d'une macro-fissure(troisième phase) séparant l'éprouvette en deux blocs, et provoquant ainsi la ruine de l'éprouvette [29] et [30].

I.3.5 Rentabilité et Inconvénients de l'utilisation des bétons de fibres

Les rentabilités

Les fibres ne sont pas un substitut aux barres d'armature, mais plutôt un complément [31]. Les améliorations effectivement apportées par la présence de fibres métalliques dans le béton sont essentiellement :

- Une moindre fragilité due à l'augmentation de la déformabilité du béton. Le béton ne se rompt plus brusquement sous l'effet de d'une fissuration et chaque fissure étant momentanément cousue par la présence des fibres qui, ainsi, retardent la rupture,
- Une meilleure résistance aux chocs, retrait, usure, abrasion, fatigue et impacts,
- Une amélioration de la résistance à la traction et à l'effort tranchant et de la ductilité,
- Le béton à renforcement homogène résiste beaucoup mieux à la fatigue et aux impacts que le béton à armature traditionnelle et réduction de l'épaisseur des éléments (figure 1.4),
- Une réduction de la perméabilité due à la fissuration du béton
- Une redistribution des contraintes internes à travers une section, les fibres assurent au béton un renforcement multidirectionnel
- Une meilleure répartition du renforcement dans toute la masse du béton et une réduction du coût de main d'œuvre par rapport aux méthodes de renforcement traditionnelles
- Elimination de tâche d'élaboration de détails, trie et pose d'armature

Les inconvénients

La principale raison de ne favorise pas l'utilisation du BRFM est la nécessité d'utiliser des super plastifiants et des poudres fines, ce qui entraîne des coûts plus élevés.

Tous ces avantages ont un coût et il est évalué à 15 voire 20 fois plus cher que le béton ordinaire

I.3.6 Applications des Bétons de fibres

Les fibres végétales (pulpe de cellulose, sisal, bambou, chanvre, lin, jute, fibres de ramie, etc.) sont employées dans les pays où elles sont disponibles. Les éléments structuraux avec les fibres végétales sont importants pour la construction des bâtiments moins coûteux dans des régions en voie de développement du monde. Le chanvre est très exploité en France pour la conception des éco-matériaux. Ainsi, en 1987 la Gambie est le premier pays en Afrique qui a adopté des règlements soutenant l'utilisation des matériaux de construction naturels et peu coûteux convenus aux besoins et des capacités financières des habitants [32].

Le béton de fibres métalliques (BFM) est utilisé dans de nombreuses applications, comme seul ou en combinaison avec un renforcement (figure 1.4) [33]. L'application du BFM sans renforcement est utilisée généralement dans des pièces minces tels que le revêtement, les panneaux, canalisations, tunnels et les dallages industriels, les talus.

Les fibres sont aussi employées pour supporter d'autres éléments structuraux tels que le béton armé et précontraint et les structures en acier (figure 1.5) [34]. Des exemples incluent les structures parasismiques, couvercle pour réparation et réhabilitation des poutres et poteaux. Dans les structures en charpente métalliques, les poutres sont enrobées pour améliorer leur ductilité et résistance au feu.

Parmi les principales applications à base de béton de fibres on peut citer :

- Les structures hydrauliques et portuaires, barrages, retenues d'eaux,
- Pistes d'atterrissage, revêtements de voies et parking, quais d'entrepôts,
- Bétons projetés (tunnels, pentes) et pieux forés, plates-formes de ponts,
- Panneaux de façades, corniches, cloisons...,
- Éléments préfabriqués de structure (voussoirs, pannes...),
- Plancher industriel, coque de coupole, chapes,
- les structures soumises à explosions et les ouvrages parasismiques.

La réparation des chaussées est un des exemples où le béton de fibres peut être utilisé pour assurer la durabilité de la structure. La technique consiste à couvrir les chaussées par une couche en béton de fibres. Une expérience effectuée sur une autoroute au Canada montre que la couche de réparation en béton de fibres est restée en bon état de service 8 ans après réfection, tandis qu'il a fallu refaire la réparation sur les couches en béton non fibré 8 mois après. La présence de fibres dans les couches de surfacage permet de lutter contre les forces de traction et les contraintes de cisaillement dans les zones fissurées qui causent le décollement des couches du support [35].

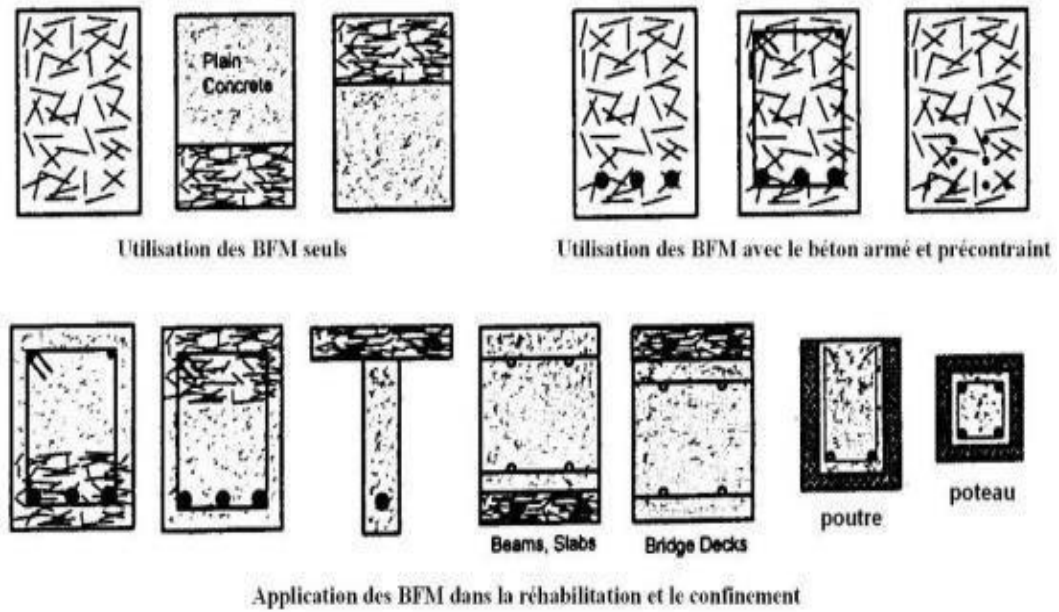


Figure I.7 : Exemples de renforcement des éléments avec des BFM [33]

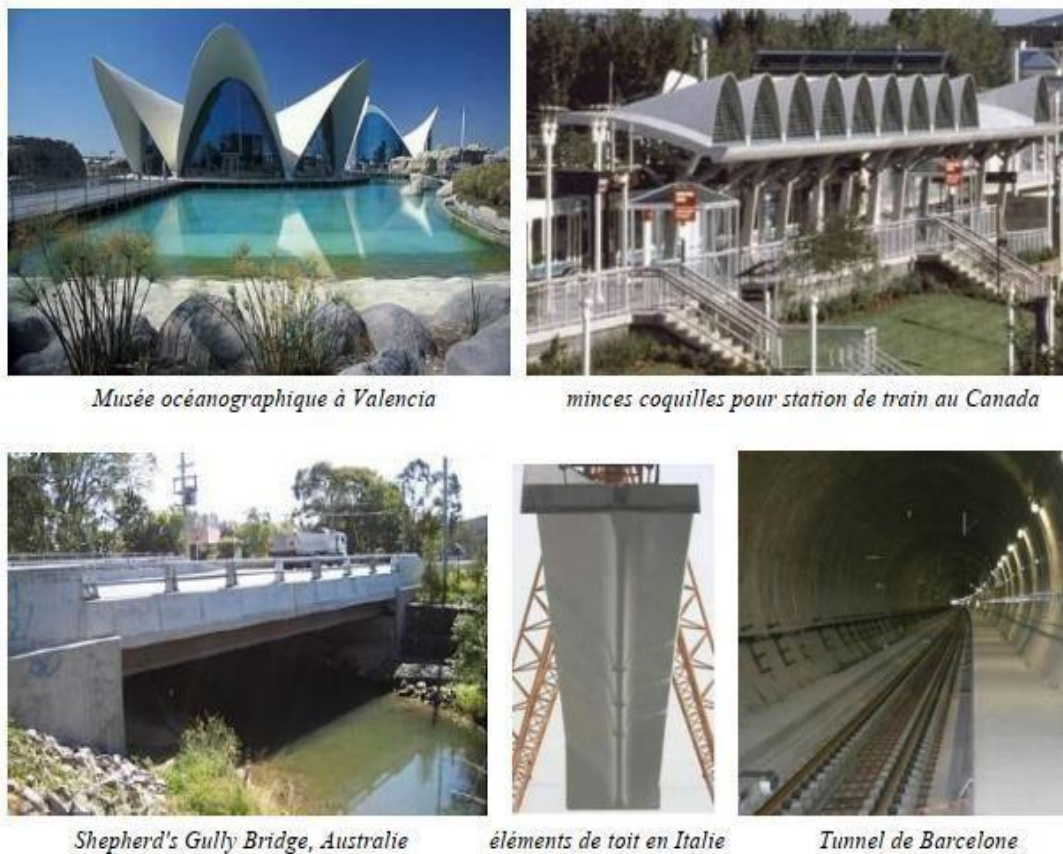


Photo I.8: Exemples d'applications du béton de fibres [34]

I.4. Effet du dosage et de l'orientation des fibres d'acier dans le béton

I.4.1 Influence du dosage en fibres

L'ajout de fibres dans un béton à l'état frais nécessite de nombreuses précautions notamment pour éviter la formation de pelotes et limiter le risque d'une orientation préférentielle.

La durée du malaxage influe sur la répartition des fibres au sein du béton frais. Si elle est trop courte, les fibres ne peuvent pas se répartir de manière homogène. Si elle est trop longue, la répartition peut devenir hétérogène du fait de la ségrégation des fibres.

La maniabilité du béton est diminuée par l'ajout de fibres. Plus la quantité de fibres et leur élanement sera fort, plus l'ouvrabilité du mélange sera affecté. Il est donc important d'utiliser des fibres de dimensions optimales et d'ajuster la composition de la matrice afin de permettre au béton de conserver une maniabilité suffisante.

La figure I-3 tirée de l'étude de [36], donne la variation de l'affaissement du cône d'Abrams en fonction de la teneur en fibres de polypropylène et d'acier

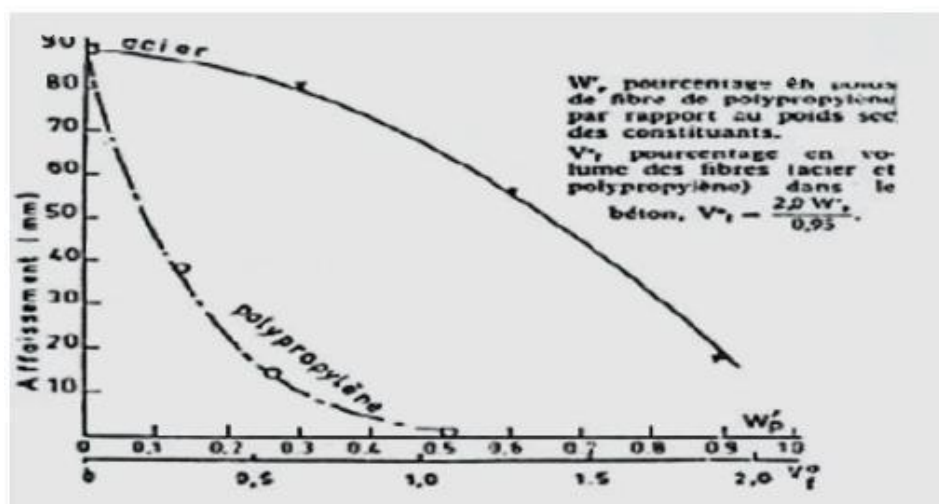


Figure I.8: Effet des fibres incorporées dans un béton sur son affaissement [36].

D'après les travaux de BOURAS et al [37], on peut conclure plus le pourcentage de fibres incorporées est important, plus la viscosité plastique est importante figure I-4. De plus, à taux de fibre donné, cette viscosité est plus importante lorsque les fibres sont longues. Jusqu'à une concentration de fibres métalliques de 2,5 %, la viscosité plastique augmente avec une pente très faible. Au-delà de ce pourcentage, cette dernière devient nettement plus grande, ce qui justifie la consistance élevée du milieu. Cela veut dire qu'au-delà de cette valeur de concentration de fibres métalliques, il n'y a plus d'écoulement du béton frais.

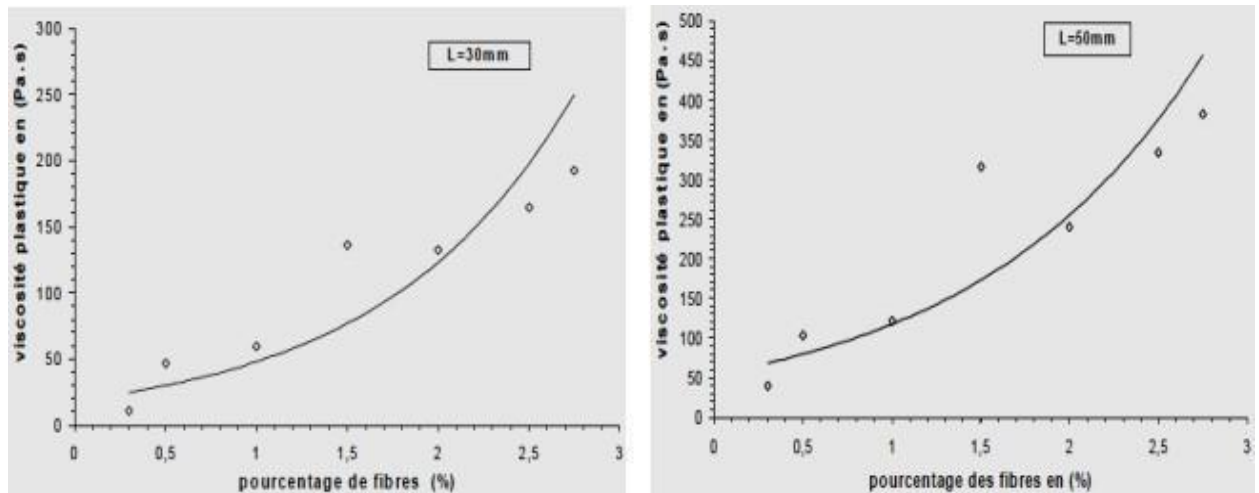


Figure I.9: Variation de la viscosité plastique avec le pourcentage des fibres incorporées [37]

I.4.2 Résistance à la flexion

Le comportement en flexion est l'aspect le plus important pour un béton de fibres car ce matériau composite subit le plus souvent ce type de changement dans ses applications. On ajoute les fibres dans la matrice pour améliorer la ductilité et fournir un contrôle du mécanisme de fissuration. ABBANI Saïd [38], montre que l'augmentation du pourcentage en masse des fibres végétales de palmier dattier de longueur L=4 cm, améliore notablement la résistance à la flexion figure I-18.

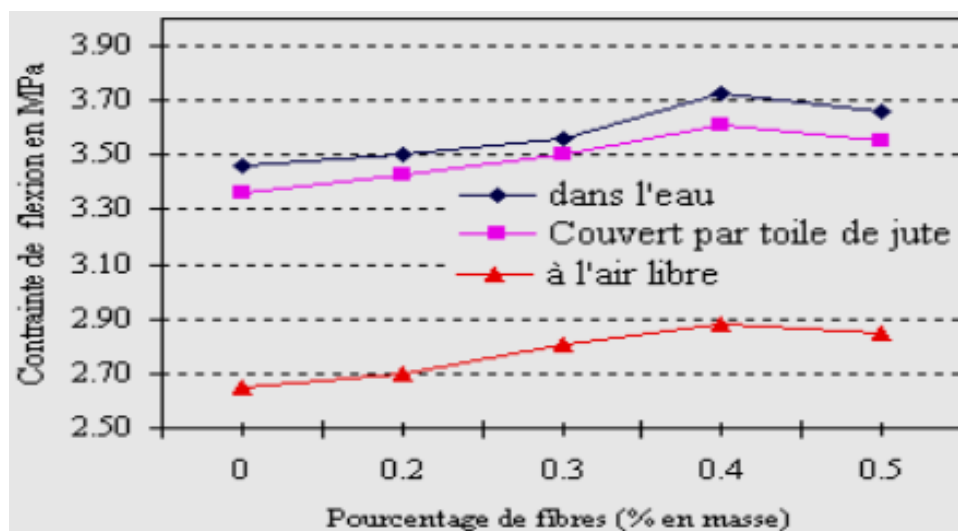


Figure I.10: Variation de la résistance à la flexion en fonction du % en masse des fibres[38]

Dans un rapport publié par A.C.I COMMITTEE 544 [39], les auteurs confirment que les fibres métalliques, introduites jusqu'à 4% par volume, ont été trouvées qu'ils augmentent la résistance de la première fissure deux fois et demi plus de celle de béton non renforcé de fibres. BEN YAHIA Abdeslam [40], a trouvé que l'incorporation de fibres de fil d'attache dans la matrice béton apporte une amélioration de résistance à la flexion lorsque le pourcentage de fibres est $V_f = 3\%$, et une diminution pour de forts pourcentages figure I.5

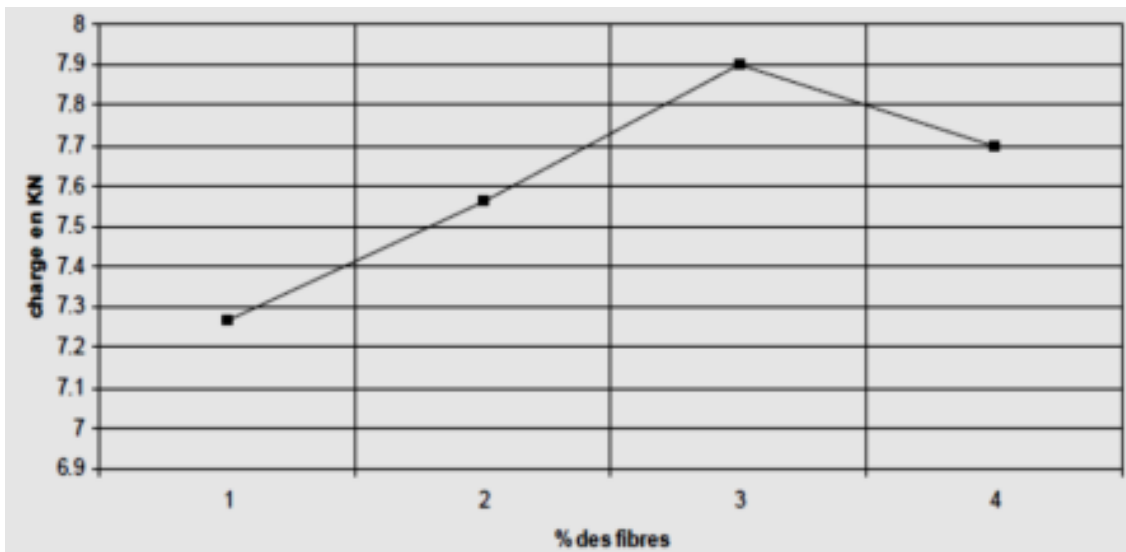


Figure I.11 : Influence du % de fibres sur la résistance à la flexion [40]

I.5. Quelques exemples d'ouvrages construits en béton de fibres

- ✓ Réalisation de 52700 m² de chaussées de parking à l'aéroport de LAS-VEGAS (USA), avec 2% de fibres métalliques. L'épaisseur des chaussées était de 15 cm, au lieu de 37.5 cm pour un béton traditionnel.
- ✓ Réalisation de 33400 m² de dalle flottante sur piste existante de la station aéronavale de TAMPA-NEVADA (USA), avec 2% de fibres métalliques
- ✓ Réalisation de la piste de l'aéroport de TAMPA (USA), avec 1.5% de fibres métalliques.
- ✓ Consolidation de voutes en briques des tunnels ferroviaires près de BIRMINGHAM (Angleterre) [41]

Conclusions

Ce chapitre est une recherche bibliographique qui vise à fournir une description du BRFM, où nous avons collecté des informations sur le béton fibreux : son histoire, sa définition, sa composition principale, ses propriétés mécaniques et ses domaines d'application, et nous avons également parlé en général des fibres et de leurs types et différences. Nous avons ensuite détaillé les performances mécaniques de cette nouvelle génération de béton, qui peuvent être améliorées par l'ajout de fibres.



**CHAPITRE II: CARACTERISATION
DES MATERIAUX ET ETUDE
EXPERIMENTALE**

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques des différents constituants utilisés dans la formulation du béton. Par la suite, les différents essais expérimentaux. A l'état frais la caractérisation est effectuée par des essais d'affaissement au cône d'Abrams, et à l'état durci des essais mécaniques (Résistance à la compression, résistance à la traction par flexion, module d'élasticité, comportement force - flèche).

Les résistances mécaniques des bétons en générale et du béton de fibre en particulier nécessitent des précautions particulières à savoir : le choix et la sélection des constituants ainsi que leurs utilisations pour pouvoir obtenir les résultats recherchés en matière de résistance.

Les composants de base d'un béton de fibre sont l'eau, le ciment, le gravier et le sable plus les fibres métalliques qui peuvent être rajoutés dans le but de modifier les propriétés telles que la résistance, ces matériaux répondant à des avis techniques.

II.2. Les matériaux utilisés :

Les matériaux utilisés dans notre étude sont des matériaux locaux, et nous avons mené des tests expérimentaux sur leurs propriétés au Laboratoire de Génie Civil de l'Université de Laghouat.

- deux types Gravier (3/8) et (8/15) d'une carrière se trouvant à la sortie nord de la ville de Laghouat
- Sable de dune (**SD**) provenant de la région Nord de la ville de Laghouat (Oasis Nord).
- Sable alluvionnaire (**SA**) provenant d'oued M'zi (région de Laghouat).
- Sable calcaire (**SC**) provenant des déchets de concassage des roches calcaires dolomitiques du turonien de la région de Djelfa.
- Un ciment CPJ CEM II /BL 42.5N [AWTAD].
- Eau de gâchage : c'est l'eau potable
- Superplastifiant " Medaflow 30" provenant de société GRANITEX Oued Smar (Wilaya d'Alger)
- Fibres métalliques en forme de zigzag de 4 cm de longueur.

II.3- Caractéristiques des composants :

II.3.1. Sables :



Photo II.1 : Illustration des différents granulats utilisés.

II.3.1.1. Masse volumique absolue des sables :

Cet essai est régi par la norme Selon NFP 18-554; elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains

✓ **Matériel utilisé :**

- Pycnomètre de 1000 cm³
- Une balance de précision

✓ **Mode opératoire :**

1. Peser le pycnomètre vide m_0
2. Peser le pycnomètre rempli d'eau jusqu'au trait repère soit M_1 .
3. Peser 100 g de sable M_2 .
4. Introduire le corps dans l'eau après avoir vider le pycnomètre à moitié
5. Éliminer l'air et remplir de l'eau au trait repère peser M_3

La masse volumique absolue est calculée par la formule suivante :

$$\rho_{abs} = \rho_e \frac{M_2}{M_1 + M_2 - M_3} \quad \text{II.1}$$

Chaque valeur de masse volumique absolue est la moyenne de trois essais.

Tableau II.1. Résultat de la Masse volumique absolue.

type de sable	ρ_{abs} (kg/m ³)
Sable alluvionnaire	2632,51
Sable de dune	2500,92
Sable calcaire	2672,86

II.3.1.2. Masse volumique apparente des sables :

Cet essai est régi par la norme [NF P 18-598], elle est définie comme étant la masse de l'unité de volume apparente du corps, c'est-à-dire celle du volume constituée par la matière du corps et les vides qu'elle contient.

✓ **Matériel utilisé :**

- Récipient en métal de 1l de volume (V₀).
- Une balance de précision

✓ **Mode opératoire :**

- Peser le Récipient en métal vide M₁
- Pesez le Récipient en métal rempli de sable M₂

La masse volumique apparente est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_0} \quad \text{II.2}$$



Photo II.2. Essai de Masse volumique apparente

Chaque valeur de masse volumique apparente est la moyenne de trois essais

Tableau II.2. Résultat de la Masse volumique apparente.

type de sable	ρ_{app} (kg/m ³)
Sable alluvionnaire	1342,66
Sable de dune	1566,05
Sable calcaire	1529,30

II.3.1.3. Equivalent de sable :

Il est défini par la norme NFP 18-598; cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent .

✓ **Principe de l'essai :**

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du sable à étudier. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur H1 : sable propre + éléments fins.
- hauteur H2 : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention dit équivalent de sable permettant de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{H1}{H2} \times 100 \quad \text{II.3}$$

Selon que la hauteur H2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ESP (équivalent de sable au piston)



Photo II.3. Essai équivalent de sable.

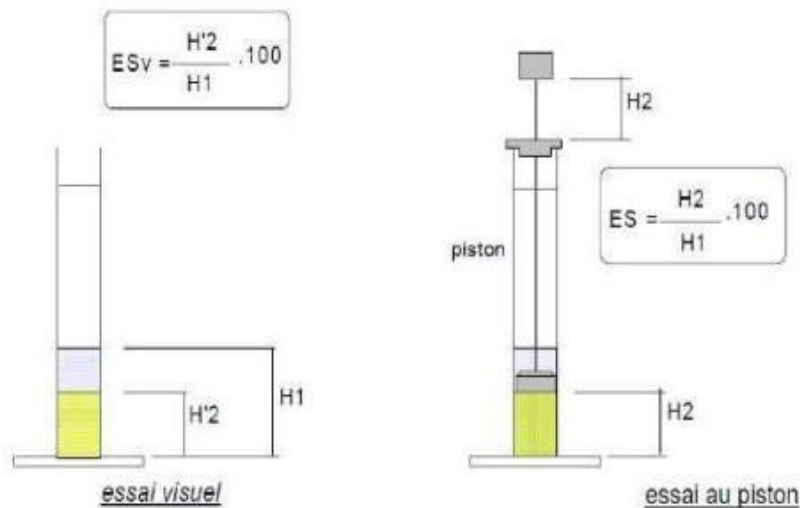


Figure II.1. Configuration de l'essai d'équivalent de sable.

Tableau II.3. Résultat de l'essai d'équivalent de sable.

Type de sable	(Es) moyenne
Sable alluvionnaire	74.39
Sable de dune	76
Sable calcaire	75.94

II.3.1.4. L'absorption :

C'est un test pour déterminer la quantité d'eau qui s'infiltre dans les pores des grains de sable, et cette eau n'est pas en mesure de participer à la réaction d'hydratation du ciment.

Selon la norme [NF 18-555]

✓ Matériel utilisé :

- Une balance portée 5 kg, précision 1 g.
- Un moule tronconique et pilon
- Un sèche-cheveux

✓ Principe de la méthode :

Le sable est plongé dans l'eau pendant un certain temps, puis séché progressivement jusqu'à l'état dit d'écoulement libre (mesure au cône)

Le coefficient d'absorption est en fait une teneur en eau particulière.

✓ Mode opératoire :

- Prendre un échantillon de sable d'environ 500g, le Sécher à l'étuve jusqu'à masse constante.

- Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 le temps.
- Etaler l'échantillon sur une surface non absorbante.
- Remplir alors le moule sans tasser et damer légèrement 25 coups. Retirer le moule.
- Si l'humidité demeure, l'échantillon garde la forme du moule, il faut alors le sécher un peu plus et recommencer l'essai.
- Si l'état d'écoulement libre est atteint, l'échantillon damé s'affaisse au démoulage, l'essai est terminé.
- Peser la totalité de l'échantillon soit M_a la masse.



Photo II.4. Essai L'absorption de sable.

Le coefficient d'absorption du sable noté A_{bs} a pour expression:

$$A_{bs} = \frac{M_a - M_s}{M_s} \quad \text{II.4}$$

Tableau II.4. Résultat de l'essai d'absorption d'eau des sables

Type de sable	(A_{bs}) moyenne
Sable alluvionnaire	1,29
Sable de dune	1,7
Sable calcaire	2,12

II.3.1.5. Analyse granulométrique:

Les courbes granulométriques des différents granulats peuvent être déterminées par l'essai de l'analyse granulométrique. (NF P 18-560)

Matériel nécessaire :

- Une série de tamis normalisés.
- Une tamiseuse.
- Une balance de portée minimale 5 000 g, de 1 g de précision.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série de tamis, emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Mode opératoire :

- Après observation du granulat, faire choix du tamis le plus fin et du tamis le plus gros. On s'arrange en général pour que le granulat passe entièrement au travers du tamis le plus gros.
- Empiler les tamis dans l'ordre croissant, placer la colonne ainsi constituée sur la tamiseuse, brider la colonne.
- Verser le granulat dans la colonne
- Régler la durée de tamisage sur au moins 7 minutes, puissance moyenne (peu de bruit) et interrompu éventuellement.
- Effectuer le tamisage
- Peser les refus en cumulé. C'est à dire, peser le contenu du premier tamis puis y ajouter le contenu du tamis immédiatement inférieur pour avoir le refus cumulé, et ainsi de suite.
- Porter les résultats des refus cumulés en g dans un tableau.
- Calculer les refus cumulés en %
- Calculer les tamisats en %
- Tracer la courbe.
- REFUS en % sur un tamis: $(R_i/M_s) \cdot 100$
- TAMISAT EN % à un tamis: $((\sum R_i + R_{(i+1)})/M_s) \cdot 100$

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables utilisés dans ce travail sont répertoriés les tableaux II.5, II.6 et II.7 et représenté sur la figure II.3.

Tableau II.5: Analyse granulométrique de sable calcaire (SC).

Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
3,15	0	0	0	100
2,5	30,22	30,22	6,044	93,956
1,25	102,49	132,71	26,542	73,458
0,63	150,17	282,88	56,576	43,424
0,315	52,62	335,5	67,1	32,9
0,16	83,15	418,65	83,73	16,27
0,08	43,4	462,05	92,41	7,59
Fond	28,75	490,8	98,16	1,84

Tableau II.6: Analyse granulométrique de sable dunaire (SD).

Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
1,25	0	0	0	100
0,63	16,91	16,91	3,382	96,618
0,315	147,06	163,97	32,794	67,206
0,16	202,31	366,28	73,256	26,744
0,08	108,39	474,67	94,934	5,066
Fond	24,33	499	99,8	0,2

Tableau II.7: Analyse granulométrique de sable alluvionnaire (SA).

Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
5	0	0	0	100
2,5	38,4	38,4	7,68	92,32
1,25	35,33	73,73	14,75	85,25
0,63	126,59	200,32	40,06	59,94
0,315	166,1	366,42	73,28	26,72
0,16	107,78	474,2	94,84	5,12
0,08	18,74	492,94	98,59	1,41
Fond	5,38	498,32	99,66	0,34

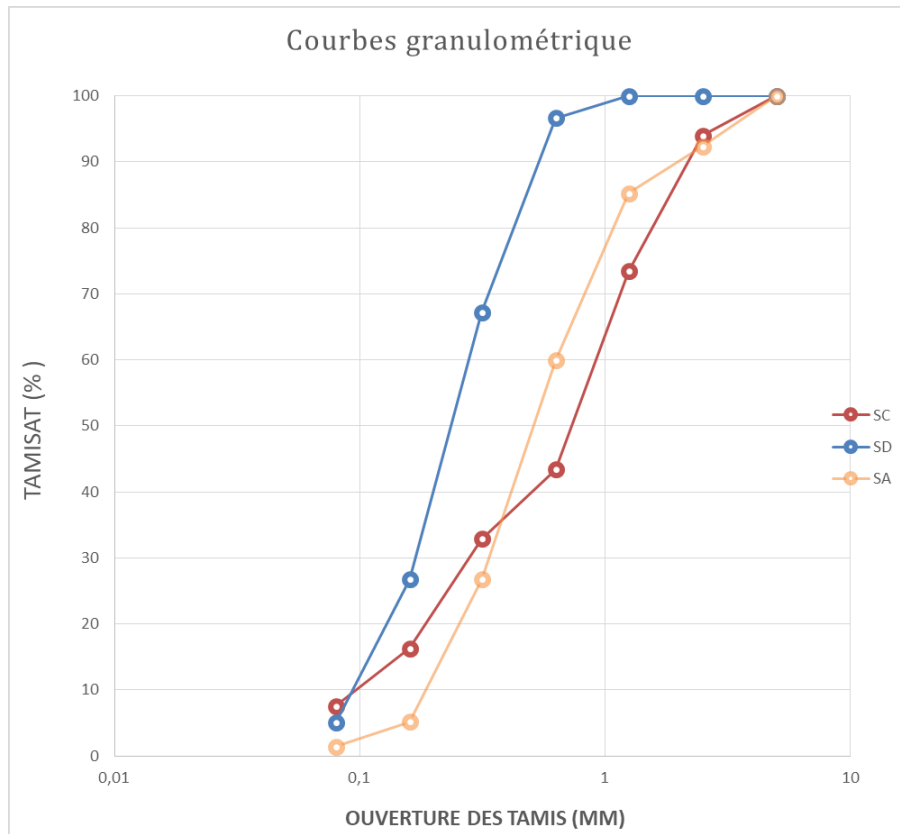


Figure II.2 : Courbe granulométrique de différents types de sables.

II.3.1.6. Module de finesse:

La finesse d'un sable est estimée conventionnellement par une grandeur appelée module de Finesse. Ce dernier est égal au 1/100^{ème} de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage des différents tamis de la série suivante : (0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5mm).
 $MF = \Sigma RC / 100$

RC : refus cumulé en (%)

Tableau II.8: Module de finesse.

Type de sable	SD	SC	SA
MF	1.09	2.39	2.30

Tableau II.9: classification de sable en fonction du module de finesse.

Qualité de sable	Module de finesse
Sable gros	$M_f > 2.5$
Sable moyen	$2 < M_f < 2.5$
Sable fin	$1.5 < M_f < 2$
Sable très fin	$1 < M_f < 1.5$

II.3.2 Graviers :

II.3.2.1 Masse volumique apparente et absolue :

Les résultats des essais de la masse volumique apparente et la masse volumique absolue (Selon NFP 18-554) du différent gravier sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II.8. Résultat des essais de la masse volumique apparente et absolue des graviers.

Classe de gravier	3/8	8/15
$(\rho_{abs})_{moy}$ (kg/m ³)	2691,56	2119,32
$(\rho_{app})_{moy}$ (kg/m ³)	1296,93	1251,97

II.3.2.2 L'absorption :

Il s'agit de quantifier la quantité d'eau qui s'infiltré dans les pores des gravillons, cette eau ne pouvant participer à la réaction d'hydratation du ciment. Selon NF 18-555.

Principe de la méthode :

Le gravillon est plongé dans l'eau pendant un certain temps, épongé, pesé puis séché. Le coefficient d'absorption est en fait une teneur en eau particulière.

Matériel nécessaire:

- Une balance portée 5 kg, précision 1 g.
- Un torchon.
- Une étuve.

Mode opératoire :

- Prendre un échantillon de gravillon d'environ 1000g le laver au tamis de 2.5mm, puis le sécher à l'étuve jusqu'à masse constante. Soit M_s sa masse
- Immerger l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures.
- Eponger soigneusement l'échantillon avec un chiffon absorbant, les gros éléments étant essuyés individuellement.
- Peser l'échantillon ainsi épongé, soit M_a sa masse.



Photo II.5. Essai L'absorption de gravier.

Le coefficient d'absorption du gravier noté A_{bG} a pour expression:

$$A_{bG} = \frac{M_a - M_s}{M_s} \quad \text{II.5}$$

Tableau II.10. Coefficient d'absorption d'eau des graviers utilisés

Type de Gravier	3/8	8/15
A_{bG}	2.2	2

II.3.2.3. Analyse granulométrique:

Cet essai est réalisé suivant la norme NF P 18-560. L'échantillon représentatif doit avoir une masse comprise entre 200D et 600D. Où D la plus grande dimension des granulats à analyser.

Tableau II.11: Analyse granulométrique de gravier 3/8 (G3/8).

Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
10	2,19	2,19	0,15	99,85
8	32,93	35,12	2,34	97,66
6,3	180,44	215,56	14,37	85,63
5	411,48	627,04	41,80	58,20
4	407,12	1034,16	68,94	31,06
3,15	282,25	1316,41	87,76	12,24
2,5	153,14	1469,55	97,97	2,03

Tableau II.12: Analyse granulométrique de gravier 8/15 (G8/15).

Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Pourcentage refus (%)	Pourcentage passant (%)
20		/		100
16	69,43	69,43	2,31	97,69
12,5	687,3	756,73	25,22	74,78
10	1049,9	1806,63	60,22	39,78
8	820,92	2627,55	87,59	12,42
6,3	309,06	2936,61	97,89	2,11

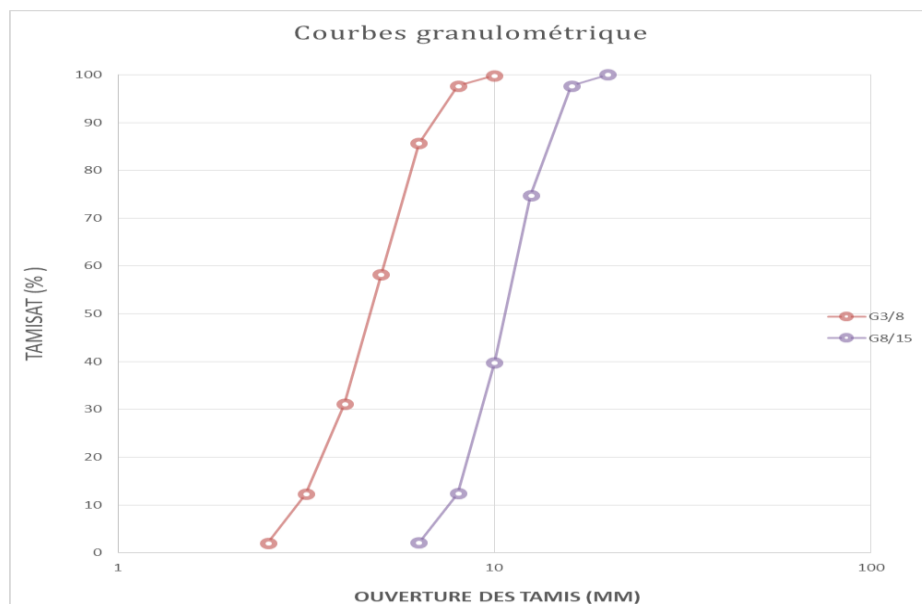


Figure II.3 : Courbe granulométrique des graviers.

II.3.3 Ciment :

Le ciment est une matière pulvérulente, à base de silicate et d'aluminate de chaux, obtenue par cuisson, en proportions variables selon les matières premières utilisées. Le ciment utilisé est un ciment CPJ CEM II/A-³ L 42.5 N [AWTED] provenant de la cimenterie AMOUDA CIMENT (Elbayada – Laghouat)



II.3.3.1 Caractéristiques chimiques

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans le tableau suivant:

Tableau II.13- Caractéristiques chimiques du ciment.

MgO	SO3	CL	C3S	C3A
< 1.7	< 3,5	< 0.1	62	7.5

II.3.3.2 Caractéristiques physiques et mécaniques

Tableau II.13- Propriétés physiques et mécaniques du ciment.

Propriétés physiques	
Consistance normale de la pâte de ciment (%)	25,5 - 28,00
Finesse suivant la méthode de Blaine en cm ² /g	4 300 - 4 800
Masse volumique absolue en kg/m ³	3034
Masse volumique apparente en kg/m ³	1410
Temps de prise	
Début de prise (min)	160 - 209
Fin de prise (min)	205 - 270
Résistances mécaniques	
R _{c28} (MPa)	≥ 42,5
R _{t28} (MPa)	6.45

II.3.4 Eau de gâchage :

L'eau utilisée dans l'industrie du béton provient du robinet du Laboratoire de Génie Civil de l'Université de Laghouat.

II.3.5 Adjuvant :

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant algérien MEDAFLOW30 conforme à la norme **EN 934-2: NA 774**. C'est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. Selon la notice technique GRANITEX :

- Aspect : liquide.
- Couleur : Brun clair.
- Ph : 6-6,6.
- Densité: 1,07±0,01.

Teneur en chlore : <0,1g/l.

Extrait sec : 30%.

Dosage : 0.90±0.98 %.

II.3.6 Fibres :

Le rôle des fibres, dans une matrice fragile, est le renforcement et la couture de la matrice après la fissuration, donc elles doivent posséder des caractéristiques satisfaisantes. D’autre part les fibres doivent être inertes dans le milieu cimentaire.

Les fibres utilisées doivent être avant tout, mécaniquement, physiquement et chimiquement compatible avec les constituants de la matrice. Elles doivent conserver leurs propriétés dans le temps et être compatibles.

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques locales de (50x1x3) mm de dimensions. Il a une forme géométrique en zigzag et lisse, et augmente ainsi la cohésion du béton contrairement aux fibres droites.

Formulation des bétons :

De nombreuses méthodes sont proposées pour formuler un béton ordinaire et qui sont la méthode de Bolomey , de Faury , de Vallette , de Dreux-Gorisse ,.....etc

Pour la formulation du béton de fibre d’autre méthode a été développé selon les recommandations de l’ACI 544.3R-08 (American Concrete Institute) qui consistent globalement à fixer des paramètres de départ (Ciment, E/C, G/S,..) en fonction de diamètre maximal des granulats comme le montre le tableau II. et de cibler à travers plusieurs gâchées d’essai la maniabilité et la résistance souhaitées.

Tableau II.14 : Composition typique du béton de fibres [ACI 544.3R-08]

Diamètre max des granulats	< 9,5 mm	< 20 mm	< 38 mm
Paramètres de la composition du béton			
Ciment [kg/m³]	356 à 593	297 à 534	279 à 415
E/C	0,35 à 0,45	0,35 à 0,50	0,35 à 0,55
G/(G+S) [%]	45 à 60	45 à 55	40 à 55

Pour cela, l'approche consiste à cibler une bonne ouvrabilité de départ (affaissement de 18-25 cm). Après avoir déterminé le diamètre max des granulats, en fixant les rapport G/S , E/C et le dosage en ciment selon les recommandations de l'ACI 544.3R-08

Le principe général de formulation de béton de fibre, passe par la réduction de la porosité du béton. Cet effet est obtenu principalement en diminuant le rapport E/C et en ajustant la maniabilité par l'ajout d'un superplastifiant.

Il nous a fallu plusieurs essais (choix des ingrédients, dosage en ciment, squelette granulaire optimum, dosage optimum en superplastifiants) afin d'aboutir aux résistances et maniabilité désirées.

Le tableau II.15 résume les résultats des formulations de béton avec et sans fibres.

Les rapports G/S et E/C et le dosage en ciment sont gardés constants pour toutes les formulations. Le dosage en super plastifiant devrait augmenter pour les bétons fibrés pour avoir la maniabilité souhaité.

Tableau II.15. Composition des bétons étudiés/m

	BA	BT0%	BF0.5%	BF1%	BF1.5%
Ciment	405,01	405,01	405,01	405,01	405,01
Sable SA	895,70	0	0	0	0
Sable SD	0	537,42	533,40	529,39	525,37
Sable SC	0	358,28	355,60	352,93	350,25
G3/8	269,28	269,28	267,27	265,26	263,24
G8/15	628,32	628,32	623,63	618,93	614,24
Fibres	0	0	39,25	78,50	117,75
E_{tot}	211,33	213,90	213,65	213,24	212,76
E_{eff}	182,25	182,25	182,25	182,25	182,25
SP	2,03	2,19	2,19	2,43	2,75
E/C	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
G/S	1	1	1	1	1
Aff (cm)	21±1				

II.4 Confection et conservation du béton :

II.4.1 Malaxage du béton :

II.4.1.1- Béton témoin :

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur à axe vertical d'une capacité maximale de 60 L, le malaxage s'effectue de la façon suivante :

- introduire le sable, le ciment et le gravier dans le malaxeur en mélangeant pendant 60 secondes.
- Ajouter l'eau de gâchage tout en mélangeant. Le super-plastifiant est dilué dans l'eau et ajouté après l'introduction de 70 % de l'eau de gâchage ;
- Continuer le malaxage jusqu'à 180 secondes.

II.4.1.2- Béton avec fibres :

Le béton fibré est fabriqué dans les mêmes conditions et avec le même malaxeur que le béton ordinaire :

- Introduire le sable, le ciment, et les graviers dans le malaxeur, malaxée pendant 60 secondes ;
- Ajouter l'eau de gâchage au cours du malaxage. Le super plastifiant est dilué dans l'eau et ajouté après avoir introduit 70 % de l'eau de gâchage ;
- La fibre est progressivement introduite en petite quantité, sous forme de pluie ; Pour éviter la formation de "boules" d'oursins, chaque ajout est mélangé pendant 10 secondes (de 3 à 5 processus);
- Continuer le malaxage jusqu'à 240 secondes.

II.4.2 Confection et cure des éprouvettes:

Le béton a été coulé dans des moules (10x10x10) / (16x32) / 10x10x50 (photo II.5.3.1). Les moules contenant les spécimens ont été couverts de film plastiques et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures de confection, les échantillons ont été démoulés soigneusement et conservés dans un bac de conservation jusqu'à l'âge de l'essai.

- 15 prismes de (10x10x50) cm³ pour les essais de flexion 4 points.
- 30 cubes de (10x10x10) pour les essais de compression.
- 15 cylindres (16 x 32) cm³ pour les essais de comportement mécanique à la compression du béton (Module d'élasticité)



Photo II.6. Les éprouvettes.

II.4.3- Essais de caractérisation de béton :

Essai d'affaissement au cône d'Abrams :

Pour déterminer la maniabilité de notre béton, on a procédé à l'essai d'affaissement au cône d'Abrams selon la norme EN 12350-2. On remplit le cône en trois couche piquées chacune de 25 coups avec une tige métallique de 16 mm de diamètre, la surface de béton sera arasée, enfin le moule sera soulevé avec délicatesse et l'on mesure aussitôt après l'affaissement.



Photo II.7. Essai cône d'Abrams

Résistance à la compression :

Les essais sont effectués sur des échantillons de dimensions (10 x 10 x 10) / (16 x 32) cm, selon la norme française NFP 15-451, à l'aide d'une presse hydraulique de 3000 KN de capacité (Fig. II.19).



Photo II.8. Presse d'écrasement à la compression

La résistance à la compression est calculée selon la formule : $\sigma_c = \frac{F}{A}$ II.6

Avec :

σ_c : résistance à la compression (en MPa).

F: charge maximale enregistrée à la rupture (en N).

A: aire de l'éprouvette (en mm²).

a) Résistance à la flexion (flexion 4 points)

Les résistances mécaniques à la traction par flexion sont déterminées selon la norme NF P 18-407. La résistance à la rupture en traction par flexion est obtenue à partir des essais de flexion quatre points effectués sur trois éprouvettes prismatiques 10x10x50 cm³. La machine



Photo II.9. Presse hydraulique

Utilisée est une presse hydraulique de charge maximale 300 kN. L'acquisition et le pilotage sont gérés par un ordinateur muni d'un logiciel de commande qui traite tous les résultats.

La vitesse de chargement a été réglée à 50 N/seconde jusqu'à la rupture. La charge à la rupture F_f est lue sur le cadran de la presse et la résistance à la traction par flexion est calculée par

relation :

$$R_f = \frac{FL}{b^3} \quad \text{II.7}$$

R_f : est la résistance à la flexion, en MPa.

b : est le côté de la section droite du prisme, en mm

P : est la charge de rupture, en Newtons;

L : est la distance entre les appuis, en millimètres.

les Résultats

les résultats qu'on peut tirer de cette caractérisation sont :

Tableau II.16 Propriétés mécaniques et physiques des bétons utilisés

	BT	BF0,5 %	BF1%	BF1,5%
Résistance à la compression f_{c28} (MPa)	43,83	44,45	44,54	40,48
module d'élasticité E_{c28} (GPa)	40,62	42,10	42,76	43,90
Masse volumique (kg/m ³)	2311,0	2326,6	2367,7	2401,0

CONCLUSIONS

A travers les résultats obtenus dans l'étude des caractéristiques des constituants de béton de fibre, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Le gravier utilisé est un gravier concassé de la région de LAGHOUAT, d'origines calcaires compactes et dures < 40 , avec un degré d'impureté acceptable. Les deux fractions de gravier 3/8 et 8/15 ont une granulométrie continue avec une courbe un peu serrée pour la fraction 8/15.
- Le sable de dune possède un module de finesse faible, au contraire, le sable calcaire utilisé à un module de finesse préférentiel, delà, Nous avons proposé, une amélioration de la granulométrie de sable de dune par l'ajout de ce dernier.
- L'adjuvant que nous avons utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau appelé MEDAFLOW 30. Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliore les propriétés physiques et mécaniques du béton, ainsi que la maniabilité du béton. Ce super plastifiant ne présente pas d'effet retardataire
- Pour la formulation du béton de fibre témoin, nous avons utilisé une part de ciment et deux parts de sable, et pour le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité.



CHAPITRE III :RÉSULTATS D'ÉTUDE DYNAMIQUES ET COMPARATIVE

III -1) INTRODUCTION

Les dommages dans les structures sont généralement causés par une mauvaise conception à un mauvais comportement. A l'effet, des études basées sur des modèles physiques et mathématiques sont menées pour limiter et mettre en œuvre une réglementation fiable qui régit le domaine de la construction en exigeant des normes à suivre par le concepteur et pour lesquelles un minimum de sécurité est assuré.

A nos jours, les tremblements de terre, avec leur cortège des pertes en vie humaines, constituent le souci fondamental de l'ingénieur en bâtiment, qui cherche à concevoir des structures capables de résister aux secousses sismiques par la création de systèmes structuraux combinant de manière optimale les propriétés mécaniques et géométriques de leurs éléments.

Par ailleurs, un ouvrage doit être conçu de la manière à présenter durant toute sa durée d'exploitation une sécurité appropriée vis à vis de sa ruine ou de quelconque de ses éléments et garde un bon comportement en service vis à vis de sa durabilité, son aspect architectural ou encore le confort de ses usagers.

Pour atteindre un tel objectif, l'ingénieur ne doit pas se contenter de la simple application d'une réglementation, mais la compréhension des facteurs qui déterminent le comportement d'un ouvrage est essentielle. Par conséquent, dans notre étude, nous présentons l'hypothèse d'une amélioration du comportement des structures en béton face aux secousses sismiques par l'ajout de fibres minérales

III.2 Caractéristiques des bétons utilisés

Le module d'élasticité statique E (Module d'Young) représente l'une des caractéristiques les plus importantes du béton. Le module d'élasticité E des bétons est mesuré sur trois éprouvettes cylindriques (16x32) cm. Des essais de compression simple sont réalisés avec une vitesse de chargement de 0,50 MPa /s à l'aide d'une presse hydraulique de 3000 KN de capacité. Le module d'élasticité est obtenu à partir des déformations mesurées par des comparateurs fixés par des anneaux (Extensomètre) à la surface d'éprouvettes dans le sens longitudinal soumises à une compression uni axiale (figure III.1). Les valeurs du module d'élasticité est la tangente de la partie linéaire de la courbe (contrainte- déformation), s'est-il-dire entre 0 et 40% de la contrainte maximale.



Figure III.1 Le dispositif utilisé pour déterminer le module d'élasticité.

Les valeurs de E ont été alors obtenues en déterminant la pente de la tangente de la courbe de la première phase du diagramme en compression (σ, ϵ) qui est la partie élastique.

Les résultats du module d'élasticité (E_{s28}), la résistance de compression et la masse volumique à l'état durci des compositions étudiées sont représentés sur les figures III.2, III.3 et III.4.

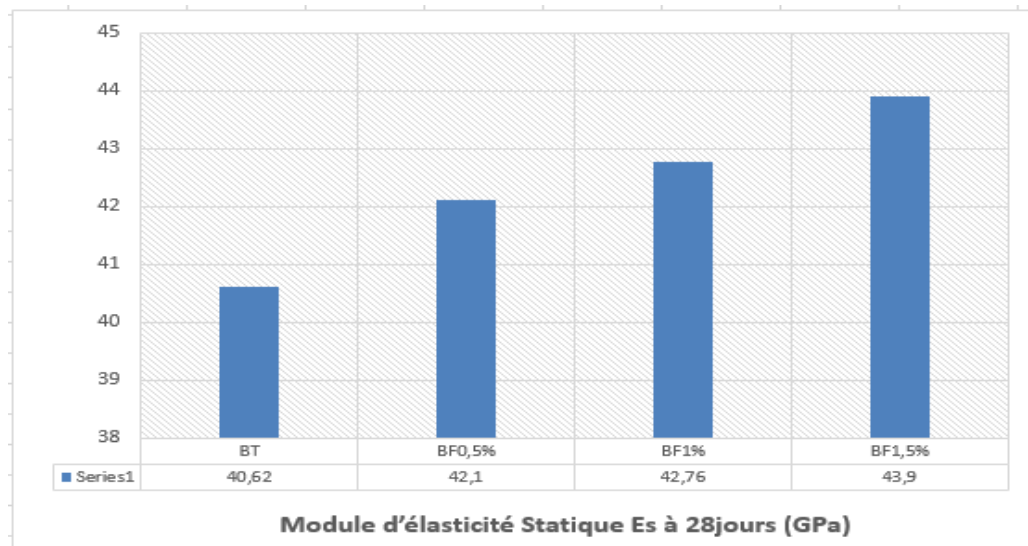


Figure III.2 Module d'élasticité des bétons élaborés

D'après la figure III.2, nous enregistrons une légère augmentation de module élasticité du béton en fonction augmentation de dosage en fibres métalliques. Cette augmentation est de 3.64, 5.27 et 8.07% pour les dosages en fibres de 0.5, 1 et 1.5% respectivement. L'augmentation de module d'élasticité avec l'accroissement de dosage en fibres est une conséquence du remplacement d'une quantité de granulats par une quantité de fibres est une conséquence du remplacement d'une quantité de granulats par une quantité de fibres présentant une rigidité plus grande (loi de mélange).

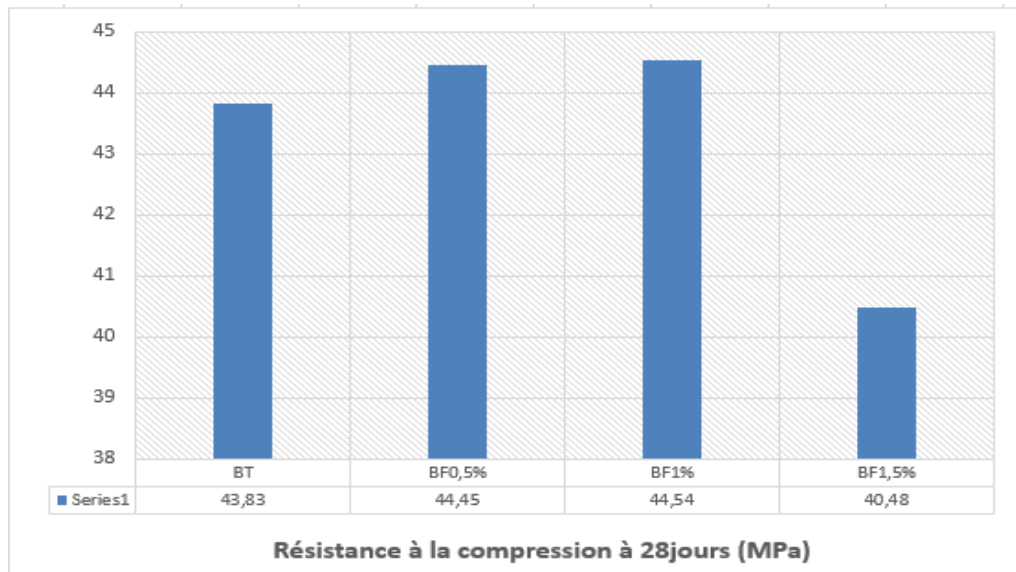


Figure III.3 Résistance à la compression des bétons élaborés

La résistance en compression est considérée comme une des principales propriétés d'un matériau cimentaire. Bien que n'étant pas la seule propriété à considérer, elle permet de donner une idée générale de la qualité de ce dernier. D'après la figure III.3, l'introduction de fibres métalliques dans le béton n'affecte que très peu la valeur de l'effort maximum de compression. De nombreuses études confirment cette affirmation. L'addition de fibres métalliques va cependant modifier le comportement post-pic du matériau. Les fibres vont ralentir la propagation des fissures ce qui engendre une amélioration de la déformation au pic ainsi qu'une augmentation de la déformabilité globale du matériau.

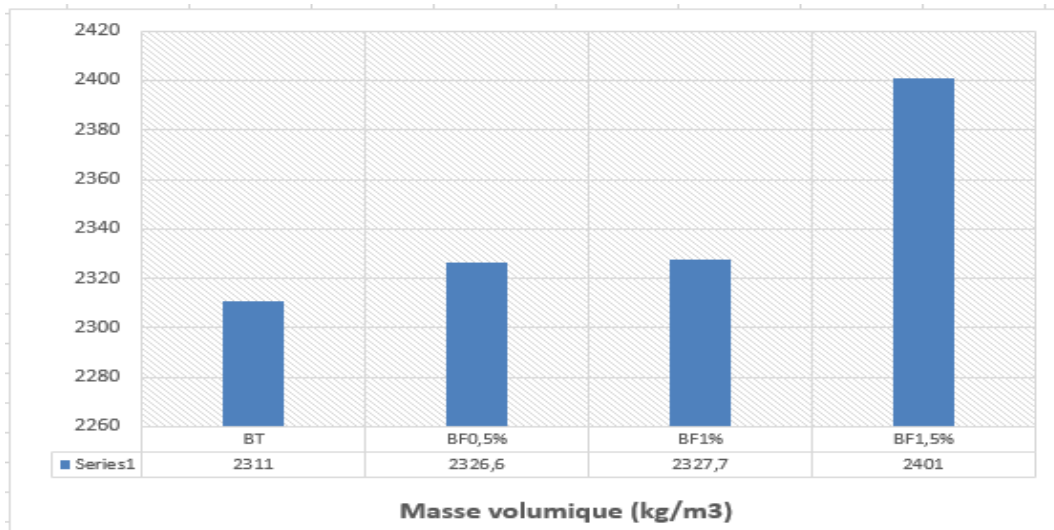


Figure III.4 Masse volumique des bétons élaborés

L'introduction de fibres dans des mortiers s'effectuant dans des proportions volumiques faibles, généralement inférieures à 2%, l'effet direct de ces fibres sur la masse volumique des matériaux cimentaires sera donc limité. Après les résultats présentés dans la figure III.4, la masse volumique augmente de 2311 à 2401 kg/m³ pour un dosage de 1,5% de fibres. Cette augmentation de la masse volumique peut s'expliquer par le fait que les fibres métallique sont plus denses que les grains des granulats qu'ils remplacent (7850 kg/m³ contre 2600 kg/m³).

III .3. Présentation de l'ouvrage

Le fonds de commerce objet de cette étude est un immeuble R+7 entre le rez-de-chaussée à usage commercial et 1-7 logements. A structure est en implantée dans la wilaya de Bouira. Cette région est classée en zone IIa Selon le règlement parasismique Algérien (RPA99/version 2003), et en site S3.

III .4.Caractéristiques géométrique de l'ouvrage :

En se basant sur les plans de coupes verticales et horizontales, les caractéristiques géométriques de l'ouvrage sont comme suit :

✓ *Dimensions en élévation:*

- Hauteur du RDC----- **3.06m**
- Hauteur étage courant ----- **3.06m**
- Hauteur totale y compris l'acrotère----- -- **27.82m**

✓ *Dimension en plan:*

- Longueur en plan -----**28.60**
- Largeur en plan----- -- **20.45m**
- Longueur du balcon ----- **3.85m**

Cet ouvrage comprend un type d'escaliers, et son groupe d'usage est groupe 2

III.5. Conception structurelle :

III.5.1 Choix du système de contreventement :

Notre bâtiment dépasse sept niveaux (27.82 mètres) et est situé en zone *IIa*. Le contreventement par portique est donc écarté (Art. 1-b du RPA99/version 2003), donc le choix va se porter voiles porteurs (voiles et portiques).

Pour un système de contreventement mixte, il y a lieu de vérifier ce qui suit :

- Les voiles de contreventement ne doivent pas reprendre plus de 20% des sollicitations dues aux charges verticales.
- Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

- Les portiques doivent reprendre, outre les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25 % de l'effort tranchant d'étage.

III.5.2 Plancher :

On appelle plancher nervuré l'ensemble constitué de nervures (ou poutrelles) supportant des dalles de faible portée.

Les nervures sont en béton armé, coulées sur place ou préfabriquées, et reposant sur des poutres principales ou des voiles.

On a opté pour des planchers à corps creux et ceci pour les raisons suivantes :

- La facilité de réalisation.
- Les portées de l'ouvrage ne sont pas importantes (max 4.5 m).
- Diminuer le poids de la structure et par conséquent la résultante de la force sismique.
- Minimiser le coût de coffrage.

III.5.3 Maçonnerie :

La maçonnerie de notre structure sera exécutée en briques creuses.

- ✓ Murs extérieurs : ils sont constitués en deux rangées
Brique creuse de 15 cm d'épaisseur.
L'âme d'air de 5 cm d'épaisseur.
Brique creuse de 10 cm d'épaisseur.
- ✓ Murs intérieurs (cloisons de répartition) : ils sont constitués par une cloison de 10 cm d'épaisseur.

III.5.4 Escaliers :

On a deux types d'escalier:

- Le premier est constitué de deux paliers fixés à une table en béton de part et d'autre du bâtiment
- Le deuxième escalier fait le tour de l'ascenseur

III.5.5 Revêtement :

Le revêtement est constitué de :

- Enduit en plâtre pour les plafonds.
- Enduit en ciment pour les murs extérieurs et les cloisons.
- Revêtement à carrelage pour les planchers.
- Le plancher terrasse sera recouvert par une étanchéité multicouche imperméable évitant la pénétration des eaux pluviales.

III.5.6 Acrotères :

La terrasse étant inaccessible, le dernier niveau est entouré d'un acrotère en béton armé d'une hauteur variant entre 60cm et 100cm et de 10cm d'épaisseur.

III.5.7 Local d'ascenseur :

L'ascenseur est un appareil élévateur permettant le déplacement vertical (elle fait le mouvement de vas et Vien) et accès aux différents niveaux du bâtiment, il est composé essentiellement de la cabine et de sa machinerie.

III.5.8 Balcons :

Le bâtiment comporte des balcons en dalle pleine.

III.6. Pré dimensionnement

Le pré-dimensionnement a pour but de déterminer les dimensions de différents éléments de la structure. Ces dimensionnement sont choisis selon les préconisations du **RPA99version2003**, **BAEL 91**, les résultats obtenus ne sont pas définitifs, ils peuvent être augmentés après vérification dans la phase de dimensionnement

III .6.1 Pré dimensionnement des dalles :

Les dalles sont des plaques minces limitant les différents niveaux d'un bâtiment dont l'épaisseur est faible par rapport aux autres dimensions, qui reposent sur 2, 3 ou 4 appuis. Leur rôle principale est la transmission des efforts horizontaux aux différents éléments de contreventement et la répartition des charges et surcharges sur les éléments porteurs. En plus de cette participation à la stabilité de la structure, ils offrent une isolation thermique et Acoustique entre les différents étages. L'épaisseur des dalles dépend le plus souvent beaucoup plus des conditions d'utilisation que des vérifications de résistance.

II.6.1.1 Dalles en corps creux :

L'épaisseur totale des planchers doit satisfaire les conditions suivantes :

a- Condition de résistance au feu :

Cette condition nous permet de donner une épaisseur minimale a la dalle afin d'assurer une protection suffisante vis-à-vis du feu pour une durée moyenne.

D'après BEAL 91 :

e = 7 cm pour une heure de coupe-feu.

e = 11 cm pour deux heures de coupe-feu

e = 17.5 cm pour quatre heures de coupe-feu

On admet : **e = 16 cm**

b- Condition de flèche :

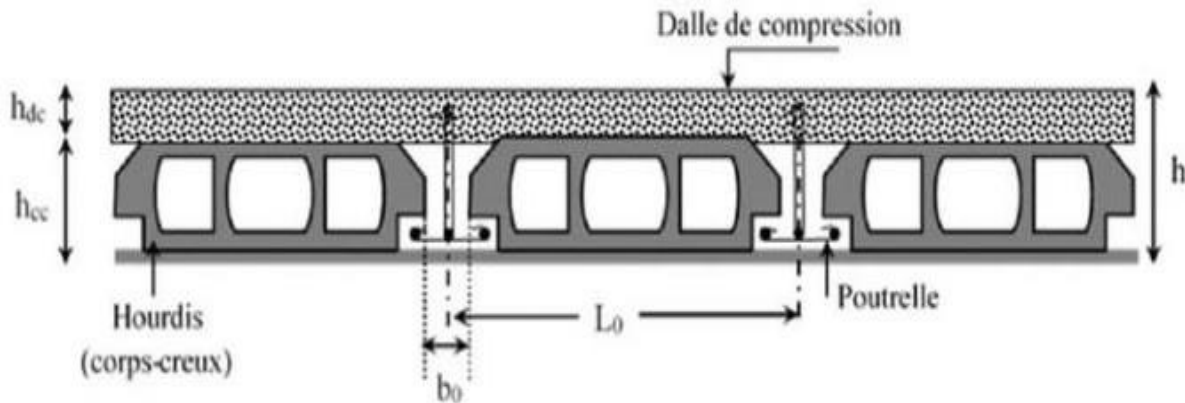


Figure III.5. Coupe verticale du plancher en corps creux.

Les planchers sont constitués des associés aux corps creux, pour le pré dimensionnement de la hauteur des poutrelles on utilisera les formules empirique suivante :

$$\frac{L}{25} \leq e \leq \frac{L}{20} \quad \text{III-1}$$

L : la distance entre nues d'appuis.

h_t : épaisseur du plancher.

$$L_{x \max} = 3.85 \text{ m}$$

$$L_{y \max} = 4.35 \text{ m}$$

Donc : $L = \min (L_x \max, L_y \max) = 3.85 \text{ m}$

On a: $L = 385 \text{ cm}$

$$\frac{385}{25} \leq e \leq \frac{385}{20}$$

$$\text{D'où} \quad 15.4 \leq e \leq 19.25$$

Donc l'épaisseur de : $e = 16 \text{ cm}$

c- Isolation phonique :

Selon les règles techniques « **CBA93BAEL 91** » en vigueur en Algérie l'épaisseur du plancher doit être supérieure ou égale à 13 cm pour obtenir une bonne isolation acoustique.

On limite donc notre épaisseur à : $e = 16 \text{ cm}$

Conclusion :

$$h_t = 20 \text{ cm}$$

Tel que : $h_t (16 + 4) = 20 \text{ cm}$ (Hauteur du Corps creux).

$d = 4 \text{ cm}$ (Hauteur de la dalle de compression).

d- Les poutrelles :

La section transversale des nervures est assimilée à une section en (T) de caractéristique géométrique suivant :

h_t : épaisseur du plancher (hauteur de la poutrelle) = 20 cm.

h_0 : Hauteur de la dalle de compression.

b : Largeur efficace.

b_0 : Largeur de la nervure.

Détermination de b_0

On a:

$$0.4 h_t \leq b_0 \leq 0.8 h_t \quad \longrightarrow \quad 0.4 \times 20 \leq b_0 \leq 0.8 \times 20$$

Donc: $b_0 = 12$ cm.

Détermination de la largeur de la table de compression :

$$b = 2b_1 + b_0$$

$$b = \min (11/2, 1/10, 0.6 h \leq b \leq 0.8 h)$$

$$b_1 = \min (24, 28, 28) \quad \longrightarrow \quad b_1 = 24 \text{ cm} \quad b = 60 \text{ cm}$$

Tableau récapitulatif :

Tableau III.1. Tableau récapitulatif

Caractéristiques géométriques	Valeur (cm)
Épaisseur de la dalle de compression (h_0)	4 cm
hauteur totale de plancher (corps creux)	20 cm
Entre axes des nervures (b)	60 cm
Largeur des nervures (b_0)	12 cm

III.6.1.2 Dalles pleines (Les Balcons):

a- Résistance à la flexion :

- Dalles reposant sur deux côtés : $L_x / 35 \leq e \leq L_x / 30$.
- Dalles reposant sur trois ou quatre cotés : $e \geq L_x / 20 + 7$

L_x : est la petite portée du panneau le plus sollicité (cas défavorable)

$$e \geq 150 / 20 + 7 \Rightarrow e \geq 14 \text{ cm}$$

Doit être au moins égale à 12cm isolation acoustique (d'après RPA 99/V2003).

Donc on prend : $e = 15 \text{ cm}$

Remarque

Concernant le pré dimensionnement des dalles des balcons on adopte une épaisseur :

$e = 15 \text{ cm}$

III.6.2 Pré dimensionnement des poutres :

Les poutres sont des éléments horizontaux en béton armé coulé sur place supportant les charges et surcharges. Leur pré-dimensionnement s'effectue par des formules données par le **BAEL91** et vérifie les dimensions données par le **RPA2003 version 2003**.

III.6.2.1 Les poutres principales :

Selon les conditions de la flèche : $h_t = [L/10 \div L/15]$ $b \geq h_t / 2$

$$0.3h \leq b \leq 0.7h$$

Selon le BAEL 91 on a : $L = 4,25 \text{ m}$

$$28.33 \text{ cm} \leq h \leq 42.5 \text{ cm} \quad \text{on prend } h = 40 \text{ cm}$$

$$12 \text{ cm} \leq b \leq 32 \text{ cm} \quad \text{on prend } b = 30 \text{ cm}$$

Vérifications selon le RPA99 version 2003 :

$$h = 40 \text{ cm} \Rightarrow h \geq 30 \text{ cm} \quad \text{vérifié}$$

$$b = 30 \text{ cm} \Rightarrow b \geq 20 \text{ cm} \quad \text{vérifié}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{40}{30} = 1.33 \Rightarrow \frac{h}{b} \leq 4 \text{ vérifié}$$

On opte pour poutres de section $(b, h) = (30, 40)$

III.6.2.2 Les poutres secondaires :

Selon le BAEL 91 on a : $L = 3,85$ m

$25.67 \text{ cm} \leq h \leq 38.5 \text{ cm}$ on prend $h = 30 \text{ cm}$

$9 \text{ cm} \leq b \leq 21 \text{ cm}$ on prend $b = 30 \text{ cm}$

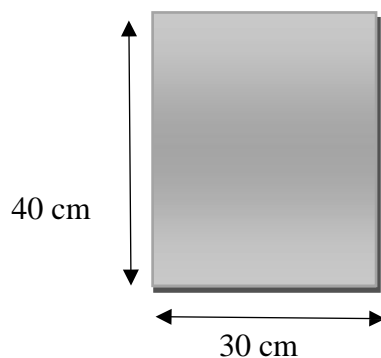
Vérifications selon le RPA99 version 2003 :

$h = 30 \text{ cm} \Rightarrow h \geq 30 \text{ cm}$ vérifié

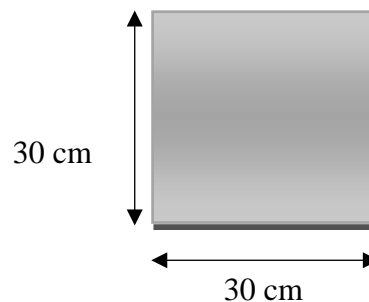
$b = 30 \text{ cm} \Rightarrow b \geq 20 \text{ cm}$ vérifié

$\frac{h}{b} = \frac{30}{30} = 1 \Rightarrow \frac{h}{b} \leq 4$ vérifié

On opte pour poutres de section $(b, h) = (30, 30)$



Dimension poutre principales



dimension poutre secondaires

III.6.3 Les voiles :

Le pré-dimensionnement des murs en béton armé est justifié par l'article 7.7.1

Du RPA99. Ils servent d'une part à contreventer le bâtiment en reprenant la totalité des efforts horizontaux (séisme et vent) et d'autre part de reprendre les efforts verticaux qu'ils transmettent aux fondations

- Les charges verticales : charges permanentes et surcharges.
- Les actions horizontales : effet de séisme ou du vent.
- Les voiles assurant le contreventement sont supposés pleins.
- Seuls les efforts de translation seront pris en compte.

D'après cet article :

❖ « Les éléments satisfaisants la condition ($L \geq 4e$) sont considérés comme des voiles. »

Avec : L : porté du voile.

e : épaisseur du voile.

- ❖ « L'épaisseur minimale est de 15 cm », l'épaisseur doit aussi être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage h_e et des conditions de rigidité aux extrémités du voile comme indiquée sur les figures suivantes :

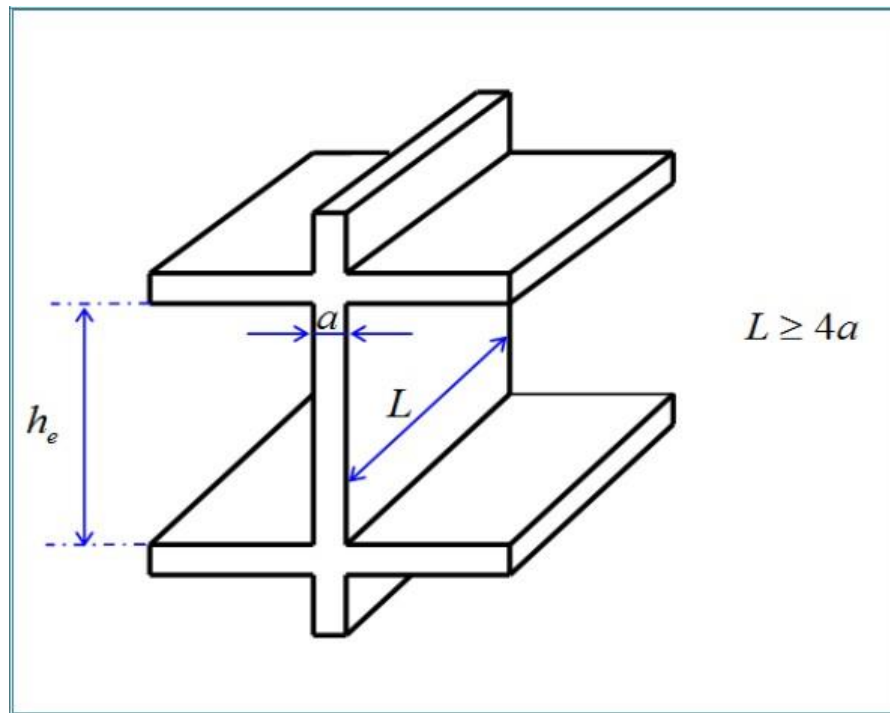


Figure III.6. Coupe du voile en élévation.

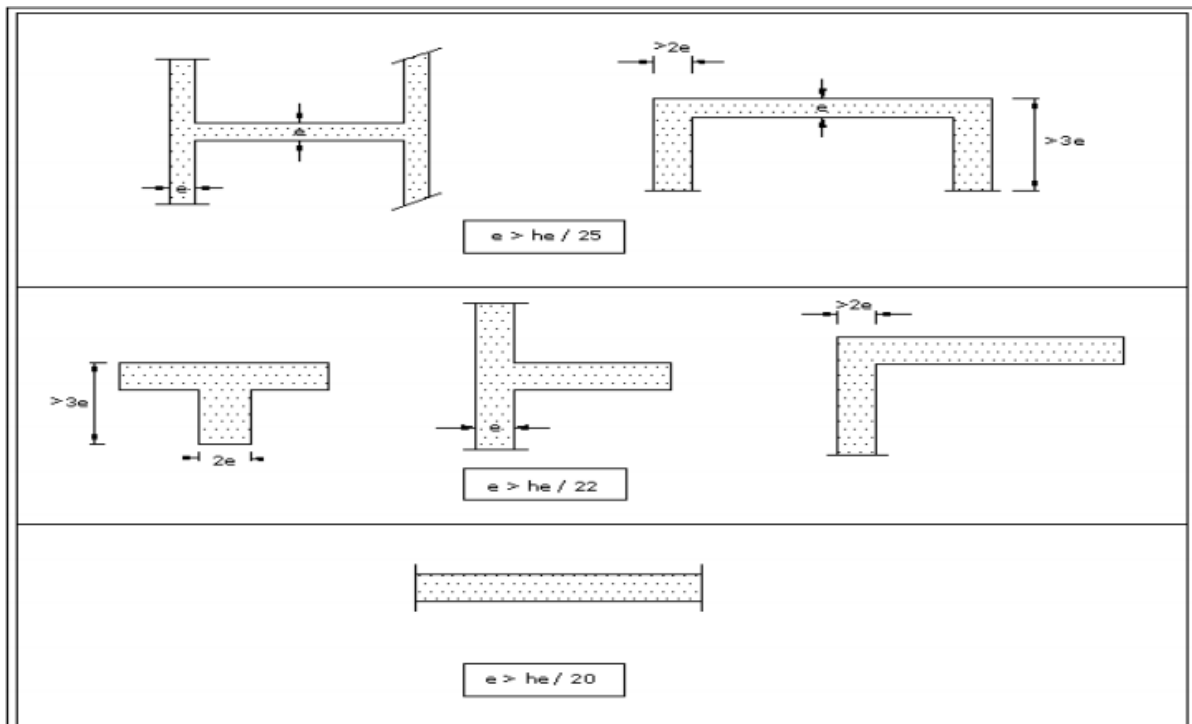


Figure III-7: Coupe de voile en plan.

Dans notre cas et du fait que l'on va prendre la même épaisseur pour tous les voiles de contreventement du bâtiment longitudinalement et transversalement, et aussi vu que les différents voiles possèdent différentes conditions de liaisons aux limites nous aurons donc :

$$e \geq \max (h_e/25 ; h_e/22 ; h_e/20) \text{ avec : } h_e = 3.06 \cdot \text{ hauteur d'étage}$$

On

$$e \geq \max (12.24 ; 13.90 ; 15.30) \text{ cm}$$

Conclusion : On prendra pour tous les voiles de la structure une épaisseur de:

Tableau III.2. Epaisseur de voiles

Niveau	Epaisseur e (cm)
RDC, 1 ^{er} étage7	20 cm

III.6.4 Les escaliers :

Dans une structure la circulation verticale se fait par l'intermédiaire des escaliers ou par l'ascenseur .l'escalier se compose d'une ou de plusieurs volées, comportant des marches et des paliers d'arrivée, de départ et éventuellement, des paliers intermédiaires. Les escaliers sont caractérisés par les dimensions suivantes :

H : Hauteur 'étage

g : Giron

ep: épaisseur de paillasse

h : hauteur de la contre marche

L : la longueur de la paillasse pochetée

n : nombre de contre marche

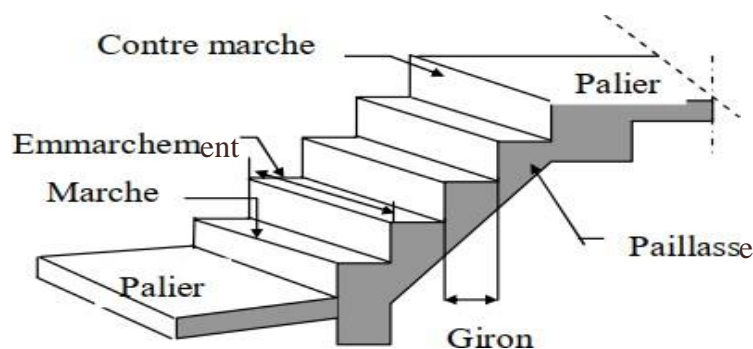


Figure III.8. Schéma d'escalier

a-Schéma statique de l'escalier :

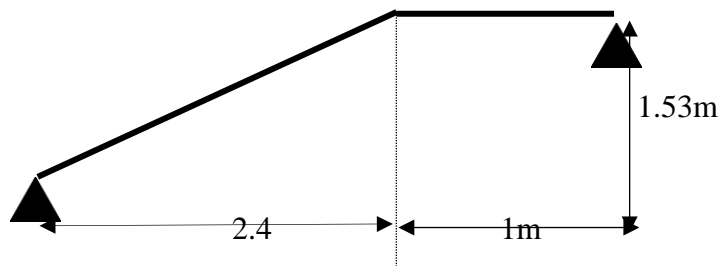


Figure III.8. Schéma terminologie d'escalier

b-Détermination de l'épaisseur de la paillasse :

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \quad \text{III-2}$$

$$L = 3 + 1 = 4 \text{ m}$$

On prend donc l'épaisseur : $e = 17 \text{ cm}$

d-Détermination de nombre des marches :

Hauteur : $H=3,06 \text{ m}$.

Giron : $g = 30 \text{ cm}$.

Hauteur de la marche à partir de la formule de BLONDEL :

$$\text{On a: } 59 < 2h+g < 66 \Rightarrow 14,5 < h < 18.$$

h : varié de 14 cm à 20 cm.

g : varié de 22 cm à 33 cm.

c- L'emmarchement :

On adopte un jour de : 20 cm

=> Longueur de l'emmarchement :

$$L = (2.4-0.4)/2 = 1 \text{ m}$$

III.6.5 Les poteaux :

III.6.5.1 Descente de charges :

La descente des charges désigne l'opération consistant à calculer les efforts

Normaux résultant de l'effet des charges verticales sur les divers éléments porteurs verticaux (poteaux ou murs) ainsi que les fondations, afin de pouvoir procéder à leur dimensionnement.

Toute charge agissant sur une dalle a tendance à être reportée par celle-ci sur les porteurs verticaux les plus proches

a- Choix du poteau le plus sollicité :

Poteau central :

Dans notre structure, le poteau le plus sollicité est les poteaux (E-5) avec une surface offerte :
 $S = 14.05 \text{ m}^2$

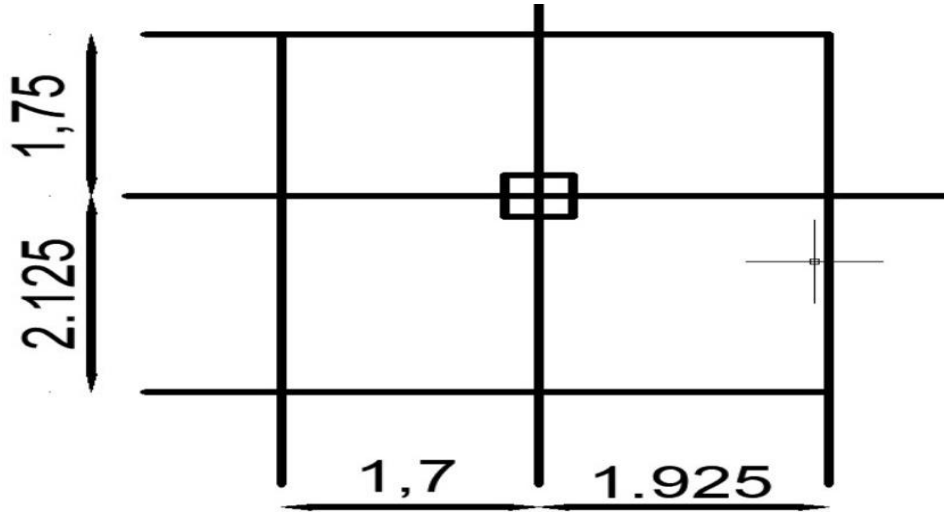


Figure. III.10. Poteau central plus sollicité.

b- Calcul des charges et surcharges revenant au poteau :

Dégression des charges d'exploitation :

Comme il est rare que toutes les charges d'exploitation agissent simultanément, on applique pour leur détermination la loi de dégression qui consiste à réduire les charges identiques à chaque étage de 10% jusqu'à 0,5Q.

Sous terrasse : Q_0

Sous 8ème étage : $Q_0 + Q_1$

Sous 7ème étage : $Q_0 + 0,90 Q_1$

Sous 6ème étage : $Q_0 + 0,80 Q_1$

Sous 5ème étage : $Q_0 + 0,70 Q_1$

Sous 4ème étage : $Q_0 + 0,60 Q_1$

Sous 3ème étage : $Q_0 + 0,50 Q_1$

Sous 2ème étage : $Q_0 + 0,50 Q_1$

Sous 1ème étage : $Q_0 + 0,50 Q_1$

Le bâtiment est a usage d'habitation courant, ce qui implique :

$Q_0 = 1,000 \text{ KN/m}^2$ Terrasse Non Accessible.

$Q_1 = 1,500 \text{ KN/m}^2$ Etage Courant.

$Q_2 = 2.500 \text{ KN/m}^2$ Etage Courant

Tableau III.3 Équation de charge en termes de Br

Niveaux	Gi (KN)	Qi (KN)	Nu (KN)
8	108,02+76,5 Br	14,05	201,95+124,96Br
7	95,374 +76,5 Br	21,075	194,05 + 124,96Br
6	95,374 +76,5 Br	18,9675	190,23 + 124,96Br
5	95,374 +76,5 Br	16,86	186,4+ 124,96Br
4	95,374 +76,5 Br	14,7525	182,57 + 124,96Br
3	95,374 +76,5 Br	12,645	178,75 + 124,96Br
2	95,374 +76,5 Br	10,5375	174,92 + 124,96Br
1	95,374 +76,5 Br	10,5375	174,92 + 124,96Br

Estimation des sections droites :

Et d’après les règles BAEL91 ; la section réduite Br est donnée par la formule suivante :

$$Br \geq \frac{Nu}{25.5 \alpha} \quad Nu = x + yBr \quad \text{III-3}$$

$$Br \geq \frac{x10^3 + y10^{-6}}{25.5\alpha}$$

Tableau III.4. Estimation des sections droites

Niv	Nui (KN)	Nu Cumulé (KN)	λ	α	Br (mm ²)	a.b	vér
8	201,95+124,96Br	201,95+124,96Br	24,733	0,773	78400	30*30	C V
7	194,05 + 124,96Br	403,9+249,92Br	24,733	0,773	78400	30*30	C V
6	190,23 + 124,96Br	597,95+374,88Br	24,733	0,773	78400	30*30	C V
5	186,4+ 124,96Br	788,18+499,84Br	18,55	0,805	106400	30*40	C V
4	182,57 + 124,96Br	992,4+624,8Br	18,55	0,805	106400	30*40	C V
3	178,75 + 124,96Br	1174,97+749,76Br	18,55	0,805	106400	30*40	C V
2	174,92 + 124,96Br	1353,71+874,72Br	14,84	0,82	182400	40*50	C V
1	174,92 + 124,96Br	1528,63+999,63Br	14,84	0,82	182400	40*50	C V

➤ Vérification des dimensions :

L'article 7.4.1 des RPA99/Version2003 exige que les dimensions de la section transversale des poteaux doivent satisfaire les conditions suivantes (en zone IIa):

α : Coefficient de correction dépendant de l'élanement mécanique λ des poteaux qui prend les valeurs :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \times l_f}{a} l_f = 0.7l$$

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \lambda \leq 50$$

On se fixe un élanement mécanique $\lambda=35$ pour rester toujours dans le domaine de la Compression centrée (stabilité vis à vis du flambement).

III.7 L'étude du comportement dynamique des structures

L'étude dynamique consiste à déterminer les caractéristiques de vibration, qui peuvent se développer dans une construction donnée, en vue de l'estimation de charge sismique de calcul la plus défavorable

L'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente réellement, est souvent très complexe et demande un calcul très fastidieux voire impossible. C'est pour cette raison qu'on fait souvent appel à des modélisations qui permettront de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser

▪ L'objectif principal de notre étude

L'objectif initial de l'étude est de déterminer l'effet des fibres métallique sur le comportement dynamique de la structure dans des états de vibration libre et de déplacement lors d'un séisme.

- Les résultats sont documentés par comparaison selon le Cas de structure :
(BT ; BF 0.5% ; BF 1% ; BF 1.5%)

III.7.1 Choix de la méthode de calcul (art 4.1 RPA99/2003 ; P33)

L'étude sismique a pour but de calculer les forces sismiques. Ces forces peuvent être déterminées par l'une des deux méthodes suivantes :

- ✓ Méthode statique équivalente.
- ✓ Méthode d'analyse modale spectrale.

III .7.1.1 Méthode statique équivalente (art 4.2 RPA99/2003)65

Les forces dynamiques réelles qui se développent dans la structure sont remplacées par un système de forces statiques fictives dont les effets sont considérés équivalents aux effets de l'action sismique.

Cette méthode ne peut être dissociée de l'application rigoureuse des dispositions constructives garantissant la structure

- ✓ Une ductilité suffisante
- ✓ La capacité de dissiper l'énergie vibratoire transmise à la structure par des secousses sismique majeure.

La méthode statique équivalente peut être utilisée dans les conditions suivantes: Le bâtiment étudié, satisfait aux conditions de régularité en plan et en élévation avec une hauteur ne dépassant pas 65m en zone I et IIa et à 30 m en zone IIb et III.

- Dans cette étude, notre bâtiment est situé en zone IIa et de hauteur $h = 27.82 \text{ m} < 65 \text{ m}$
- Régularité en plan : (art 3.5.1.a RPA99/2003)

$$\frac{L_1 + L_2}{L} \leq 0.25$$

$$\frac{3+3.4+3.4+3}{28.6} = 0.45 > 0.25 \dots\dots\dots \text{La condition est non vérifiée}$$

- Régularité en élévation (art 3.5.1.b RPA99/2003 ; P31)
L n'ai aucun décrochement en élévation dans le bâtiment donc classée régulière en élévation **La condition est vérifiée**

➤ Calcul la force sismique

Dans cette méthode, l'intensité effective de l'action sismique est donnée sous la forme d'effort tranchant maximum à la base de la structure.

$$v = \frac{ADQ}{R} W \quad \text{III-4}$$

A : coefficient d'accélération de la zone

D : facteur d'amplification dynamique moyen

Q: facteur de qualité

R: coefficient de comportement global de la structure

W: poids totale de la structure

✓ Coefficient d'accélération A :

Le Coefficient d'accélération en zone **IIa** est donné par le tableau (4.1) de RPA99/Version 2003 Suivant la zone sismique et le groupe d'usage du bâtiment.

Pour un groupe d'usage **2** en zone **IIa** on a : **A = 0,15**

✓ **Le facteur de qualité Q**

La valeur de Q est déterminée par la formule : $Q = 1 + \sum Pq$

Sa valeur est donnée suivant le **RPA dans le tableau [4.4]**

Tableau III-5: détermination du facteur de qualité Q

Critère q	x-x	y-y
Conditions minimales sur les files de contreventement	0,05	0,05
Redondance en plan	0	0
Régularité en plan	0	0,05
Régularité en élévation	0	0
Contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
Contrôle de la qualité de l'exécution	0,1	0,1
$Q = 1 + \sum Pq$	1,2	1,25

✓ **Coefficient de comportement global de la structure R**

Pour Portiques contreventés par des voiles

$$R = 4$$

✓ **Poids total de la structure w**

W : poids total de la structure égale à la somme des poids W_i calculés à chaque niveau (i).

$$W = \sum W_i \text{ avec: } W_i = W_{Gi} + \beta W_{Qi} \quad i=1, 2, 3, \dots, n$$

β : coefficient de pondération qui dépend de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau [4.5] **β=0.2**

Tableau III.6 valeur W_{Total} donnée par logiciel ROBOT

Cas	W_{Total} (kN)
BT	38044,64
BF 0.5%	38044,64
BF 1%	38420,25
BF 1.5%	38640,84

D'après les résultats III.6 On remarque que le poids total de la structure augmenté avec le Dosage de fibres en raison du changement de densité

✓ **Facteur d'amplification dynamique moyen D:**

Facteur d'amplification dynamique en fonction de la catégorie de site du facteur de correction d'amortissement (η) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$D = \begin{cases} 2,5 \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2,5 \eta (T_2/T)^{3/2} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2,5 \eta (T_2/T)^{3/2} (3/T) & T \geq 3s \end{cases} \quad \text{III-5}$$

η : Facteur de correction d'amortissement donnée par la formule :

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{2+\xi}} \geq 0.7$$

(%) : est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

ξ (%) : est donnée par le tableau (4.2.RPA99V2003).

Nous avons un portique en Béton Armé avec remplissage dense (%) = 7 %

$$\text{Donc : } \eta = \sqrt{\frac{7}{2+7}} = 0.882 \geq 0.7$$

Les périodes : site rocheux (site : S2). Donnée par l'article (3.3.1.RPA99V2003)

On a : $T_1 = 0.15 \text{ sec}$ $T_2 = 0.4 \text{ sec}$

✓ **C_T : Coefficient fonction de système de contreventement**

Remplissage et donné par le tableau (4.6.RPA99V2003).

Dans notre cas on a contreventement assuré partiellement ou totalement par des voiles en béton armé donc :

$$C_T = 0,05$$

✓ **$T_{analytique}$: valeur donnée par logiciel ROBOT**

✓ **Estimation de la période fondamentale T :**

$$T = 0.09 h_N / \sqrt{D} \quad \text{III-6}$$

$$T = C_T h_N^{3/4} \quad \text{III-7}$$

h_N : Hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N).

$$h_N = (3.06 \times 8) = 24.48 \text{ m}$$

D : la dimension du bâtiment mesuré à sa base dans la direction de calcul considérée.

CHAPETRE III: RESULTATS D'ETUDES DYNAMIQUES ET COMPARATIVE

Dans notre cas on a : $L_x=28.6 \text{ m}$ $L_y=20.45\text{m}$

$$1/ \quad T_x=T_y= 0,05 \times (24.48)^{3/4} = \mathbf{0.55s}$$

$$2/ \quad T_x= 0,09 \times 24.48 / \sqrt{28.6} = \mathbf{0.412s}$$

$$T_y= 0,09 \times 24.48 / \sqrt{20.45} = \mathbf{0.49s}$$

- Nous choisissons : $T= \min [0.09h_N/\sqrt{D}; C h_N^{3/4}; T \text{ analytique}]$

Tableau III. 7 Résumé des résultats la période fondamentale T

Cas %	$T_{analytique}$		$0.09h_N/\sqrt{D}$		$CTh_N^{3/4}$	$\min [0.09h_N/\sqrt{D}; CTh_N^{3/4}; T \text{ analy}]$	
	T_x	T_y	$D_x \text{ m}$	$D_y \text{ m}$		T_x	T_y
BT	0.701	0.502	0.412	0.49	0.55	0.412	0.49
BF 0.5%	0.689	0.494				0.412	0.49
BF 1%	0.688	0.493				0.412	0.49
BF 1.5%	0.681	0.488				0.412	0.488

⇒ Calcule Facteur dynamique moyen **D**

On a : $T_2 = 0.4 \text{ sec}$

Donc : $(T_x = 0.412 ; T_y = 0.49) > T_2 = 0.4 \text{ sec}$ $2,5 \eta$

$$(T_2/T)^{3/2} \quad T_2 \leq T \leq 3s$$

$$\rightarrow D_x = 2,5 \times 0.882 \times (0.4/0.412)^{3/2} \rightarrow \mathbf{D_x = 2,14}$$

$$\rightarrow D_y = 2,5 \times 0.882 \times (0.4/0.412)^{3/2} \rightarrow \mathbf{D_y = 1,80}$$

➤ Calcule La force sismique pour les 4 cas :

Tableau III.8 résultats La force sismique sens X

Cas	$W_{Total} \text{ (kN)}$	A	R	<u>Q_x</u>	<u>D_x</u>	$V_x \text{ (kN)}$
BT	38044,64	0,15	4	<u>1,2</u>	<u>2,14</u>	3663,698832
BF 0.5%	38044,64					3663,698832
BF 1%	38420,25					3699,870075
BF 1.5%	38640,84					3721,112892

Tableau III.9 résultats La force sismique sens Y

Fibre %	W _{Total} (kN)	A	R	Q _Y	D _Y	V _Y (kN)
BT	38044,64	0,15	4	<u>1,25</u>	<u>1,8</u>	3210,0165
BF 0.5%	38044,64					3210,0165
BF 1%	38420,25					3241,708594
BF 1.5%	38640,84					3260,320875

III.7.1.2 Méthode d'analyse modale spectrale (art 4.3 RPA99/2003)

La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des efforts engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces efforts sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

➤ Résultats trouvée par logiciel ROBOT

Le logiciel de calcul adopté pour effectuer cette analyse est le progiciel (groupe de logiciels) ROBOT structural analyses Professional 2015.

Le système ROBOT est un logiciel CAO/DAO destiné à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. Le ROBOT permet de modéliser les Structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure. La dernière étape gérée par le ROBOT est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée.

Les principales caractéristiques du progiciel ROBOT sont les suivantes :

- La définition de la structure réalisée en mode entièrement graphique dans l'éditeur conçu pour cet effet
- La possibilité d'importer la géométrie de la structure définie dans un autre logiciel CAO/DAO.
- La possibilité de présentation graphique sur la structure étudiée ou par des tableaux les différents types de résultats de calcul (efforts internes, déplacements, contrainte,...etc.)
- La possibilité d'effectuer l'analyse statique et dynamique de la structure grâce à une large gamme de solveurs dynamique

✓ **Combinaisons d'action**

ELU : $1.35G+1.5Q$

ELS : $G+Q$ $G+0.2Q$

ACC: $G+Q+E_Y$ $G+Q-E_Y$ $0.8G+E_Y$ $0.8G-E_Y$

: $G+Q+E_X$ $G+Q-E_X$ $0.8G+E_X$ $0.8G-E_X$

✓ **Structure étudiée 3D**

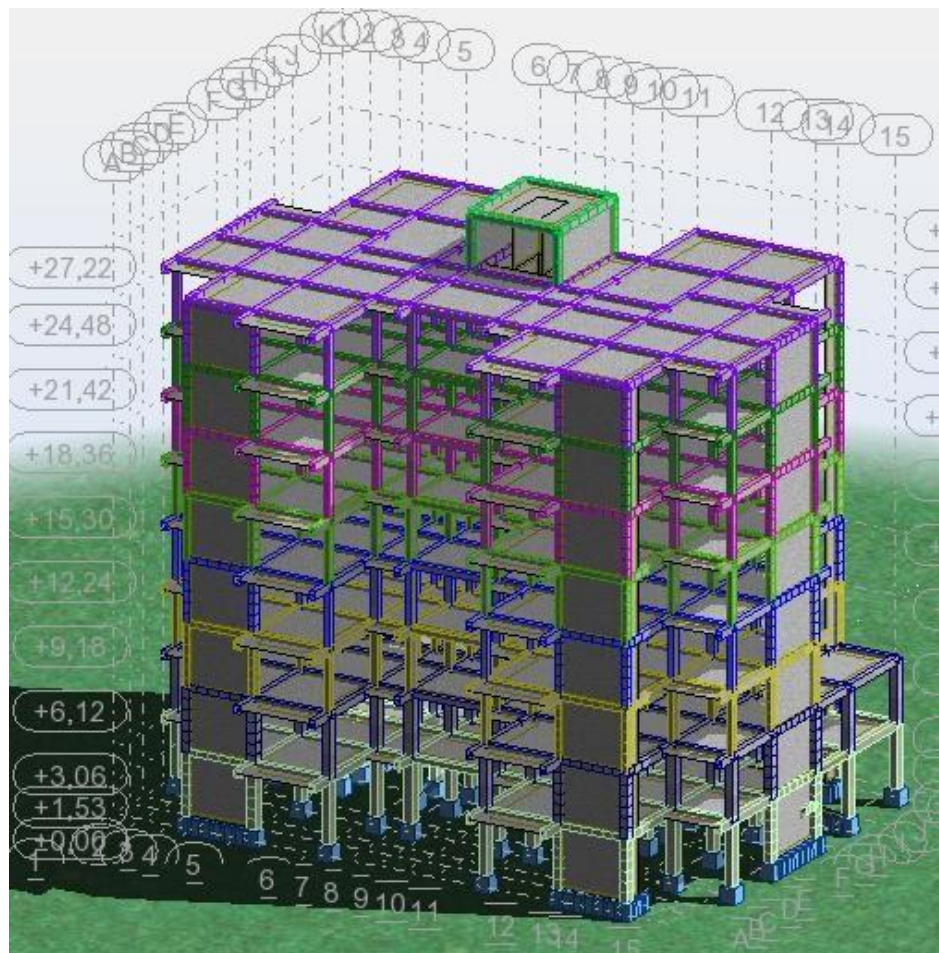


Figure III.11. Structure en 3D

✓ **Disposition des voiles**

Plusieurs dispositions ont été testées afin d'aboutir à un meilleur comportement de la structures en satisfaisant à la fois les contraintes architecturales et l'interaction (Voile-portique).

On a abouti à la disposition suivante :

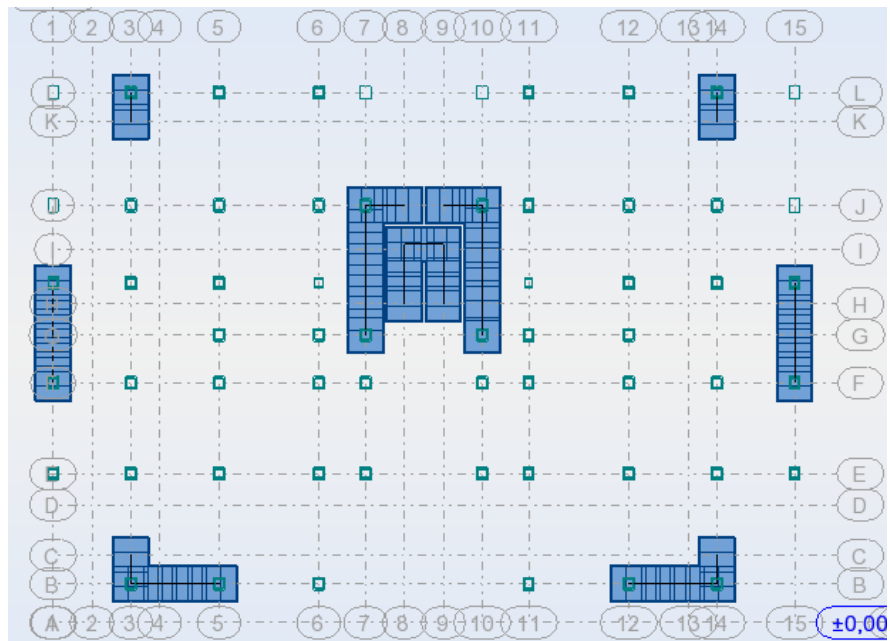


Figure III.12. Disposition des voiles

III.7.2 Modélisation de la réponse structurale

L'analyse dynamique appliquée dans le robot permet d'observer les réponses du bâtiment aux effets horizontaux.

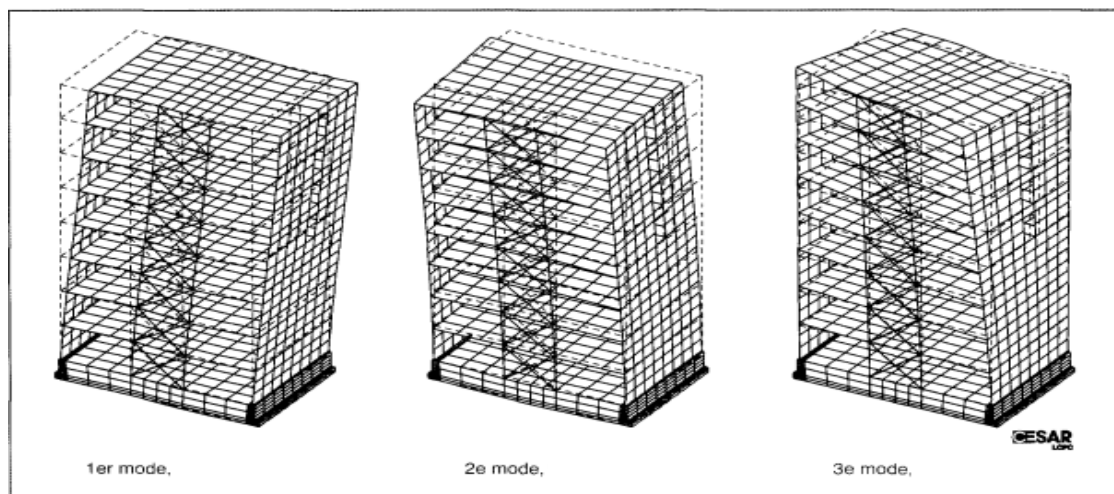


Figure III.13- Modes propres de la structure

❶ Vérification le période pour Cas BT

✓ Vue déformée

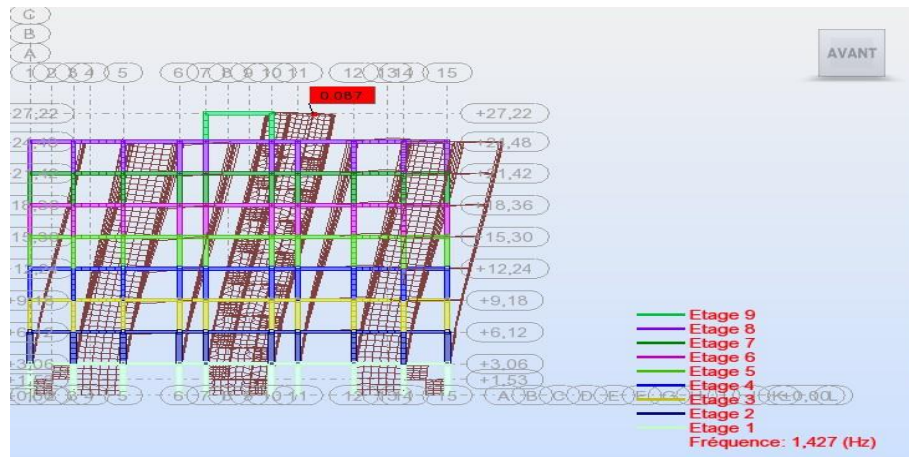


Figure III 14. 1er mode

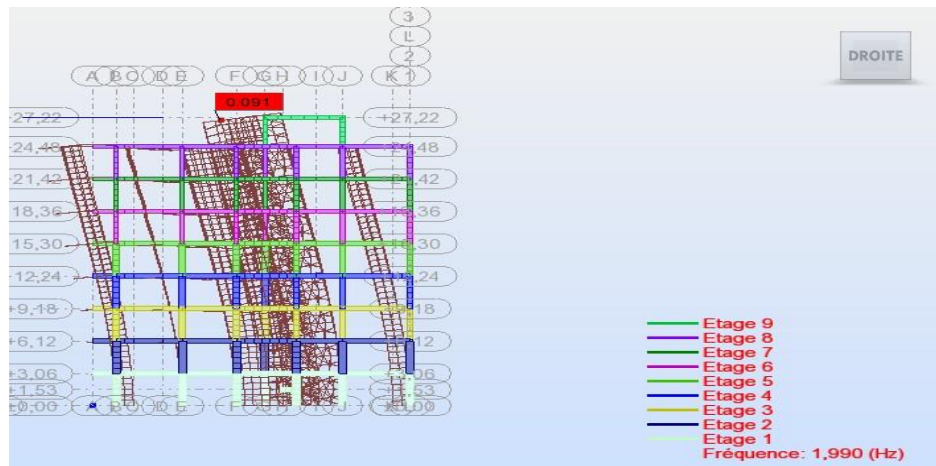


Figure III 15. 2ème mode

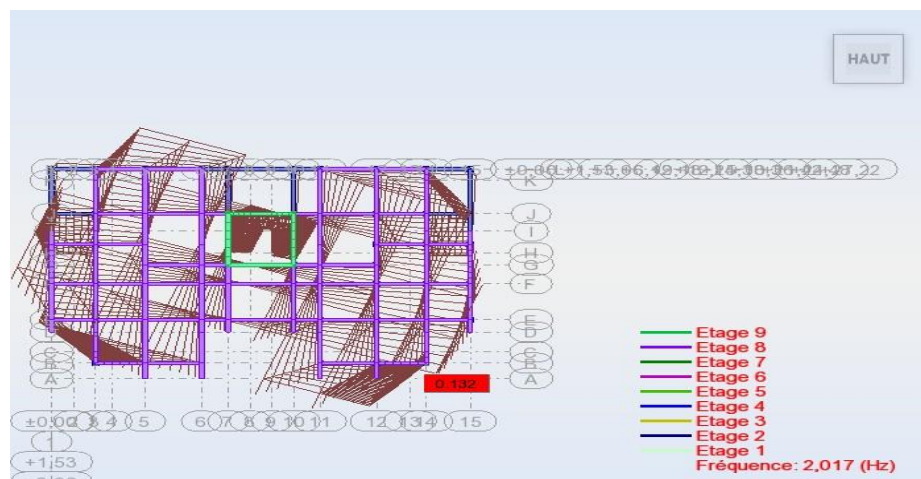


Figure III.16 : 3ème mode

✓ Résultats de l'analyse dynamique

Tableau III 10: Modes propres de la structure.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses C UX [%]	Masses C UY [%]	Masse M UX[%]	Masse M UY [%]
3/ 1	1,427	0,701	65,209	0	65,209	0
3/ 2	1,99	0,502	65,211	62,991	0,002	62,991
3/ 3	2,017	0,496	65,968	63,015	0,757	0,024
3/ 4	5,113	0,196	82,227	63,015	16,259	0
3/ 5	7,693	0,13	82,679	63,033	0,452	0,017
3/ 6	8,11	0,123	82,679	83,58	0	20,547
3/ 7	8,523	0,117	83,925	83,58	1,246	0
3/ 8	10,233	0,098	89,764	83,583	5,839	0,004
3/ 9	10,781	0,093	90,401	83,585	0,637	0,001
3/ 10	15,166	0,066	92,29	83,598	1,889	0,013
3/ 11	17,226	0,058	92,305	90,408	0,015	6,81
3/ 12	17,743	0,056	92,432	90,558	0,127	0,149
3/ 13	17,926	0,056	92,434	90,621	0,002	0,063
3/ 14	19,051	0,052	92,626	90,621	0,192	0
3/ 15	19,57	0,051	92,628	91,456	0,002	0,835

- **Constatation**

1°/ Ce modèle présente une période fondamentale **T = 0,701sec.**

2°/ 1^{er} et 2^{ème} modes sont des modes de translation

3°/ Le 3ème mode est un mode de rotation.

4°/ La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à **90 %** de la masse totale de la structure.

Direction xx : 9 modes (**90,401%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 11 modes (**90,408%** de la masse sismique de la structure)

Remarque :

T = 0,701 sec > 1,30×0, 49 = 0,639 sec.

② Vérification le période pour Cas BF 0.5%

✓ Vue déformée



Figure III 17. 1er mode



Figure III 18.2ème mode

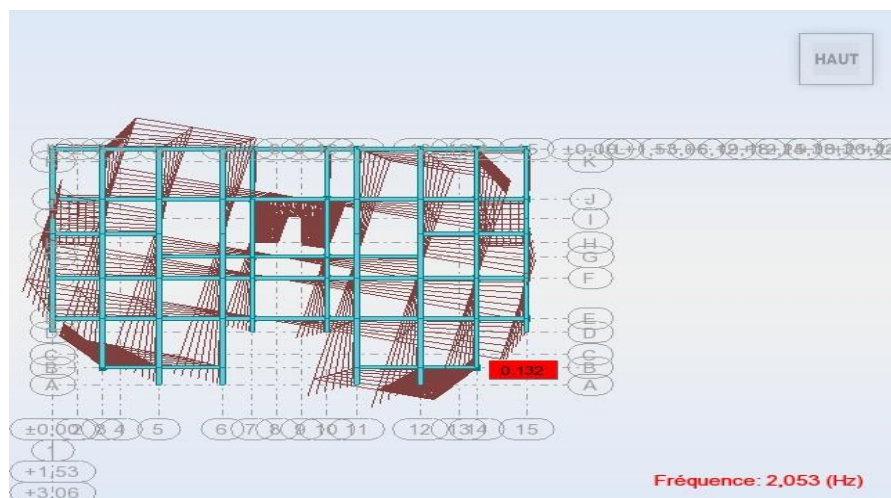


Figure III.19 : 3ème mode

✓ Résultats de l'analyse dynamique

Tableau III 11: Modes propres de la structure.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses C UX [%]	Masses C UY [%]	Masse M UX [%]	Masse M UY [%]
3/ 1	1,452	0,689	65,2	0	65,2	0
3/ 2	2,026	0,494	65,201	62,992	0,002	62,992
3/ 3	2,053	0,487	65,964	63,016	0,763	0,024
3/ 4	5,203	0,192	82,222	63,016	16,259	0
3/ 5	7,824	0,128	82,676	63,033	0,453	0,017
3/ 6	8,256	0,121	82,676	83,581	0	20,548
3/ 7	8,676	0,115	83,923	83,581	1,247	0
3/ 8	10,413	0,096	89,743	83,585	5,82	0,004
3/ 9	10,964	0,091	90,401	83,586	0,658	0,001
3/ 10	15,435	0,065	92,29	83,599	1,889	0,013
3/ 11	17,534	0,057	92,305	90,386	0,015	6,786
3/ 12	18,053	0,055	92,429	90,557	0,124	0,171
3/ 13	18,229	0,055	92,434	90,612	0,005	0,055
3/ 14	19,386	0,052	92,627	90,612	0,193	0
3/ 15	19,905	0,05	92,629	91,457	0,002	0,845

- **Constatation:**

1°/ Ce modèle présente une période fondamentale **T = 0,689sec.**

2°/ 1^{er} et 2^{ème} modes sont des modes de translation

3°/ Le 3ème mode est un mode de rotation.

4°/ La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à **90 %** de la masse totale de la structure.

Direction xx : 9 modes (**90,401%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 11 modes (**90,386%** de la masse sismique de la structure)

Remarque :

T = 0,689 sec > 1

③ Vérification le période pour Cas BF 1%

✓ Vue déformée

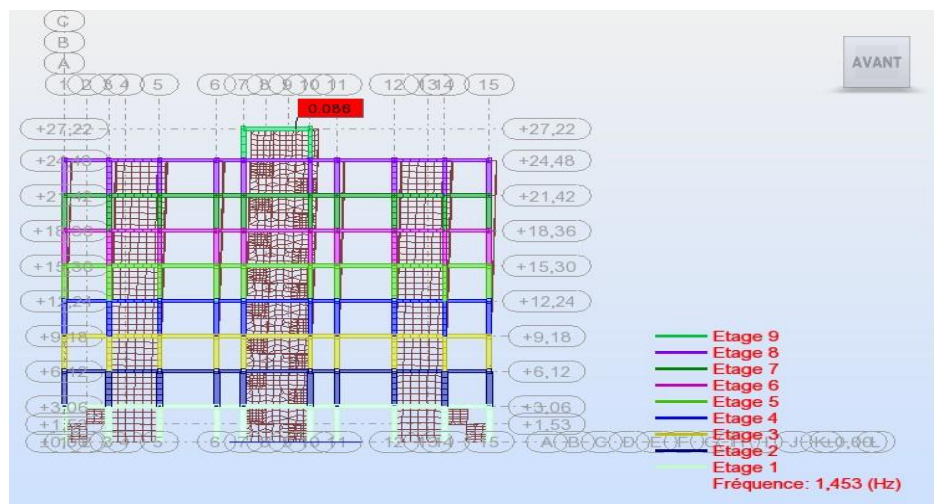


Figure III 20. 1er mode



Figure III 21. 2ème mode



Figure III.22 : 3ème mode

✓ Résultats de l'analyse dynamique

Tableau III 12: Modes propres de la structure.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses C UX [%]	Masses C UY [%]	Masse M UX[%]	Masse M UY [%]
3/ 1	1,453	0,688	65,165	0	65,165	0
3/ 2	2,029	0,493	65,166	62,964	0,002	62,964
3/ 3	2,056	0,486	65,935	62,989	0,769	0,024
3/ 4	5,208	0,192	82,193	62,989	16,258	0
3/ 5	7,85	0,127	82,646	63,007	0,453	0,018
3/ 6	8,265	0,121	82,646	83,553	0	20,546
3/ 7	8,686	0,115	83,895	83,553	1,249	0
3/ 8	10,426	0,096	89,791	83,557	5,895	0,004
3/ 9	11,009	0,091	90,37	83,558	0,579	0,002
3/ 10	15,442	0,065	92,259	83,571	1,889	0,013
3/ 11	17,554	0,057	92,274	90,391	0,015	6,82
3/ 12	18,085	0,055	92,409	90,529	0,135	0,138
3/ 13	18,283	0,055	92,41	90,6	0,001	0,071
3/ 14	19,39	0,052	92,605	90,6	0,195	0
3/ 15	19,941	0,05	92,607	91,431	0,002	0,831

- **Constatation:**

1°/ Ce modèle présente une période fondamentale **T = 0,688sec.**

2°/ 1^{er} et 2^{ème} modes sont des modes de translation

3°/ Le 3ème mode est un mode de rotation.

4°/ La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à **90 %** de la masse totale de la structure.

Direction xx : 9 modes (**90,370%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 11 modes (**90,391%** de la masse sismique de la structure)

Remarque :

T = 0,688 sec > 1,30×0, 49 = 0,639 sec.

④ Vérification le période pour Cas BF 1.5%

✓ Vue déformée

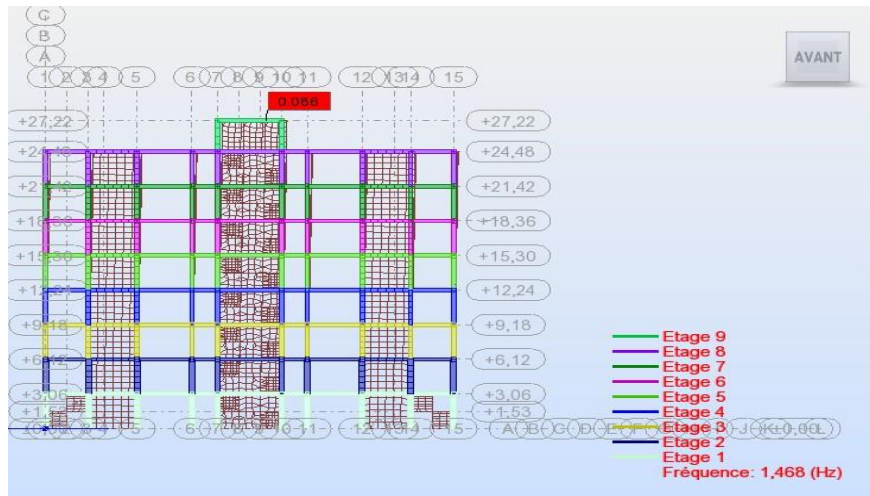


Figure III 23. 1er mode

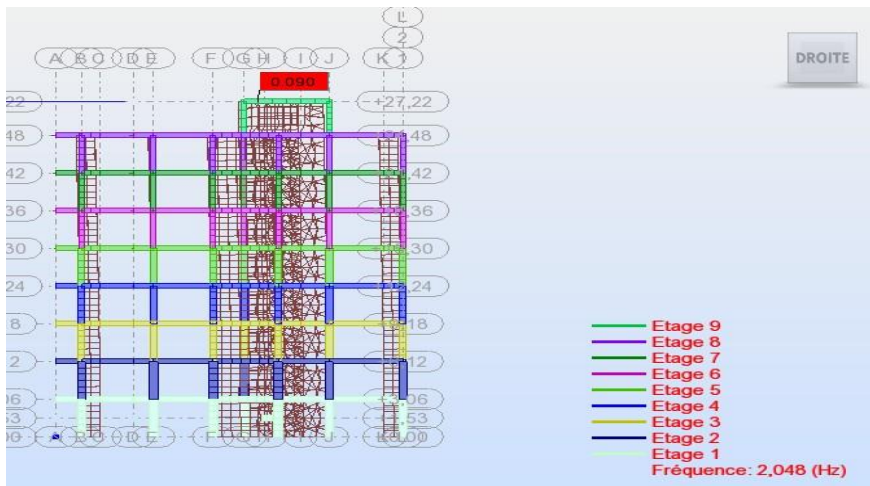


Figure III 24. 2ème mode

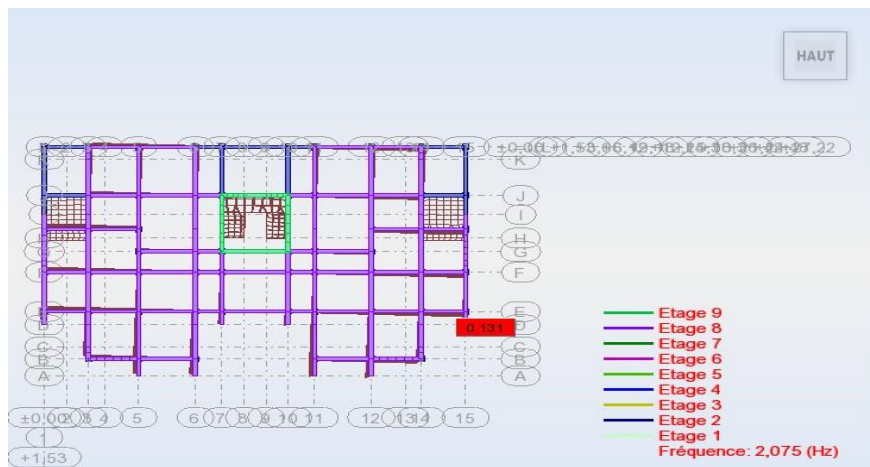


Figure III.25 : 3ème mode

✓ Résultats de l'analyse dynamique

Tableau III 13: Modes propres de la structure.

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses C UX [%]	Masses C UY [%]	Masse M UX [%]	Masse M UY [%]
3/ 1	1,468	0,681	65,158	0	65,158	0
3/ 2	2,048	0,488	65,16	62,947	0,002	62,947
3/ 3	2,075	0,482	65,924	62,971	0,764	0,024
3/ 4	5,259	0,19	82,182	62,971	16,258	0
3/ 5	7,945	0,126	82,633	62,991	0,451	0,02
3/ 6	8,342	0,12	82,634	83,535	0	20,544
3/ 7	8,767	0,114	83,883	83,535	1,25	0
3/ 8	10,53	0,095	89,836	83,539	5,953	0,003
3/ 9	11,147	0,09	90,352	83,54	0,516	0,002
3/ 10	15,586	0,064	92,242	83,553	1,89	0,013
3/ 11	17,724	0,056	92,256	90,419	0,014	6,866
3/ 12	18,268	0,055	92,395	90,523	0,14	0,104
3/ 13	18,509	0,054	92,396	90,605	0	0,082
3/ 14	19,572	0,051	92,59	90,605	0,195	0
3/ 15	20,162	0,05	<u>92,592</u>	<u>91,415</u>	0,002	0,809

- **Constatation:**

1°/ Ce modèle présente une période fondamentale **T = 0,681sec.**

2°/ 1^{er} et 2^{ème} modes sont des modes de translation

3°/ Le 3ème mode est un mode de rotation.

4°/ La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à **90 %** de la masse totale de la structure.

Direction xx : 9 modes (**90,352%** de la masse sismique de la structure)

Direction yy : 11 modes (**90,419%** de la masse sismique de la structure)

Remarque :

T = 0,681 sec > 1,30 × 0,49 = 0,639 sec.

III.7.3 Vérification des résultats vis-à-vis du RPA99/Version 2003:

III.7.3.1. Vérification de la résultante des forces sismiques

En se référant à ce que stipule l'article 4-3-6 du RPA99/version2003, la résultante des forces Sismiques à la base V_{dy} , obtenue par combinaison des valeurs modales, ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente V .

$$V \text{ dynamique} > 0.8V_{\text{staique}} \quad \text{III.8}$$

Tableau III.14 Vérification de la résultante des forces sismiques

	Cas	V_{sta}	$0.8V_{sts}$	V_{dyn}	Vérification
X-X	BT	3663,698832	2930,959066	4347.01	OK
	BF 0.5%	3663,698832	2930,959066	4537.87	OK
	BF 1%	3699,870075	2959,89606	4602.53	OK
	BF 1.5%	3721,112892	2976,890314	4666.79	OK
Y-Y	BT	3210,0165	2568,0132	5446.89	OK
	BF 0.5%	3210,0165	2568,0132	5529.05	OK
	BF 1%	3241,708594	2593,366875	5609.13	OK
	BF 1.5%	3260,320875	2608,2567	5685.87	OK

III.7.3.2 Vérification des déplacements

Selon le RPA99V2003, les déplacements relatifs d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur d'étage :

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \delta_{Ek} \quad \text{III.9}$$

δ_k : déplacement dû aux forces sismiques F_i (y compris l'effet de torsion)

R : coefficient de comportement $R=4$

le déplacement relatif au niveau 'K' par rapport au niveau 'K-1' est égal à :

$$\Delta = \delta_k - \delta_{k-1}$$

❶ Vérification des déplacements pour Cas BT

Tableau III-15. Vérification des déplacements. (Sens x-x)

NIV	δ_k	Δ_k	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,384	0,384	3,06	oui
1	1,157	0,773	3,06	oui
2	2,191	1,033	3,06	oui
3	3,379	1,188	3,06	oui
4	4,610	1,231	3,06	oui
5	5,826	1,216	3,06	oui
6	6,970	1,144	3,06	oui
7	8,020	1,050	3,06	oui
8	9,398	1,378	3,06	oui

Tableau III.16. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)

NIV	δ_k (cm)	Δ_k (cm)	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,200	0,200	3,06	oui
1	0,619	0,418	3,06	oui
2	1,221	0,602	3,06	oui
3	1,953	0,732	3,06	oui
4	2,761	0,808	3,06	oui
5	3,625	0,863	3,06	oui
6	4,492	0,867	3,06	oui
7	5,333	0,841	3,06	oui
8	6,080	0,747	3,06	oui

② Vérification des déplacements pour Cas BF 0.5%

Tableau III-17. Vérification des déplacements. (Sens x-x)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,375	0,375	3,06	oui
1	1,130	0,755	3,06	oui
2	2,140	1,010	3,06	oui
3	3,301	1,161	3,06	oui
4	4,504	1,204	3,06	oui
5	5,693	1,188	3,06	oui
6	6,811	1,118	3,06	oui
7	7,837	1,026	3,06	oui
8	9,184	1,348	3,06	oui

Tableau III.18. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,196	0,196	3,06	oui
1	0,604	0,408	3,06	oui
2	1,192	0,588	3,06	oui
3	1,907	0,715	3,06	oui
4	2,696	0,789	3,06	oui
5	3,539	0,843	3,06	oui
6	4,386	0,847	3,06	oui
7	5,208	0,821	3,06	oui
8	5,937	0,729	3,06	oui

③ Vérification des déplacements pour Cas BF 1%

Tableau III-19. Vérification des déplacements. (Sens x-x)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,374	0,374	3,06	oui
1	1,129	0,754	3,06	oui
2	2,137	1,009	3,06	oui
3	3,297	1,160	3,06	oui
4	4,499	1,202	3,06	oui
5	5,686	1,187	3,06	oui
6	6,802	1,117	3,06	oui
7	7,826	1,024	3,06	oui
8	9,174	1,347	3,06	oui

Tableau III.20. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,195	0,195	3,06	oui
1	0,603	0,408	3,06	oui
2	1,191	0,587	3,06	oui
3	1,905	0,714	3,06	oui
4	2,693	0,788	3,06	oui
5	3,534	0,842	3,06	oui
6	4,380	0,846	3,06	oui
7	5,200	0,820	3,06	oui
8	5,928	0,728	3,06	oui

④ Vérification des déplacements d'étage pour Cas BF 1.5%

Tableau III-21. Vérification des déplacements. (Sens x-x)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,369	0,369	3,06	oui
1	1,114	0,744	3,06	oui
2	2,109	0,995	3,06	oui
3	3,254	1,145	3,06	oui
4	4,440	1,186	3,06	oui
5	5,611	1,171	3,06	oui
6	6,712	1,102	3,06	oui
7	7,722	1,010	3,06	oui
8	9,051	1,329	3,06	oui

Tableau III.22. Vérification des déplacements. (Sens Y-Y)

NIV	$\delta_k(\text{cm})$	$\Delta_k(\text{cm})$	0,01 h(cm)	vér
RDC	0,193	0,193	3,06	oui
1	0,596	0,403	3,06	oui
2	1,176	0,580	3,06	oui
3	1,881	0,705	3,06	oui
4	2,659	0,778	3,06	oui
5	3,491	0,831	3,06	oui
6	4,326	0,835	3,06	oui
7	5,136	0,810	3,06	oui
8	5,855	0,719	3,06	oui

III.7.3.3 Justification vis-à-vis de l'équilibre d'ensemble

La vérification se fera pour les deux sens (longitudinal est transversal) avec la relation suivante :

$$\frac{M_S}{M_R} \geq 1,5 \quad \text{III-10}$$

Mr : moment de renversement provoqué par les charges horizontales.

$$M_r = \sum F_i \times h_i$$

Ms : moment stabilisateur provoqué par les charges verticales.

$$M_s = W \times L/2$$

❶ Vérification l'équilibre d'ensemble BT

➤ Sens longitudinal

Tab. III-23: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)

NIV	x-x			y-y		
	Fi	Hi	Fi Hi	Fi	Hi	Fi Hi
7	1294,17	24,48	31681,3	1665,65	24,48	40775,1
6	777,59	21,42	16656	998,8	21,42	21394,3
5	590,77	18,36	10846,5	738,19	18,36	13553,2
4	491,91	15,3	7526,22	617,26	15,3	9444,08
3	414,9	12,24	5078,38	506,58	12,24	6200,54
2	330,15	9,18	3030,78	397,92	9,18	3652,91
1	293,23	6,12	1794,57	345	6,12	2111,4
RDC	154,29	3,06	472,127	177,46	3,06	543,028
	Mr_x=Σ Fi×hi		<u>77085,9</u>	Mr_y=Σ Fi×hi		<u>97674,5</u>

Taleau III.24 vérification les résultats

x-x			Véri	y-y			Véri
Mr	Ms	Ms/Mr		Mr	Ms	Ms/Mr	
77085,9	544038,352	<u>7.05756</u>	ok	97674,5	389006,444	<u>3.982682</u>	ok

② Vérification l'équilibre d'ensemble BF 0.5%

Tab. III-25: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)

NIV	x-x			y-y			
	Fi	Hi	Fi Hi	Fi	Hi	Fi Hi	
7	1294,17	24,48	31681,3	1665,65	24,48	40775,1	
6	819,67	21,42	17557,3	1014,81	21,42	21737,2	
5	628,41	18,36	11537,6	793,65	18,36	14571,4	
4	522,28	15,3	7990,88	683,58	15,3	10458,8	
3	435,65	12,24	5332,36	580,09	12,24	7100,3	
2	341,27	9,18	3132,86	476,2	9,18	4371,52	
1	297,1	6,12	1818,25	426,51	6,12	2610,24	
RDC	153,91	3,06	470,965	259,65	3,06	794,529	
$Mr_x = \sum Fi \times hi$			79521,5	$Mr_y = \sum Fi \times hi$			102419

Taleau III.26 vérification les résultats

x-x			Véri	y-y			Véri
Mr	Ms	Ms/Mr		Mr	Ms	Ms/Mr	
79521,5	544038,352	6,8414	ok	102419	389006,444	3,798186	ok

③ Vérification l'équilibre d'ensemble BF 1%

Tab. III-27: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)

NIV	x-x			y-y			
	Fi	Hi	Fi Hi	Fi	Hi	Fi Hi	
7	1294,17	24,48	31681,3	1665,65	24,48	40775,1	
6	831,5	21,42	17810,7	1029,62	21,42	22054,5	
5	637,54	18,36	11705,2	762,58	18,36	14001	
4	529,93	15,3	8107,93	637,45	15,3	9752,99	
3	442,01	12,24	5410,2	521,39	12,24	6381,81	
2	346,19	9,18	3178,02	408,6	9,18	3750,95	
1	301,34	6,12	1844,2	353,3	6,12	2162,2	
RDC	156,12	3,06	477,727	100,67	3,06	308,05	
$Mr_x = \sum Fi \times hi$			80215,3	$Mr_y = \sum Fi \times hi$			99186,5

Taleau III.28 vérification les résultats

x-x			Véri	y-y			Véri
Mr	Ms	Ms/Mr		Mr	Ms	Ms/Mr	
80215,3	549409,575	<u>6,849187</u>	ok	99186,5	392847,0563	<u>3,960691</u>	ok

④ Vérification l'équilibre d'ensemble BF 1.5%

Tab. III-29: moment de renversement provoqué par les charges horizontales sens (x)87

NIV	x-x			y-y		
	Fi	Hi	Fi Hi	Fi	Hi	Fi Hi
7	1294,17	24,48	31681,3	1665,65	24,48	40775,1
6	844,24	21,42	18083,6	1044,7	21,42	22377,5
5	648,2	18,36	11901	774,16	18,36	14213,6
4	538,67	15,3	8241,65	646,8	15,3	9896,04
3	448,51	12,24	5489,76	528,71	12,24	6471,41
2	350,4	9,18	3216,67	413,89	9,18	3799,51
1	304,24	6,12	1861,95	357,21	6,12	2186,13
RDC	157,39	3,06	481,613	182,5	3,06	558,45
$Mr_x = \sum Fi \times hi$			<u>80957,5</u>	$Mr_y = \sum Fi \times hi$		<u>100278</u>

Taleau III.30 vérification les résultats

x-x			Véri	y-y			Véri
Mr	Ms	Ms/Mr		Mr	Ms	Ms/Mr	
80957,5	552564	<u>6,825359</u>	ok	100278	395102,589	<u>3,940072</u>	ok

III.7.3.4 Justification vis-à-vis de l'effet P-Δ : (art 5.9 RPA99/2003)87

Les effets du deuxième ordre (ou effet P-Δ) sont les effets dus aux charges verticales après déplacement. Ils peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta_k = \frac{P_k \Delta_k}{V_k h} \leq 0.1 \quad \text{III-10}$$

P_k: poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau "k",
 $P_k = \Sigma(W_g + \beta \cdot W_q)$

V_k: effort tranchant d'étage au niveau "k"

$$V_k = \Sigma F_i$$

Δ_k: déplacement relatif du niveau "k" par rapport au niveau "k-1",

h_k: hauteur de l'étage "k"

❶ Vérification l'effet P-Δ Cas BTØ

Tableau III.31: Vérification des effets P-Δ

NIV	Pk	x-x			y-y			vér
		Δk	Vk hk	Θx	Δk	Vk hk	Θy	
RDC	38044,64	0,384	1375017	0,010625	0,200	1673667	0,004546	Oui
1	32149,25	0,773	1327921	0,018714	0,418	1619300	0,008299	Oui
2	27047,36	1,033	1237192	0,022583	0,602	1513317	0,010759	Oui
3	22575,9	1,188	1133412	0,023663	0,732	1391232	0,011878	Oui
4	18104,43	1,231	1001517	0,022253	0,808	1235772	0,011837	Oui
5	13678,04	1,216	843917,4	0,019709	0,863	1045917	0,011286	Oui
6	9321,14	1,144	654371,8	0,016296	0,867	819061	0,009867	Oui
7	4964,23	1,050	406533,2	0,012822	0,841	512464,3	0,008147	Oui

② Vérification l'effet P-Δ Cas BF 0.5%

Tableau III.32: Vérification des effets P-Δ

NIV	Pk	x-x			y-y			vér
		Δk	Vk hk	Θx	Δk	Vk hk	Θy	
RDC	38044,64	0,375	1388588	0,010274	0,196	1691889	0,004407	Oui
1	32149,25	0,755	1341492	0,018094	0,408	1637378	0,008011	Oui
2	27047,36	1,010	1250579	0,021844	0,588	1530820	0,010389	Oui
3	22575,9	1,161	1146151	0,022868	0,715	1407597	0,011468	Oui
4	18104,43	1,204	1012842	0,021521	0,789	1250383	0,011424	Oui
5	13678,04	1,188	853024	0,019049	0,843	1058179	0,010897	Oui
6	9321,14	1,118	660730,5	0,015772	0,847	828210,4	0,009533	Oui
7	4964,23	1,026	409911,5	0,012425	0,821	517678,6	0,007873	Oui

③ Vérification l'effet P-Δ Cas BF 1%

Tableau III.33: Vérification des effets P-Δ

NIV	Pk	x-x			y-y			vér
		Δk	Vk hk	Θx	Δk	Vk hk	Θy	
RDC	38420,3	0,374	1408374	0,010203	0,195	1716394	0,004365	Oui
1	32457,8	0,754	1360601	0,017987	0,408	1661084	0,007972	Oui
2	27304,6	1,009	1268391	0,021721	0,587	1552974	0,010321	Oui
3	22789,2	1,160	1162457	0,022741	0,714	1427943	0,011395	Oui
4	18273,8	1,202	1027202	0,021383	0,788	1268398	0,011353	Oui
5	13804,6	1,187	865043,6	0,018942	0,842	1073338	0,010829	Oui
6	9406,49	1,117	669956,4	0,015683	0,846	839988,4	0,009474	Oui
7	5008,45	1,024	415517,4	0,012343	0,820	524924,6	0,007824	Oui

④ Vérification l'effet P-Δ Cas BF 1.5%

Tableau III.34: Vérification des effets P-Δ

NIV	Pk	x-x			y-y			vér
		Δk	Vk hk	Θx	Δk	Vk hk	Θy	
RDC	38640,8	0,369	1428093	0,008544	0,193	1739876	0,008195	Oui
1	32639	0,744	1379876	0,017598	0,403	1684031	0,01442	Oui
2	2745,65	0,995	1286779	0,002123	0,580	1574725	0,001735	Oui
3	18373,2	1,145	1179557	0,017835	0,705	1448075	0,014528	Oui
4	13878,8	1,186	1042313	0,015792	0,778	1286289	0,012797	Oui
5	9456,61	1,171	877479,5	0,01262	0,831	1088366	0,010175	Oui
6	5056,61	1,102	679130,3	0,008205	0,835	851475,6	0,006544	Oui
7	5034,41	1,010	420792,8	0,012084	0,810	531797,4	0,009561	Oui

III.8 Comparaison des résultats d'études

III.8.1 Les modes propres

III .8.1.1 Les périodes

Un séisme génère des déplacements imposés au sol d'assise : la structure oscille et déplace sa masse. Ainsi, pour minimiser le niveau de la charge sismique auquel l'ouvrage sera exposé, on peut réduire la période propre de la structure pour éviter d'entrer en résonance avec le sol.

Tableau III .35 valeur des périodes

Les Cas	BT	BF0,5%	BF1%	BF1,5%
Les Périodes [ses]	0,701	0,689	0,688	0,681

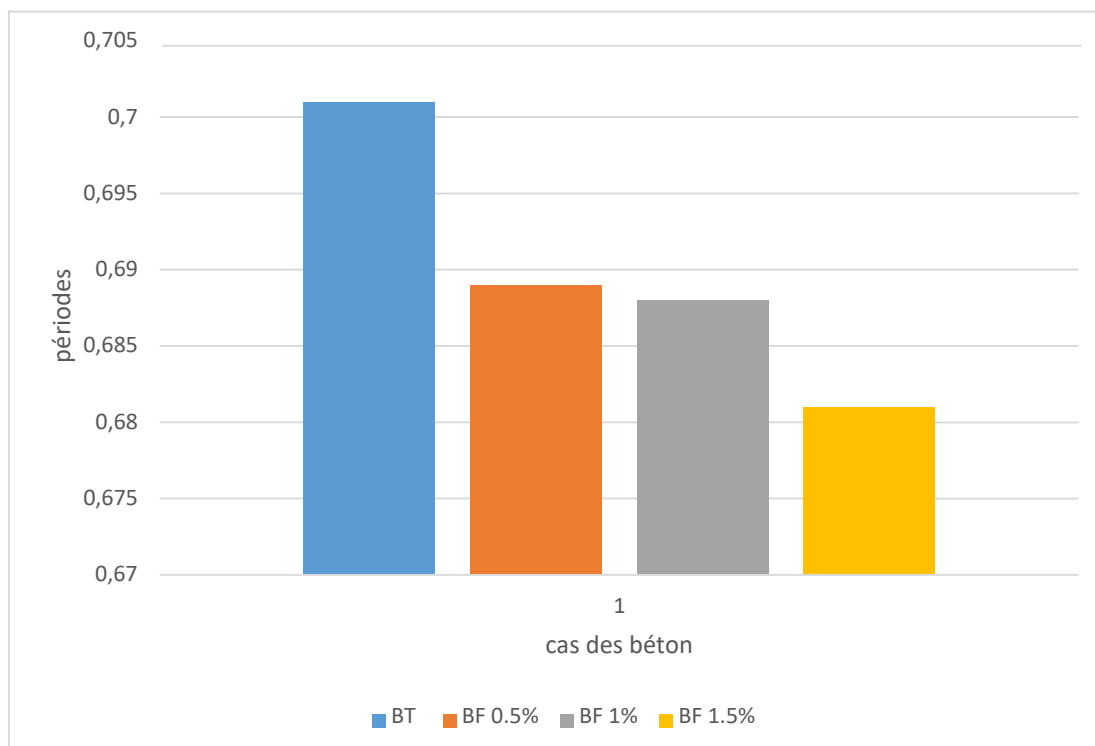


Figure III.26 courbes de période

La figure III.25, donnant la variation de période propre en fonction type de béton, met en évidence de façon assez claire l'influence de l'ajout des fibres métalliques sur la valeur de la période propre. D'après cette figure on peut constater que la faible valeur de période propre qui a été enregistré est pour le béton renforcé par 1,5% des fibres métalliques BF 1,5%. On note une valeur de 0,681 environ 3 % inférieur à celle du béton sans fibres.

III .8.1.2 Masses modales effectives

Le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :
 La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à au moins à 90 % de la masse totale de la structure.

Direction xx : 9 modes (90,35 à 90,4 % de la masse sismique de la structure) Direction yy : 11 modes (90,38 à 90,42 % de la masse sismique de la structure)

D'après les figures III.26 et III.27 on observe que l'incorporation des fibres a un effet presque négligeable sur la somme des masses modales effectives.

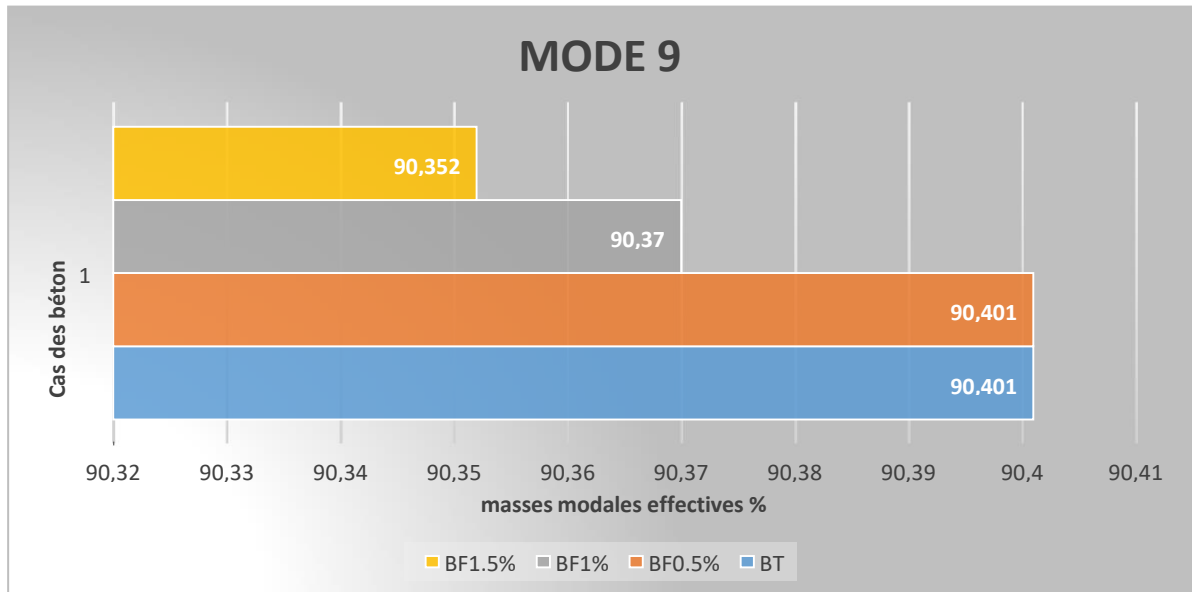


Figure III.27 : La masse sismique de la structure direction xx : 9 modes

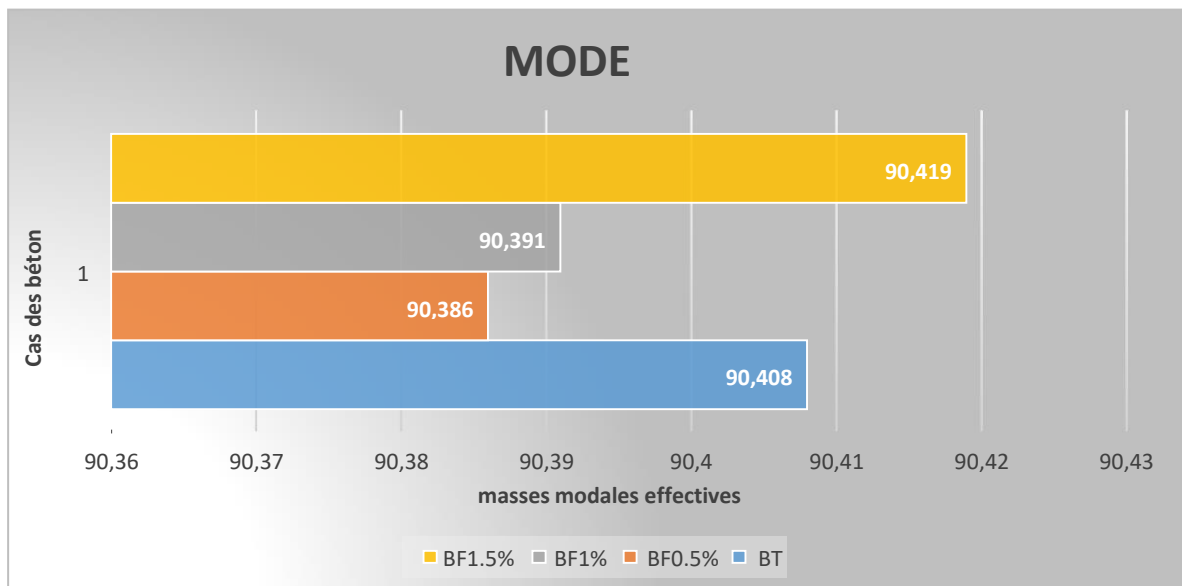


Figure III.28 : La masse sismique de la structure direction yy : 11 modes

III .8.2 Les déplacements au sommet de la structure

En utilisant le logiciel Robot, on obtient les déplacements au sommet de la structure de chacun des quatre bétons étudiés, les déplacements maximaux dans la direction XX et YY sont mis sous forme d'histogrammes (Figure III.28 et III.29).

En analysant les résultats, on remarque que le béton renforcé de 1,5% de fibres métallique ont un déplacement maximal la plus faible. La structure en béton (BF 1,5%) a une valeur de déplacement de 7,6 et 5,05 mm dans la direction XX et YY respectivement, ce qui est environ 5% et 2% inférieur à celui de la structure en béton sans fibres.

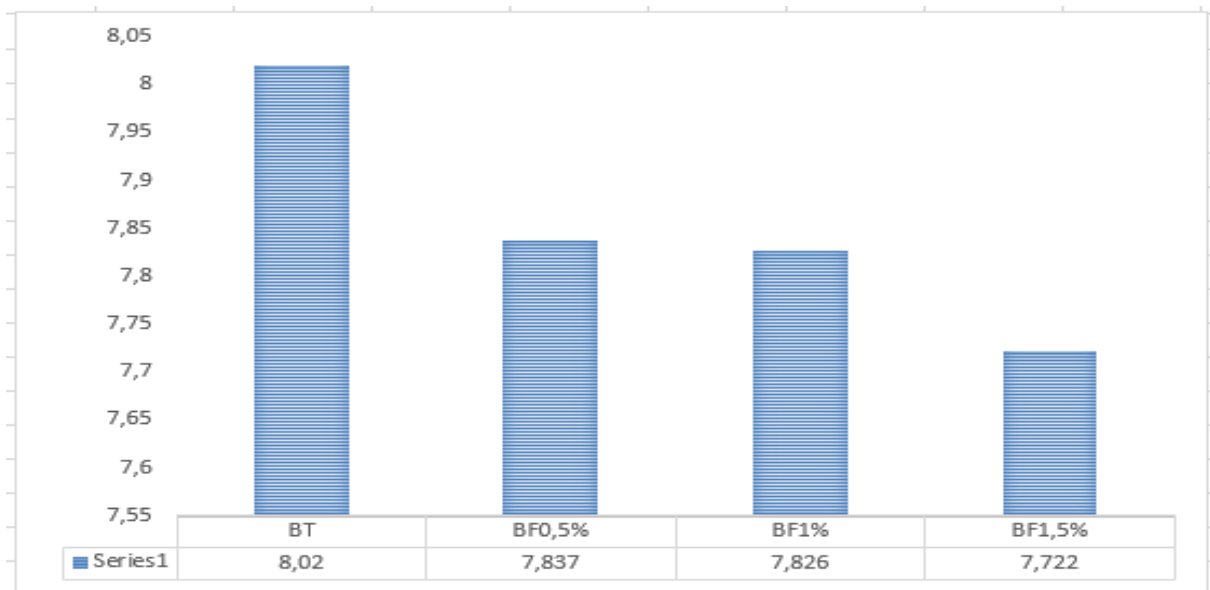


Figure III.29 : Les déplacements au sommet de la structure dans la direction XX (mm)

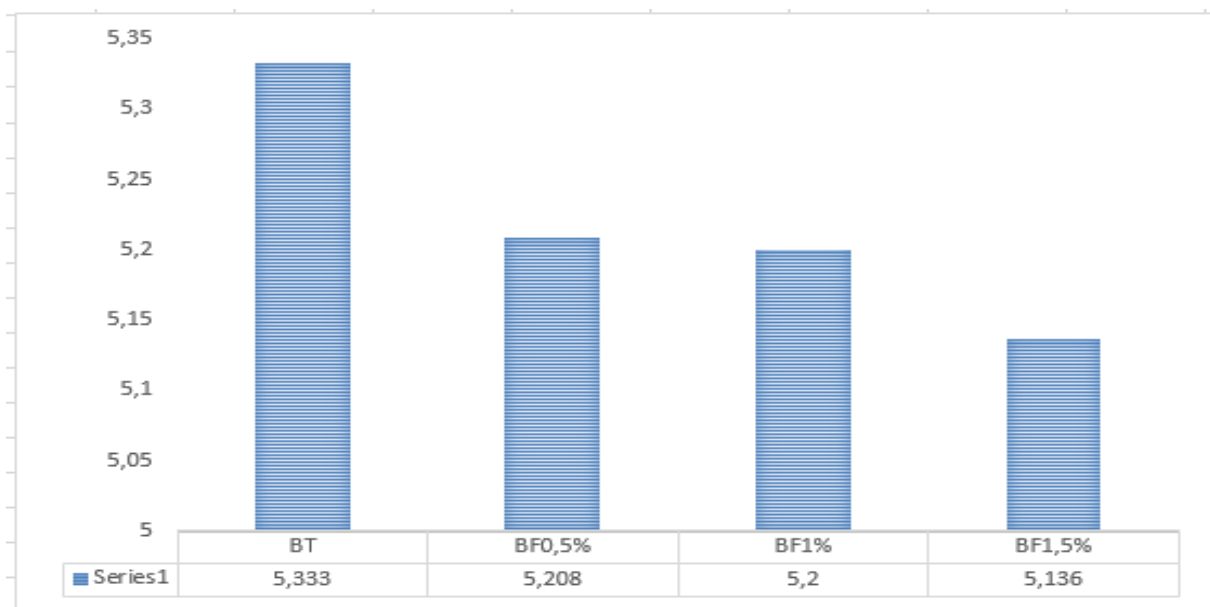


Figure III.30 : Les déplacements au sommet de la structure dans la direction YY (mm)

III.8.3 Effet d'ajout des fibres sur l'effort tranchant total à la base de la structure :

Les poteaux jouent un rôle important dans la stabilité des structures en portique en béton armé. Les poteaux en béton armé sont soumis à la fois aux charges gravitaires dues au poids propre de la superstructure et aux sollicitations latérales et verticales provoquées par le séisme. La rupture par cisaillement est une des causes majeures d'effondrement lors des séismes ; cette rupture est généralement fragile et non dissipative. Swamy

[1] note que la présence de fibres semble améliorer l'effet de goujon, dans la mesure où elle retarde la propagation de fissures.

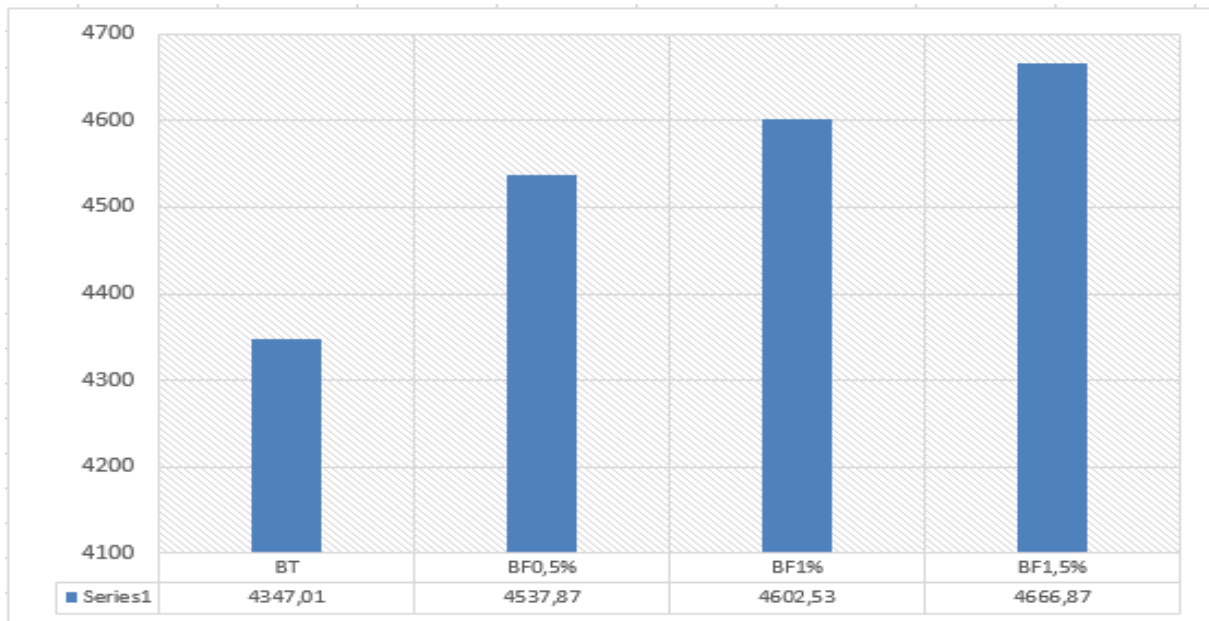


Figure III.31 : Effort tranchant total à la base du bâtiment dans la direction X (kN)

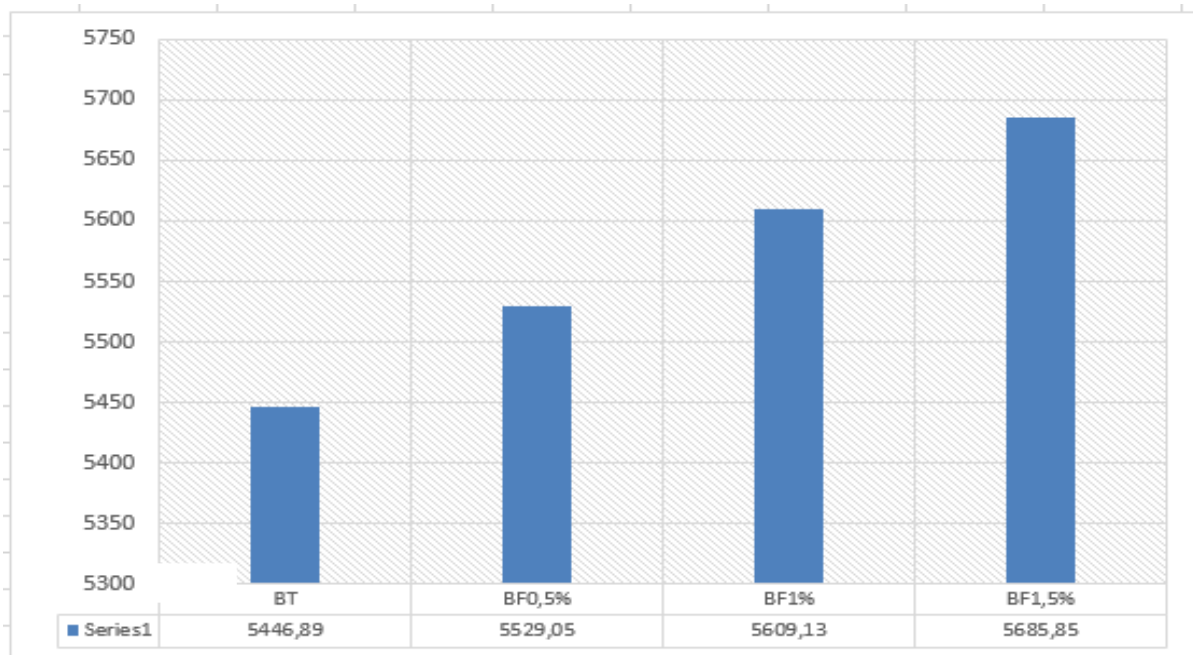


Figure III.32 : Effort tranchant total à la base du bâtiment dans la direction Y (kN)

L'analyse n'est pas toujours simple dans la mesure où plusieurs paramètres fondamentaux peuvent varier simultanément (le dosage en fibres, les qualités d'ancrage ou d'adhérence de la fibre, la résistance à la compression du béton, l'orientation des fibres, etc.).

Les figures III.30 et III.31 comparent les valeurs de l'effort tranchant à la base des structures en béton avec et sans fibres obtenus dans la direction X et Y respectivement.

Il est remarquable de constater que l'écart entre les diagrammes des efforts tranchants des structures en béton avec fibres et sans fibres est faible (4,39 à 7,36% dans la direction X et 1,5 à 4,38% dans la direction Y). Ceci peut être due au faible effet des fibres sur la masse volumique du béton, qui l'un des facteurs qui rentre dans le calcul de l'effort tranchants total à la base comme montre la relation suivante :

$$V = \frac{A D Q W}{R}$$

CONCLUSION

Les résultats trouvés montrent de façon claire l'effet d'ajout des fibres métalliques sur les propriétés physico-mécaniques des bétons élaborés ainsi le comportement dynamique d'un bâtiment R+07 en béton avec et sans fibres ; ce qui nous a permis de tirer certaines conclusions :

- L'incorporation de microfibres métalliques dans le béton à base du sable dunaire-calcaire conduit à une augmentation de module d'élasticité et de masse volumique pour des dosages de 0,50 à 1,50 %, et de la résistance à la compression pour un dosage des fibres inférieur à 1,00%.
- Une rupture fragile du béton témoin sans aucune déformabilité au-delà de l'apparition de la fissuration à été observée. Par contre, pour le béton de fibres une évolution des flèches post fissuration est encore mesurable malgré la diminution de la charge concentrée.
- L'ajout de fibres métalliques dans le béton conduit à une réduction de la période et de contrôler la quantité de déplacement et de rotation de la structure en béton.

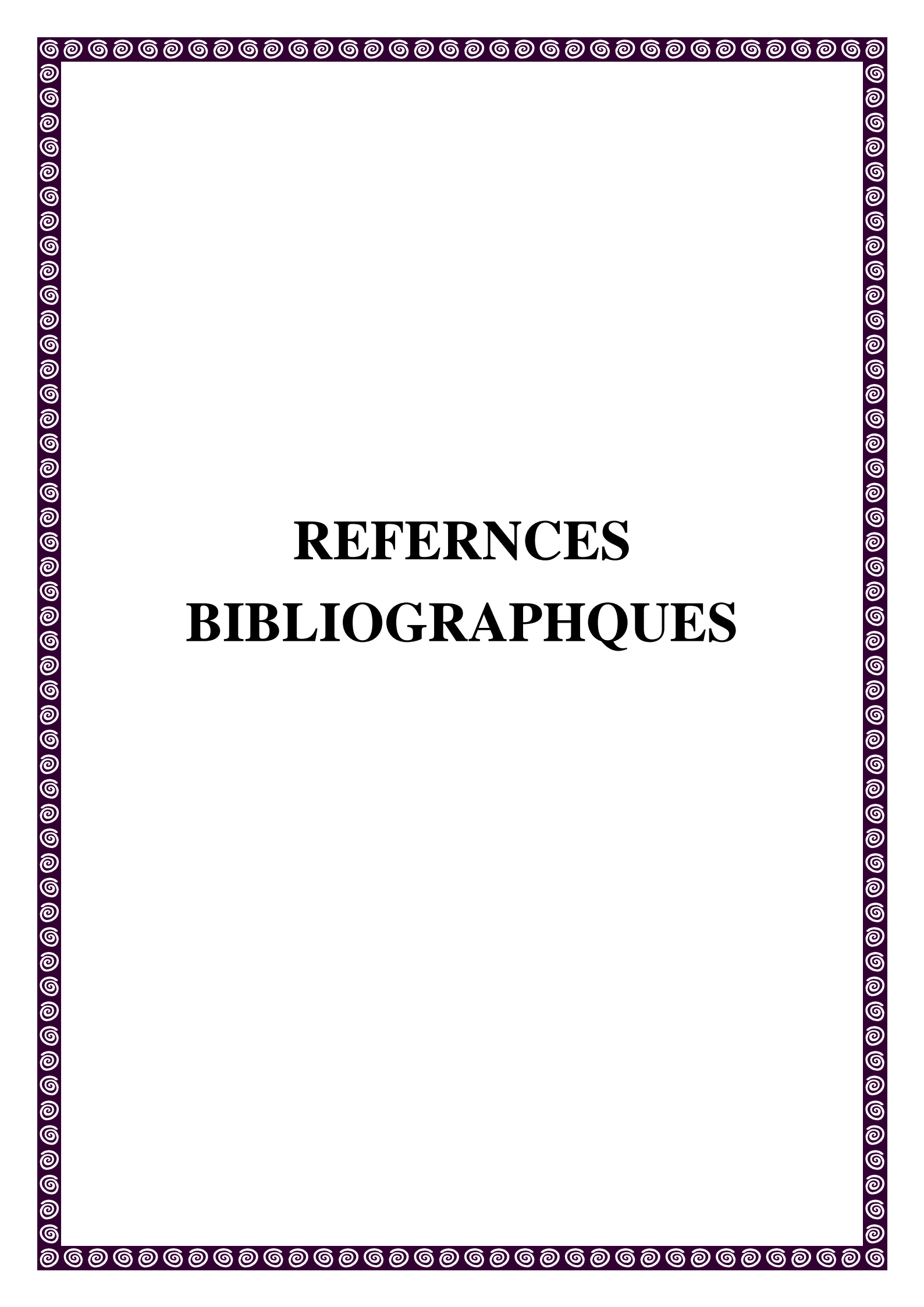


CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre travail consiste à étudier l'effet de l'ajout de fibre métalliques d'une part sur les résistances mécaniques du béton et d'autre part sur le comportement dynamique des structures de béton armé renforcé par des fibres métalliques. La recherche nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'utilisation de deux types de gravier (3/8.8/15) et de deux types de sable (calcaire et dure) a donné une excellente granulométrie, ce qui a abouti à un béton saturé sans vides.
- Le béton fluide est le meilleur choix pour incorporer plus facilement des fibres à caractère solide (métalliques) car il est très fluide
- La résistance du composite dépend en grande partie de la taille et de dosage des fibres utilisées.
- Le béton renforcé par 1,5% de fibres a enregistré un gain de module d'élasticité et de masse volumique à 28j de l'ordre de 8,7 % et 4,35 % respectivement par rapport au béton témoin.
- Le béton renforcé par 0,5% ou 1% de fibres a enregistré un gain de la résistance à la compression 28j de l'ordre de 1,6% par rapport au béton témoin.
- La faible valeur de période propre a été enregistrée pour le béton renforcé par 1,5% des fibres métalliques BF 1,5%. On note une valeur de 6,81 environ 3 % inférieur à celle du béton sans fibres.
- L'incorporation de fibres métalliques a un effet presque négligeable sur la somme des masses modales effectives.
- le béton renforcé de 1,5% de fibres métallique ont un déplacement maximal la plus faible. La structure en béton (BF 1,5%) a une valeur de déplacement de 7,6 et 5,05 mm dans la direction XX et YY respectivement, ce qui est environ 5% et 2% inférieur à celui de la structure en béton sans fibres.
- En raison des proportions et de la densité des fibres Métalliques, le poids de la structure augmente, et donc la résistance au cisaillement augmente, en particulier à la base de la structure
- Enfin, ces résultats importants nous permettent de conclure que le béton BF1.5 est le meilleur ductile, nous pouvons donc le recommander pour la construction en zones sismiques.



REFERNCES
BIBLIOGRAPHQUES

- [1] Swamy R.N., (1975), "Fibre reinforcement of cement and concrete", *Materials and Structures*, vol. 8, n° 45, 1975, pp. 235-254.
- [2] Porter H.F., (1910), "The Preparation of Concrete-From Selection of Materials to Final Deposition", *ACI Materials Journal*, vol. 6, n° 2, 1910, pp. 287-303.
- [3] Cuyken F., Venstermans J., (1977), "Béton renforcé de fibres d'acier", *CSTC Magazine (Bruxelles)*, n° 3, Septembre 1977, pp. 2-19.
- [4] Romualdi, J. P., Baston, G. B. (1963), "Mechanics of crack arrest in concrete", *Journal of Engineering Mechanics Division*, vol. 89, 1963, EM 3, pp. 147-168
- [5] Marrey B., Hammoutène F., (1999), "Le béton à Paris", éd. du Pavillon de l'Arsenal, Paris, 1999, 223 p.
- [6] Chanvillard G., (1993), "Analyse expérimentale et modélisation micromécanique du comportement des fibres d'acier tréfilées, ancrées dans une matrice cimentaire", *Etudes et Recherches des Laboratoires des Ponts et Chaussées: OA12*, 1993
- [7] Rossi P., (1998), "Les bétons de fibres métalliques", *Presse de l'ENPC*, Juin 1998, 309 p
- [8] Rossi P., (1994), "Steel fiber reinforced concretes (SFRC): An example of French research", *ACI Materials Journal*, vol. 91, n° 3, 1994, pp. 273-279.
- [9] Rossi P., Harrouche N., Lemaou F., (1989), "Comportement mécanique des bétons de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et en béton précontrainte", *Annales de l'ITBTP, série matériaux 73*, décembre 1989, n° 479 bis, pp. 166-183.
- [10] Pierre.R, Les bétons de fibres métalliques, presses Ponts et Chaussées
- [11] Ticoalu, A., T. Aravinthan, and F. Cardona, A review of current development in natural fiber composites for structural and infrastructure applications, in *Southern Region Engineering Conference2010: Toowoomba, Australia*
- [12] EL HILALI Abdellah., (2009), *Étude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (bap): influence des fines calcaires et des fibres végétales*, thèse de doctorat, Université Cergy Pontoise, France

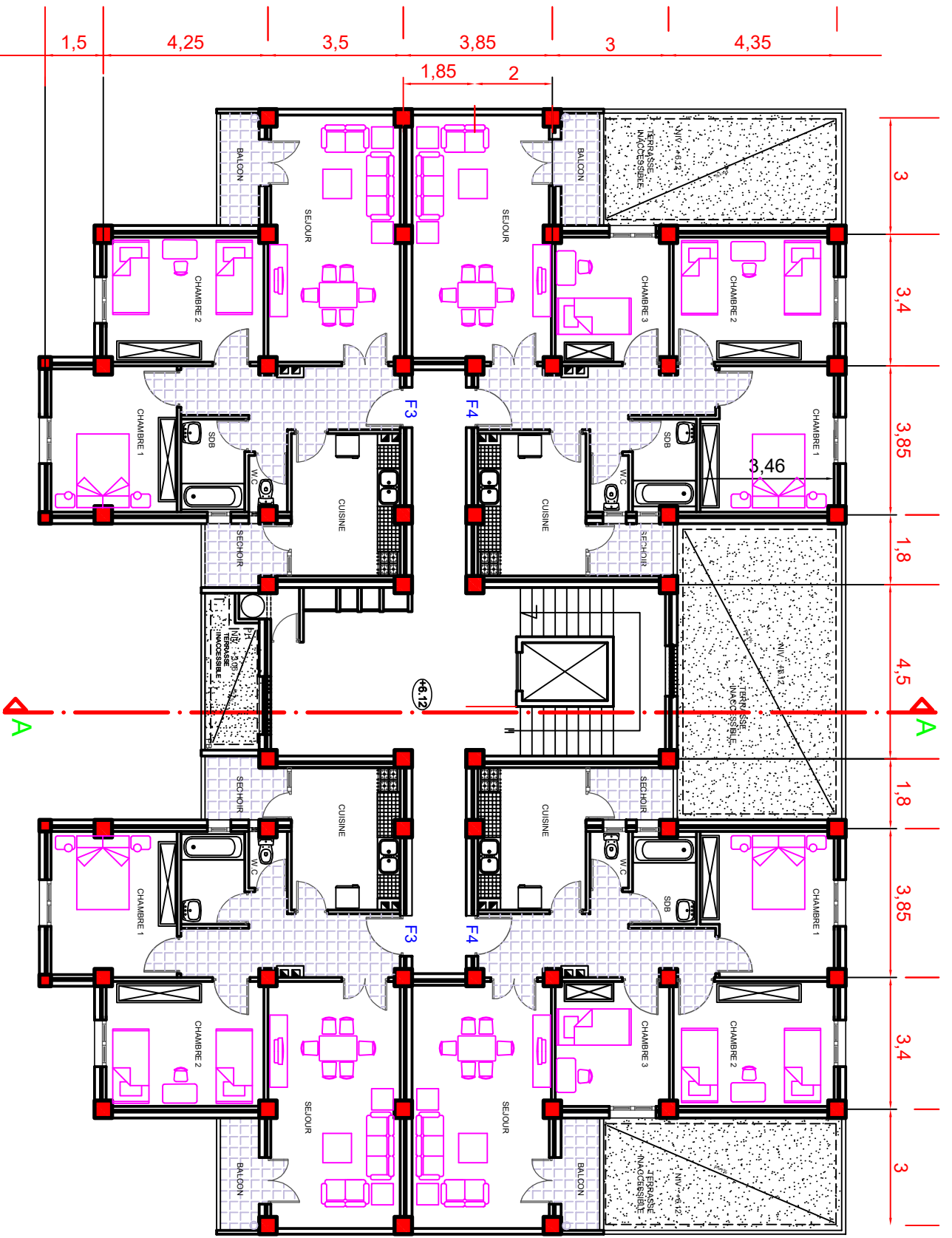
- [13] / Ticoalu, A., T. Aravinthan, and F. Cardona, A review of current development in natural fiber composites for structural and infrastructure applications, in Southern Region Engineering Conference 2010: Toowoomba, Australia
- [14] Nourrdine ARABI. « Contribution à l'étude du comportement mécanique du composite ciment-verre et durabilité des fibre de verre ». Thèse de doctorat UBM Annaba 2006.
- [15]. Étude de la durabilité du béton pouzzolanique fibré (Enregistré automatiquement)-converti (1)
- [16] Venuat, M. "EFFECT OF HIGH TEMPERATURE AND PRESSURE ON THE HYDRATION AND HARDENING OF CONCRETE." *Revue des Matériaux de Construction* 694 (1975).
- [17] Creep and shrinkage: structural design essects. » The Adam Neville Symposi (1997, Atlanta, USA), ACI Michigan Farmington Hills, 2000, 424p
- [18] DREUX G, FESTA J., (2002), *Nouveau guide du béton et de ses constituants*, Huitième édition, Edition Eyrolles
- [19] <http://www.lafarge-france.fr/LB-Fibres-Metalliques.PDF> (consulté le 12/04/2011).
- [20] FRITIH Youcef., (2009), *Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé*, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France
- [21] Yagoub, M.: Evaluation de la qualite du beton de fibres in situ cas de beton autoplaçant avec des fibres mixtes, mémoire de master, Université Mohamed Khider Biskra 2009.
- [22] [Azizi et Aissou, 2016] : Azizi Moussa, Aissou Lyes, « Les Bétons De Fibres Métalliques », Mémoire de Master Académique, Université de Tébessa, 2016
- [23] Chouiter, 2016]: Chouiter Youcef, « Etude Du Comportement D'un Béton A Haute Performance (BHP) Avec Des Fibres De Verre Soumis A Haute Température », Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2016.
- [24] [NF EN 14889-1, 2006] : Fibres pour béton. Partie 1 : Fibres d'acier Définitions, spécifications et conformité. Norme Française

- [25] THESE DOCTEUR ; Etude des bétons de fibres métalliques avec référence aux propriétés rhéologiques et de ductilité sous sollicitations de : Compression, Fendage, Cisaillement direct et Flexion Bensaid BOULEKBACHE 2010.
- [26] [NF EN 14889-1, 2006] : Fibres pour béton. Partie 1 : Fibres d'acier Définitions, spécifications et conformité. Norme Française
- [27] [Richard, C., 1992] : Richard Cabrillac (1992). Etude comparative des bétons de fibres métalliques, de verre et de bambou. Annales de l'ITBTP. Série Béton, n° 504, juin, PP 19– 28
- [28] [Rossi P., 1998] : Rossi Pierre (1998). Les bétons de fibres métalliques. Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et chaussées. Paris
- [29] [Darbois B., 1987] : Darbois B., (1987). Les bétons de fibres. Magazine «Travaux», juillet – août, PP. 8 – 11.
- [30] Banthia N., 1994]: Banthia N., Trottier J (1994). Concrete reinforced with deformed steel fibers, part I: bondslip mechanisms. ACI Materials Journal .V.91, No.5, pp. 435-444
- [31] [Shah P.S., 1991] : Shah P.S., (1991). Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes?" ACI Materials Journal.
- [32] Bentur A., Mindess S., (1990), "Fiber reinforced concrete", Elsevier Applied Science, London, 1990.
- [33] Coutts R.S.P., (2005), "A review of Australian research into natural fibre cement composites", *Cement and Concrete Composites*, vol. 27, n° 5, 2005, pp.518-526.
- [34] Naaman A.E., (2006), "Fiber reinforced concrete : State of progress at the Edge of the millennium", 9th International Conference on Concrete Engineering and Technology, Kuala Lumpur, Malaysia, May 8-13 2006, pp. 20-48
- [35] Di Prisco M., (2009), "FRC: structural applications and standards", *Materials and Structures* vol. 42, n° 9, 2009, pp. 1169-1171..
- [36] EDINGTON J, HANNANT D J WILLIAM R I T., (1986), *Steel fibers reinforced concrete*, G. B. Building

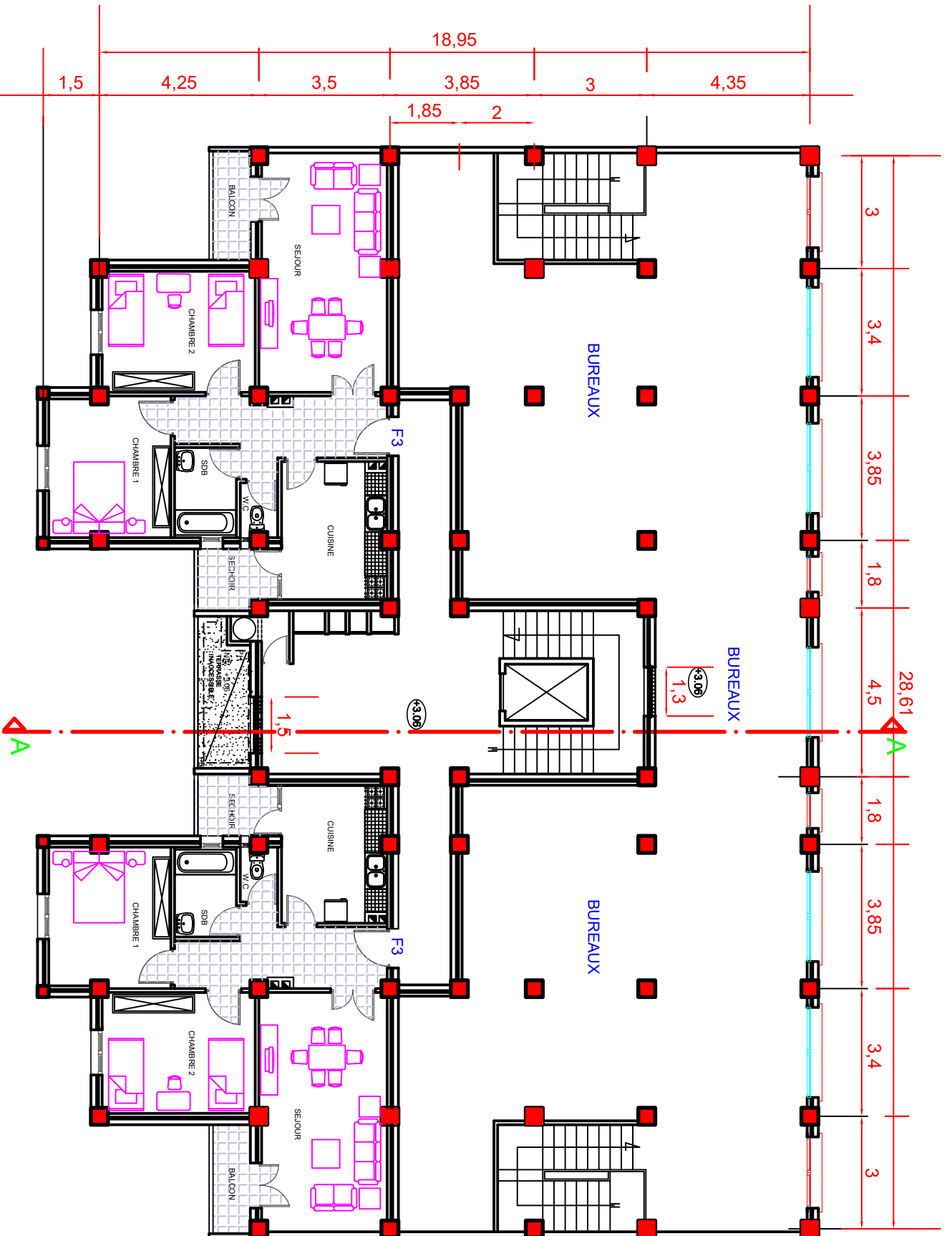
- [37] BOURAS R, KACI S, et ROTH J C., (2006), *Approche théorique et expérimentale du comportement rhéologique des bétons de fibres métalliques à l'état frais*, Vol. 9, pp 22-27.
- [38] ABBANI Saïd., (2003), *Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier*, Mémoire de magister, université de Ouargla, Algérie.
- [39] ACI 544., (1973), *State of the-art: report on fiber reinforced concrete*, journal American Concrete Institute. U.S.A, Proc. Vol. 70, n° 11 pp. 729-744
- [40] BEN YAHIA Abdeslam., (2001), *l'Influence des fibres métalliques sur le comportement mécanique du béton*, Mémoire de magister, université de M'sila, Algérie..
- [41] CHERAIT Y, NAFA Z., (2007), *Eléments de matériaux de construction et essais*, Collection : le livre de génie civil, Direction de la publication universitaire de Guelma.



ANNEXES



PLAN DETACHE COURANT : 2,3,....., 7 ème ETAGE
 (LOGEMENTS)



PLAN DE RDC ET 1ER ETAGE - NIV : +3.06
 (LOGEMENTS ET BUREAUX)