

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

**Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique**

**Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (UMMTO)**

**Faculté du Génie de la Construction**

**Département de Génie Civil**



## **Mémoire de fin d'étude**

**En vue de l'obtention du diplôme du Master académique en génie civil  
Option : structure**

### **Thème**

**Comportement au poinçonnement  
des petites dalles en béton renforcées par des fibres de  
récupération (métallique et polypropylène )**

**Proposé et dirigé par :**

**M<sup>r</sup>. ATLAOUI DJAMAL**

**Devant le jury:**

**M<sup>r</sup>.GHOULEM KAMEL**

**M<sup>r</sup>.MERAKEB SEDDIK**

**Présenté par :**

**GOUAZI FOUAD**

**REZKIOUI YACINE**

**PROMOTION 2022/2023**

## **Remerciements**

*Je tiens à exprimer, en premier lieu, ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué chacun à sa manière dans la réalisation de ce mémoire de fin d'études à savoir : mes enseignants, mes collègues, mes amis et ma famille.*

*Que **Mr ATLAOUI Djamal**, mon promoteur trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour son encadrement, ses précieux conseils et sa disponibilité.*

*Il m'a en plus apporté toute son aide en mettant à ma disposition tous les moyens nécessaires pour mener à bien ce travail.*

*Que messieurs les membres du jury qui ont accepté de lire et de juger ce mémoire en soient remerciés.*

*Un grand merci à mes **PARENTS** pour leur soutien.*

*Je remercie messieurs **HASSANI, BOUHRAOUA** pour avoir été disponibles et m'avoir secondée dans la réalisation des éprouvettes et la réalisation des essais.*

*Enfin, je remercie ma famille pour leur soutien moral, tout long de ce travail.*

# ***Dédicaces***

*A mes très chers parents pour leurs affection et leurs précieux conseils, qui veillent toujours à ma réussite voyez à travers ce travail.*

*A ma sœur : **MAYA***

*A mon frère : **RAYAN***

*A mon binôme **YACINE***

*A tous mes amis(es)*

*A toute la promotion 2022/2023*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*A tous mes autres proches et à mes amis qui sont très chers chacun le sait sans citer les noms*

*Et spécialement à vous qui vous êtes en train de lire ce travail en ce moment.*

**FOUAD**

# ***Dédicaces***

*Je dédie ce travail à :*

*A mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu tout au long de ma vie, qui m'ont orienté dans le bon chemin et qui' ont tout fait pour que je réussisse, que Dieu vous bénisse et vous garde.*

*A mes chères sœurs*

***HAFIDA, YASMINA, FARIDA, HAKIMA***

*A toute ma famille*

*A mon binôme **Fouad***

*A tous mes amis(es)*

*A toute la promotion 2022/2023*

*A toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

**YACINE**

## Résumé

Ce travail porte sur l'étude expérimentale du comportement mécanique à travers des essais de poinçonnement réalisés sur des dalles renforcées par deux types de fibres : les fibres métalliques (FM) provenant des déchets d'usinage de pièces en acier et disposées aléatoirement dans le béton, ainsi que les fibres en polypropylène. Des essais de poinçonnement centré et excentré sont réalisés sur des dalles de dimensions [25x50x7] cm<sup>3</sup>. Par ailleurs, des essais de compression sont effectués sur des cylindres de diamètre Ø16 cm et de hauteur H32 cm. Les fibres sont caractérisées en termes de résistance mécanique et d'arrachement. La composition du béton est déterminée par la méthode expérimentale dite "Dreux-Gorisse". Cinq différents teneurs en fibres métalliques (FM) sont retenues pour cette étude (W=0,2%, W=0,4%, W=0,6%, W=0,8% et W=1%), ainsi qu'un béton témoin BT (W=0%) avec W : représentant la teneur en fibres, qui possède la même composition que la matrice et sert de référence. Deux variantes des fibres de polypropylène, à petites mailles (GPP/PM) et à grande mailles l (GPP/GM), sont également utilisées.

La confrontation et la comparaison des différents résultats obtenus montrent que les fibres métalliques (FM) améliorent la résistance et la rigidité, notamment pour les teneurs en fibres de W=0,8% et W=1%, davantage que les fibres en polypropylène à petites mailles (GPP/PM) et à grande mailles (GPP/GM). Ainsi, les fibres utilisées contribuent à limiter les fissures lors du poinçonnement.

**Mots clés** béton/ fibres métallique/ poinçonnement / renforcement/caractérisation / fibres en grilles polypropylène/ expérimentation.

### Abstract:

This work focuses on the experimental study of mechanical behavior through punch tests conducted on slabs reinforced with two types of fibers: metallic fibers (FM) from machining waste of steel parts, randomly dispersed in the concrete, and polypropylene fibers. Centered and eccentric punch tests are performed on slabs with dimensions of [25x50x7] cm<sup>3</sup>. Additionally, compression tests are conducted on cylinders with a diameter of Ø16 cm and a height of H32 cm. The fibers are characterized in terms of mechanical strength and pull-out resistance. The concrete composition is determined using the experimental "Dreux-Gorisse" method. Five different contents of metallic fibers (FM) are considered for this study (W=0.2%, W=0.4%, W=0.6%, W=0.8%, and W=1%), as well as a reference concrete (BT) with no fibers (W=0%), where W represents the fiber content, having the same composition as the matrix. Two variants of polypropylene fibers, with small mesh (GPP/PM) and large mesh (GPP/GM), are also used.

The comparison of the various results obtained shows that metallic fibers (FM) enhance both strength and stiffness, especially for fiber contents of W=0.8% and W=1%, more so than small mesh polypropylene fibers (GPP/PM) and large mesh polypropylene fibers (GPP/GM). Thus, the fibers used contribute to limiting cracks during punching.

**Key words** concretes/ metal fibres/ punching / reinforcement / characterization / fibers in polypropylene grids / experimentation.

# TABLE DES MATIERES

Introduction générale .....	1
-----------------------------	---

## Première partie : recherche bibliographique

### Chapitre I : Recherche bibliographique

I.1 Comportement des dalles et poinçonnement .....	3
I. 1. 1 Introduction :.....	3
I.I.2 Poinçonnement des dalles.....	3
I.1.3 Comportement mécanique de dalle en béton armé .....	4
I.1.4 Comportement des dalles sous charge concentrée :.....	6
I.1.5 Mécanisme de rupture .....	6
I.1.6 Définition du poinçonnement :.....	8
I.1.6.1 Différents types de poinçonnement.....	8
I.1.6.2 Mode de rupture par poinçonnement :.....	10
I.1.7 Conclusion : .....	11
I.2 Influence des fibres de récupération sur le comportement du béton armé .....	11
I. 2.1 Technologie du béton arme de fibres.....	11
I.2.2 Définition du Béton :.....	12
I.2.3 Définition du Béton armé de fibres.....	12
I.2.4 Rôle des fibres dans le béton.....	13
I.2.5 Fabrication des bétons de fibres.....	15
I.2.6 Formulation du béton de fibres .....	15
I.2.7 Mise en œuvre du béton renforcé de fibres.....	18
I.2.7.1 Composition du béton de fibres .....	18
I.2.8 Comportement mécaniques des fibres .....	20
I.2.9 La maniabilité des bétons des fibres .....	22
I.2.10 Différents types des fibres.....	22
I.2.10.1 Fibres organiques .....	22
I.2.10.2 Fibres non organique.....	23
I.2.10. 3 fibres métalliques .....	25

I.2.10.4 Les différents types de fibres couramment utilisées en Europe :.....	26
I.2.11 Propriétés physiques et mécaniques des bétons de fibres .....	27
I.2.11.1 Influence des fibres noyées dans le béton :.....	27
I.2.11.2 Influence des fibres sur les principales caractéristiques du béton.....	28
I.2.12 Distribution des fibres .....	35
I.2.13 Domaine d'utilisation du béton renforcé de fibres.....	35
I.2.13 Conclusion.....	36

## **Deuxième partie : Etude expérimentale**

### **Chapitre II : Etude de la composition du béton**

II.1 Introduction :.....	38
II.2 Composition du béton : .....	38
II.2.1 L'eau :.....	39
II.2.2 Le ciment :.....	39
II.2.3 Les sables :.....	40
II.2.4 Les granulats :.....	41
II.2.5 Les adjuvants :.....	42
II.3 Rôle des différents éléments constituant le béton :.....	42
II.4 Analyse granulométrique :.....	43
II.5 Principe de l'essai :.....	43
II.5.1 Equipements utilisés :.....	44
II.5.2 Description de l'essai :.....	44
II.6 Module de finesse.....	46
II.7 Composition du béton par Méthode de Dreux-Gorisse :.....	46
II.7.1 Résistance visée :.....	46
II.7.2 Dosage en ciment et eau : .....	47
II.7.3 Dosage des Granulats.....	49

II.7.4 Masse volumique absolu et apparente .....	51
--	----

### **Chapitre III : caractérisation en traction directe des Fibres en copeaux**

III.1. Introduction : .....	52
III.2. Etude expérimentale : .....	52
III.2. 1 Géométrie de la fibre et système d’ancrage : .....	52
III.2.2 Appareillage et essais : .....	53
III.3. Présentation des résultats : .....	53

### **Chapitre IV : Essais de compression**

IV .1 But de l’essai .....	57
IV.2 Composition des éprouvettes .....	57
IV.3 Remplissage et vibration.....	58
IV.3.1 Éprouvettes cylindriques.....	58
IV.4 Principe de l’essai .....	58
IV.5 Essais de compression.....	59
IV.6 Résistance à la compression du béton.....	60

### **Chapitre V : poinçonnement Des Petites dalles renforcées par des Fibres de récupération**

V.1 Essais de poinçonnement : .....	63
V. 1.1 Première série d’essais : .....	63
V.1.1.1 Géométrie et composition des dalles testées : .....	63

V.1.1.2 Mise en œuvre des dalles renforcées par des fibres métalliques :.....	63
V.1.1.3 Composition des éprouvettes :.....	64
V.1.1.4 Appareillage et essais : .....	64
V. 1.1. 5 Description des essais :.....	68
V.1.1.6 Essais de poinçonnement :.....	68
V.1.1.6.1 Essais de poinçonnement centré :.....	68
V.1.1.7 Présentation des résultats et discussions.....	69
V. 1.1. 8 Résultats des essais de poinçonnement centré :.....	69
V.1.2 Deuxième série d'essais de poinçonnement centré.....	72
V.1.2.1 Géométrie et composition des éprouvettes :.....	73
V.1.2.1.1 Géométrie des dalles :.....	73
V.1.2.2 Mise en œuvre des dalles renforcées des grilles polypropylène :.....	74
V.1.2.3 Description des éprouvettes :.....	75
V.1.2.4 Présentation des résultats et discussions :.....	77
V.1.2 Essai de poinçonnement excentré : .....	79
V.1.2.1 Résultats de la première série d'essai de poinçonnement excentré :.....	79
V.1.2.2 Résultats de la deuxième série d'essai de poinçonnement excentré :.....	82
Conclusion générale .....	86
Références bibliographiques .....	90

# LISTES DES FIGURES

## Chapitre I : Recherche bibliographique

Figure I.1 Plancher dalle : (a)avant fissurations, (b) après fissuration [4] .....	4
FigureI.2 Phases successives du comportement d'une dalle en flexion [1] .....	6
Figure I.3 Fissuration lors d'une rupture par poinçonnement [5] .....	7
Figure I.4 Evolution des fissures sur la face tendue d'une dalle pendant la mise en charge [5] .....	7
Figure I.5 a) Rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne intérieure sans excentricité, b) rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne intérieure avec excentricité et c) rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne de bord. [8].....	9
Figure I.6 Différents types de poinçonnement de dalles en béton armé: (a)poinçonnement axisymétrique,(b) poinçonnement symétrique,(c)poinçonnement non symétrique,(d) poinçonnement excentré . [8] .....	9
Figure I.7 Mode de rupture par poinçonnement. [7] .....	10
Figure I.8 Modèle de composite a base de fibres .....	13
Figure I.9 Illustration de l'apport du renfort par des fibres [14] .....	14
Figure I.10 Rôle des fibres dans une matrice [15] .....	15
Figure I.11 Détermination du rapport S/G optimal [17] .....	17
Figure I.12 Effets des fibres sur l'affaissement du béton au cône d'Abram [21] .....	20
Figure I.13 Contribution des fibres dans le comportement à la traction [22] .....	20
Figure I.14 Schématisation de l'orientation des fibres métallique dans le béton [23].....	21
Figure 1.15 différents types de fibres métalliques [a, b, c, d] [26]......	25
Figure I.16 Différent types de fibres utilisées .....	26
Figure I.17 Effet des fibres incorporées dans le béton sur son affaissement au cône d'ABRAMS ..	27
Figure I.18 Ouvrabilité du béton de fibres en fonction de teneur en fibres métalliques et l'élanacement LID_.....	27
Figure I.19 Effet de l'orientation des fibres sur la résistance du composite (béton de fibres) .....	28
Figure I.20 Courbe effort-flèche pour différentes compositions [34] .....	30
Figure I.21 courbe charge-flèche des essais de flexion sur des éprouvettes prismatiques [29] .....	32

Figure I.22 Courbes charge-flèche en flexion simple pour les différents types de béton de fibres par rapport au béton témoin [10] .....	32
Figure I.23 Courbes moment-flèche pour différents pieux en flexion composée [23].....	33

## **Chapitre II : Etude de la composition de béton**

Figure II.1 Composition du beton [36] .....	38
Figure II.2 CEM II/ B-L 42 .5.....	39
Figure II.3 Sable 0.3 mm .....	41
Figure II.4 Les graviers [37] .....	41
Figure II.5 Super plastifiant .....	42
Figure II.6 Tamiseuse.....	44
Figure II.7 Les courbes granulométriques pour chaque type de granulas .....	46
Figure II.8 Abaque permettant devaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).....	50

## **Chapitre III : Caractérisation en traction directe des fibres en copeaux**

Figure III.1 Système d'ancrage.....	53
Figure III.2 Vue des copeaux .....	53
Figure III.3 Vue du dispositif d'essai.....	53
Figure III.4 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 30\text{mm}$ .....	54
Figure III.5 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 50\text{mm}$ .....	54
Figure III.6 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 70\text{mm}$ .....	55
Figure III.7 Contrainte- Déformation $\sigma=f(\epsilon)$ pour $L= 80\text{mm}$ .....	55
Figure III.8 Superposition des courbes $\sigma = f(\epsilon)$ pour les quatre longueurs .....	56

## **Chapitre IV : Essais de compression**

Figure IV.1 Le melange apres l'ajout de l'eau .....	57
Figure IV.2 Vibration des epreuvettes.....	58

Figure IV.3 Ecrasements de l'éprouvette.....	59
Figure IV.4 Rupture de l'éprouvettes béton témoin sous sollicitation de compression.....	60
Figure IV.5 Courbe moyenne contrainte-déformation d'essai 1.....	60
Figure IV. 6 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 3 .....	61
Figure IV.7 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 2 .....	61
Figure IV.8 Superposition des Courbe moyenne contrainte – déformation.....	62

## **Chapitre V : poinçonnement Des Petites dalles renforcées par des Fibres de récupération**

Figure V.1 Moules ,dalles , fibres utilisées et le vibreur .....	63
Figure V.2 Machine <IBERSTES> .....	65
Figure V.3 Vue de dispositif d’essais .....	65
Figure V.4 La tige de poinçonnement utilisée.....	68
Figure V.5 Dimesions des dalles utiliées .....	68
Figure V.6 Exemple d’essai de poinçonnement centré .....	69
Figure V.7 Exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement centré..	69
Figure V.8 Superposition des courbes Force-flèche pour les différents teneurs en fibres .....	70
Figure V.9 Types de grilles utilisées .....	72
Figure V.10 Coffrage et grilles utilisée .....	73
Figure V.11 Les etapes réalisées .....	74
Figure V.12 Collage des dalles.....	75
Figure V.13 Collage des renforts de grilles utilisées.....	75
Figure V.14 Mode de rupture de dalles (GPP/PM) .....	77
Figure V.15 Mode de rupture de dalles avec des (GPP/GM).....	77

Figure V.16 Superposition des courbes Force- flèche des dalles renforcées par des grilles Polypropylène .....	78
Figure V.17 Superposition des meilleurs courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques et le BT .....	78
Figure V.18 Exemple d’essai de poinçonnement excentré .....	79
Figure V.19 Exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement excentré (série 1) .....	80
Figure V.20 Superposition des courbes force-fleche pour les differnts teneurs en fibres.....	80
Figure V.21 Vue de mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM).....	82
Figure V.22 Vue de mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/GM).....	83
Figure V.23 Superposition des courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles polypropylène .....	83
Figure V.24 Superposition des meilleurs courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques et le beton témoin .....	85

## **LISTE DES TABLEAUX**

### **Chapitre I : Recherche bibliographique**

Tableau I.1 Caractéristiques des fibres couramment utilisées [17].....	24
Tableau I.2 Comparaison de la flèche des B.A.F. à celle du béton armé, et du moment de rupture des bétons armés de fibres à celui du béton témoin [23]. .....	33
Tableau I.3 Quelques applications de bétons renforcés de fibres [27].....	36

### **Chapitre II : Etude de la composition de béton**

Tableau II. 1 Analyse granulometrique du sable.....	45
---	----

Tableau II.2 Analyse granulometrique pour le gravier (3/8).....	45
Tableau II.3 Analyse granulometrique pour le gravier (8/15).....	45
Tableau II.4 Valeurs approximatives du coefficient granulaire .....	47
Tableau II.5 Constituants du beton pour un volume de 1 m <sup>3</sup> .....	50
Tableau II.6 Masse volumique apparente et absolue des granulats .....	51

### **Chapitre IV : Essais de compression**

Tableau IV.1 composition des éprouvettes .....	57
Tableau IV.2 Contraintes maximales à la rupture de chaque essai. ....	62

### **Chapitre V : poinçonnement Des Petites dalles renforcées par des Fibres de récupération**

Tableau V.1 La composition optimisée pour 1m <sup>3</sup> de béton et pour une dalle [25x50x7] cm <sup>3</sup> .....	64
Tableau V.2 Masse des différentes teneurs en fibres pour 1m <sup>3</sup> de béton et pour une dalle [25x50x7] cm <sup>3</sup> ..	64
Tableau V.3 Le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque pourcentage en fibres .	71
Tableau V.4 Forces à la rupture en poinçonnement centré des dalles testées (série 1).....	72
Tableau V.5 Dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées .....	73
Tableau V.6 Forces à la rupture des dalles testées en poinçonnement centré (série2).....	78
Tableau V.7 Le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque Pourcentage en fibres	81
Tableau V.8 Forces à la rupture en poinçonnement excentré des dalles testées (série1) .....	81
Tableau V.9 Forces à la rupture en poinçonnement excentré des dalles testées (série2). ....	84

# **Introduction générale**

Les dalles en béton armé lorsqu'elles sont soumises à des charges ponctuelles, développent des résistances plus ou moins faibles. Sous l'effet d'une charge concentrée (poinçonnement), des efforts tranchants très importants se développent dans la zone fortement sollicitée de la dalle conduisant à la rupture par poinçonnement de cette dernière. Ce mécanisme de rupture peut se rencontrer essentiellement dans les planchers-dalles et dans les semelles et radiers de fondation, ou lorsqu'une grande charge est transmise à une dalle par des appuis concentrés. Au vue de ce constat, la résistance au poinçonnement constitue un paramètre important dans la conception des dalles en béton. Pour améliorer la capacité portante des dalles sous l'effet du poinçonnement, de nombreuses solutions techniques sont disponibles et maîtrisées, elles ont fait preuve d'efficacité, et répondent à l'ensemble des problèmes potentiels rencontrés sur les structures en béton armé. Il convient de choisir la solution technique adaptée à la pathologie à traiter, après un diagnostic complet et précis des désordres, de leurs causes et de leurs évolutions.

La résistance au poinçonnement des dalles en béton armé est un thème très actuel. Des accidents récents ont montré la dangerosité du phénomène, caractérisé par une rupture fragile difficile à prévoir et qui conduit à une propagation rapide de la rupture avec effondrement complet de la dalle si des mesures constructives adéquates ne sont pas prises. Bien que le phénomène du poinçonnement des dalles en béton armé ait été étudié intensivement depuis les années '60, le problème ne peut pas encore être considéré comme résolu. En effet les modèles à disposition sont encore largement basés sur une approche empirique et des phénomènes importants, comme par exemple l'effet de taille, l'effet du confinement dans les planchers-dalles ou l'effet d'une variation thermique en cas d'incendie ne sont pas encore complètement expliqués et leur modélisation reste très rudimentaire.

La rupture par poinçonnement est caractérisée par une force concentrée agissant perpendiculairement sur une dalle - réaction d'une colonne ou charge concentrée - qui crée une rupture locale par pénétration à travers la dalle. Généralement inclinée par rapport au plan de la dalle d'un angle compris entre 25 et 40°. D'une dalle en béton armé ou en béton précontraint d'épaisseur constante qui est appuyée sur des colonnes, avec ou sans chapiteaux, disposés en général suivant une trame régulière. Le poinçonnement des dalles sans armature d'effort tranchant est un mode de rupture fragile, particulièrement indésirable, auquel il convient de prêter une grande attention lors de la conception et de l'exécution.

Pour améliorer la capacité portante des dalles sous l'effet du poinçonnement, de nombreuses solutions techniques sont disponibles et maîtrisées, elles ont fait preuve d'efficacité, et répondent à l'ensemble des problèmes potentiels rencontrés sur les structures en béton armé. Il convient de choisir la solution

technique adaptée à la pathologie à traiter, après un diagnostic complet et précis des désordres, de leurs causes et de leurs évolutions.

Depuis le début des années soixante beaucoup de recherches sont faites sur le béton de fibres, notamment en ce qui concerne ses propriétés mécaniques et le procédé de sa mise en œuvre. Il ressort de ces travaux que cette composite présente une bonne résistance à la traction et surtout un comportement ductile après la première fissuration. De part ses propriétés, l'utilisation du béton de fibres est orientée principalement vers la réalisation d'éléments et plaques minces telles que ; les dallages industriels, les routes, les pistes d'aéroport, les murs de soutènement, les pieux, les murs de façade... Les fibres utilisées comme moyen de renforcement du béton sont les fibres en acier, verre, fonte, polypropylène et matière plastique. Cependant, les plus utilisées sont les fibres métalliques.

L'incorporation des fibres au sein du béton améliore son comportement de façon à augmenter ces caractéristiques mécaniques. Ce procédé a donné naissance à un nouveau matériau qui présente une bonne résistance à la traction .

# **Chapitre I**

## **Recherche bibliographique**

## **I.1 Comportement des dalles et poinçonnement :**

### **I. 1. 1 Introduction :**

Les dalles constituent un des éléments de structure le plus classique. Du point de vue mécanique, une dalle est un élément bidimensionnel de structure plan, d'épaisseur faible par rapport à ses dimensions dans le plan. Elle résiste aux efforts auxquels elle est soumise par des mécanismes de flexion dans une ou deux directions suivant sa géométrie et ses conditions aux limites. [1]

Il est possible de classifier les dalles en fonction de leur système porteur. On peut distinguer :

- Les dalles portant dans une direction (dalles sur deux appuis). Ces dalles ont un comportement unidirectionnel et se comportent essentiellement comme des poutres, et se dimensionnent selon les mêmes principes,
- Les dalles portant dans deux directions (dalles sur quatre appuis). Ces dalles ont un comportement bidirectionnel et transmettent la charge à laquelle elles sont soumises dans les deux directions du plan en direction des appuis,
- Les dalles portant sur des appuis ponctuels, ces appuis sont généralement constitués de colonnes en béton ou en acier.

En fonction de leur élancement (rapport hauteur/portée), les dalles peuvent être classifiées en trois catégories : dalles minces, dalles d'épaisseur modérée et dalles épaisses.

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer.

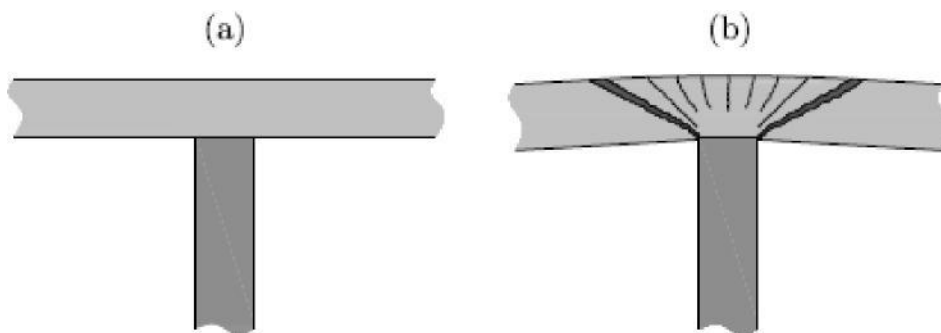
### **I.I.2 Poinçonnement des dalles :**

La résistance au poinçonnement constitue un paramètre important dans la conception des dalles en béton. Sous l'effet d'une charge concentrée (poinçonnement), des efforts tranchants très importants sont développés dans la dalle. La distribution de ces efforts tranchants est de forme hyperbolique, maximale au nu de la colonne [2] Généralement, des efforts de flexion accompagnent les efforts tranchants. Ainsi, des ruptures dites par flexion-poinçonnement peuvent être présentes dans certains

cas. Ce terme signifie que le mode de rupture final est par poinçonnement, mais l'origine de la rupture est la flexion [3]. Ce phénomène est visible essentiellement dans les dalles armées d'acier. La grande ductilité observée, lors de la rupture en flexion des dalles armées d'acier, engendre de larges déformations (plastification des armatures) entraînant un deuxième mode de rupture par poinçonnement.

Les dalles ayant un faible taux d'armatures (moins de 1 %), sont susceptibles d'avoir une rupture par flexion-poinçonnement. [4]. Le mode de rupture par poinçonnement est fort complexe, des essais sont couramment réalisés pour mettre en évidence ce phénomène par beaucoup de chercheurs. Les principaux points inhérents au problème de rupture par poinçonnement sont actuellement établis [2]

Le poinçonnement des dalles est caractérisé par une force concentrée exercée par un poteau, c'est la réaction d'une colonne ou charge concentrée qui engendre une rupture locale par pénétration à travers la dalle (*Figure I.1*). Cela a pour conséquence l'effondrement d'une grande surface de la dalle.



**Figure I.1** Plancher dalle : (a)avant fissurations, (b) après fissuration [4]

### **I.1.3 Comportement mécanique de dalle en béton armé :**

Le comportement flexionnel des dalles comprend plusieurs phases qu'il est important de distinguer la figure I.2 illustre les phases successives du comportement d'une dalle en béton armé sous une charge qui augmente progressivement.

- **Phase élastique linéaire**

Dans cette première phase de chargement de la dalle se comporte pratiquement comme une structure douée d'un comportement élastique linéaire.[6]

- **Phase de fissuration**

La fissuration du béton apparaît dans les zones les plus sollicitées pour s'étendre sous charge croissante aux autres zones pour lesquelles le moment de fissuration est dépassé. La rigidité des sections fissurées est réduite, ce qui conduit à une modification de la répartition des moments de flexion, les moments dans les zones non fissurées augmentent plus, pour un même accroissement de charge, que dans la phase élastique. Tant que l'écoulement de l'armature ne se produit pas, l'ouverture des fissures est limitée.[6]

- **Phase d'écoulement**

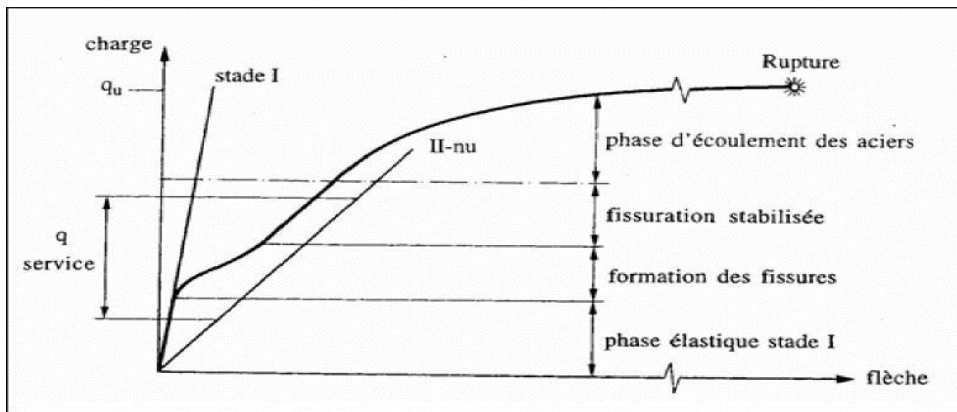
L'armature s'écoule progressivement dans les zones où les moments sont les plus élevés. Les sections où l'acier d'armature atteint sa limite d'écoulement continuent de se déformer, mais le moment de flexion n'y augmente plus, ce qui cause une redistribution des moments, plus importante que dans la phase précédente. Les zones d'écoulement de l'acier s'étendent progressivement et se concentrent le long de bandes étroites où se produisent les fissures les plus ouvertes. Ces fissures se développent suivant un schéma qui dépend notamment de la géométrie de la dalle, des conditions d'appui, de la répartition des armatures et du mode de chargement.[6]

- **Phase de rupture**

Lorsque les lignes d'articulation ont atteint un stade de développement tel que la dalle est transformée en un assemblage de sous-structures, une très légère augmentation de la charge conduit à un état d'équilibre instable provoquant l'effondrement de la dalle.

Dans le domaine élastique, selon les conditions d'appuis, on trouve différentes solutions, le plus souvent sous forme de séries de Fourier (solution de Navier pour les dalles articulées sur leurs quatre côtés, solution de Maurice Lévy pour les dalles articulées sur deux côtés opposés).

Dans le domaine post-élastique, la méthode cinématique est applicable aux dalles en partant d'un mécanisme admis a priori, c'est la théorie des lignes de rupture développées initialement par Johansen [1]



**Figure I.2** Phases successives du comportement d'une dalle en flexion [1]

Dans le cas des dalles renforcées par composites, et contrairement aux poutres renforcées, on trouve moins de travaux dans la littérature [1]

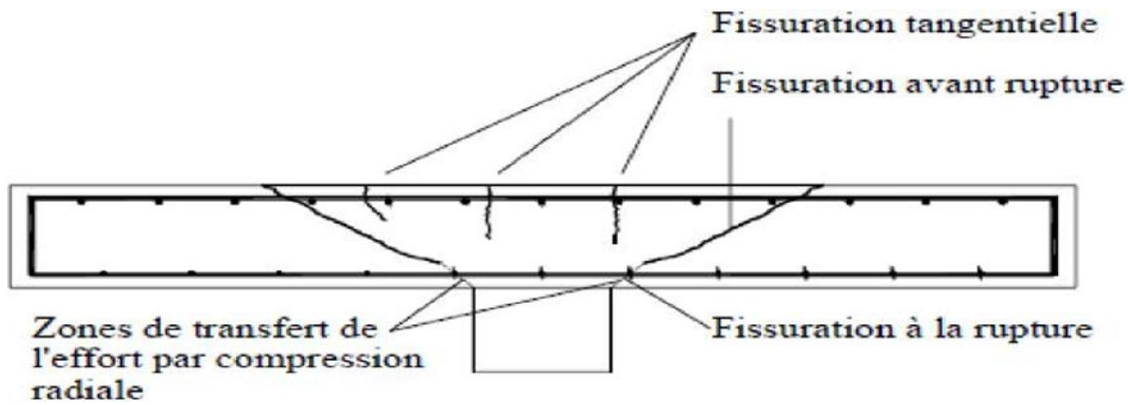
#### **I.1.4 Comportement des dalles sous charge concentrée :**

Lorsqu'une force concentrée (réaction d'une colonne) agit normalement au plan moyen d'une dalle en béton armé, il est nécessaire de vérifier que son introduction se fasse en toute sécurité pour éviter une rupture soudaine par pénétration à travers la dalle, ce type de rupture est appelé rupture par poinçonnement. Cette forme de sollicitation se rencontre essentiellement dans les planchers-dalles, les planchers-champignon ou lorsqu'une grande charge est transmise à une dalle par des appuis ponctuels. [7]

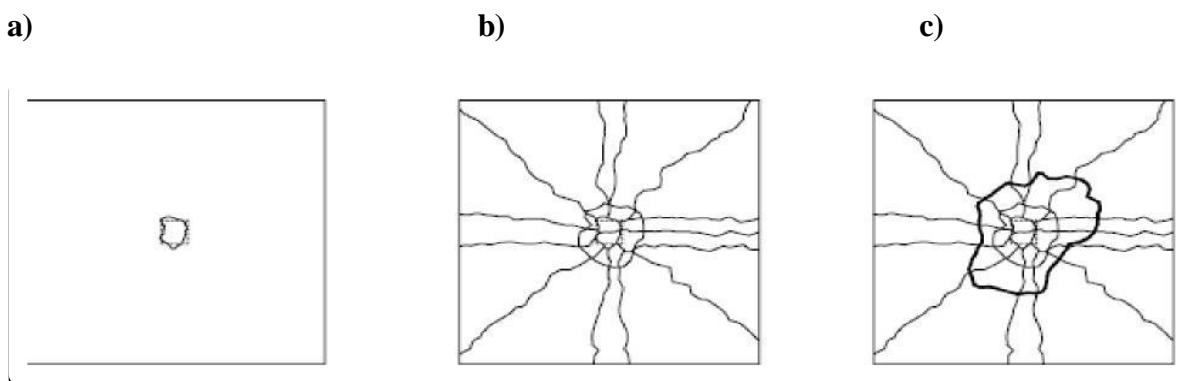
#### **I.1.5 Mécanisme de rupture :**

Lorsque la dalle est soumise au chargement de poinçonnement, elle commence à se déformer sans que des fissures se forment. L'évolution des fissures sur la face tendue pendant la mise en charge est illustrée par la figure I.2 [7]. Des fissures tangentielles apparaissent très tôt à la face supérieure de la dalle près de la projection du périmètre de la colonne (moment de fissuration radial, (fig. I.3.a). Les fissures qui suivent divisent la dalle en secteurs (fig. I.3.b). Les moments radiaux restent limités, ainsi que les courbures dans la direction radiale, dans une zone proche de la colonne. D'autres fissures tangentielles se forment à une distance plus grande de la colonne. Par la suite, des fissures internes en forme de tronc de cône se développent, en partant des fissures tangentielles créées par les moments radiaux, en direction de la tête de la colonne (figure. I.2).

A partir d'une certaine charge et jusqu'à la rupture, on n'observe plus de formation de nouvelles fissures, mais seulement une ouverture des fissures existantes.



**Figure I.3** Fissuration lors d'une rupture par poinçonnement [5]



**Figure I.4** Evolution des fissures sur la face tendue d'une dalle pendant la mise en charge [5]

La rupture se produit brutalement, sans déformation préalable significative dans le cas de dalles normalement armées : la fissure tronconique entre la dalle et le cône de poinçonnement s'ouvre largement et la fente qui s'ensuit conduit à une rupture rapide. En surface une grande fissure tangentielle apparaît. Celle-ci ne donne toutefois pas la dimension réelle du cône de poinçonnement en surface car les deux nappes d'armature tendue sont arrachées par le cône et la fissure visible en surface est donc plus grande qu'en réalité, comme illustrée par les figure I.2 et I.3.

### **I.1.6 Définition du poinçonnement :**

Le terme poinçonnement est utilisé pour définir une rupture localisée d'une connexion entre une dalle et une colonne. La dalle se rompt le long d'une surface inclinée qui s'étend du feuillet en compression au nu de la colonne jusqu'au feuillet en traction à une certaine distance de la colonne. La rupture est matérialisée par une fissure de traction inclinée d'un angle de  $25^\circ$  à  $35^\circ$  par rapport au feuillet moyen de la dalle. Cet angle varie encore davantage selon si l'on utilise une armature de poinçonnement ou de précontrainte. [7].

#### **I.1.6.1 Différents types de poinçonnement :**

En fonction des caractéristiques géométriques des dalles et des poteaux ainsi que de la position du poteau dans la dalle on distingue trois types de poinçonnement.

- **Poinçonnement symétrique**

On parle de poinçonnement symétrique si la géométrie, la charge, les conditions d'appuis et la constitution de la dalle (matériau et armatures) peuvent être considérés symétriques par rapport à deux axes de symétrie. Dans le poinçonnement symétrique, on a une double symétrie axiale, (Figure I.4 a).

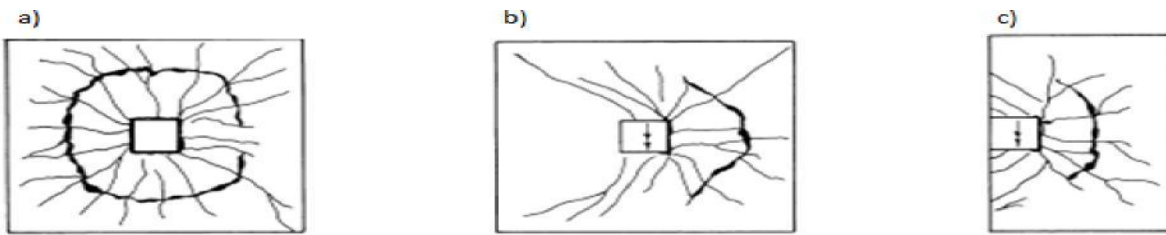
- **Poinçonnement non symétrique**

Le poinçonnement non symétrique (Figure I.4 b) est observé lorsqu'on a une asymétrie de la charge, des portées différentes ou des quantités d'armatures de flexion différentes dans les deux directions de la dalle. On rencontre très souvent ce problème dans les bâtiments et les parkings avec des planchers dalles et dans les ponts-dalles, les exigences architecturales et fonctionnelles imposent souvent des irrégularités géométriques comme des colonnes rectangulaires et des portées différentes qui amènent aux situations de non symétrie centrée. [8]

- **Poinçonnement excentré**

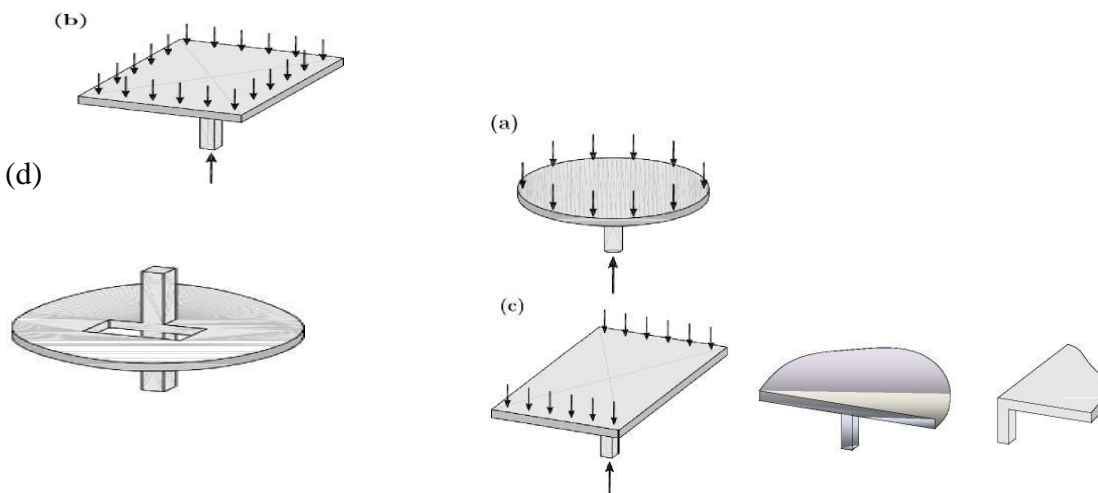
Le poinçonnement excentré est un phénomène essentiellement rencontré dans le cas des colonnes de bord et colonnes d'angle (Figure I.4 c), il est caractérisé par une combinaison

d'un effort vertical centré exercé par le poteau sur la dalle et un moment de flexion transmis par le même poteau.



**Figure I.5** a) Rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne intérieure sans excentricité, b) rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne intérieure avec excentricité et c) rupture par poinçonnement d'une dalle sur une colonne debord. [8]

L'effet combiné de la charge verticale et du moment peut être remplacé par une charge verticale excentrée par rapport à l'axe de la colonne. Dans ce cas, la surface de rupture se forme du côté de la colonne où l'excentricité est appliquée. Cette surface n'est plus nécessairement un cône tronqué, mais peut devenir asymétrique autour de la colonne suivant l'intensité du moment de flexion, cette asymétrie augmente avec l'augmentation de l'excentricité. [7].



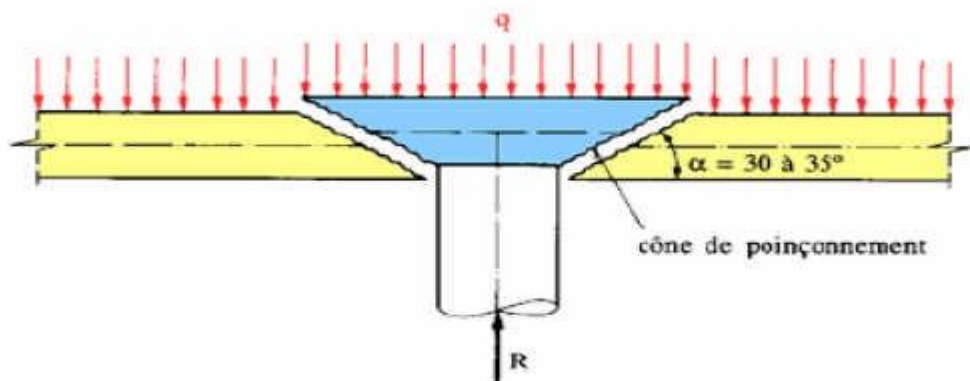
**Figure I.6** Différents types de poinçonnement de dalles en béton armé: (a)poinçonnement axisymétrique,

(b) poinçonnement symétrique,(c)poinçonnement non symétrique,(d) poinçonnement excentré . [8]

### I.1.6.2 Mode de rupture par poinçonnement :

Le mode de rupture par poinçonnement est fort complexe et fait toujours l'objet de tentatives d'explications de la part des chercheurs, les principaux points de son développement sont actuellement établis. [4]

- Des fissures tangentielles, de forme circulaire, apparaissent très tôt (sous charge de service) à la face supérieure de la dalle au périmètre de la colonne ;
- Après formation d'une fissure circulaire importante au nu de la colonne, les fissures suivantes sont essentiellement dues aux moments tangentiels. Elles ont donc des trajectoires radiales
- Des fissures internes en forme de tronc de cône se créant pour des charges de l'ordre de la moitié aux deux tiers de la charge de rupture, sans pour autant influencer la résistance
- A l'approche de ruine, les déformations au voisinage des colonnes restent faibles,
- La rupture se produit brutalement, sans déformation préalable significatives : la fissure tronconique entre la dalle et le cône de poinçonnement s'ouvre largement et la fente qui s'ensuit à une rupture subite ;



**Figure I.7** Mode de rupture par poinçonnement. [7]

- **Méthodes de réparation**

Le principe du renforcement ou de la réparation consiste en adjonction de matière dans Les zones où les sections sont trop sollicitées.

La notion de RENFORCEMENT ayant pour objectif d'améliorer les performances de la structure vis-à-vis de conditions d'exploitations modifiées ou d'augmenter la durée de vie de l'ouvrage. Différentes technologies de réparation et de maintenance des ouvrages sont couramment utilisées depuis de nombreuses années. . [1]

### **I.1.7 Conclusion :**

Le poinçonnement des dalles en béton armé est un thème très dangereux qui est définie une rupture localisée d'une dalle et une colonne qui fait toujours l'objet de tentatives d'explications de la part des chercheurs qui ont trouver des méthodes de réparation ou de renforcement qui ont montré leurs limites sur e comportement à long terme

## **I.2 Influence des fibres de récupération sur le comportement du béton armé :**

### **I. 2.1 Technologie du béton arme de fibres :**

#### **Introduction :**

Le béton reste un matériau moderne. En effet, il a de nombreuses qualités, parmi lesquelles on peut citer son faible cout, sa facilite de moulage, son excellente résistance en compression, sa bonne tenue au feu et sa durabilité. Toutefois, sa faible résistance en traction et sa fragilité font que le béton doit être renforce. Ainsi, on utilise des armatures et des câbles ou des fils de précontraintes.

Ces solutions traditionnelles ont fait leurs preuves et elles resteront utilisées encore très longtemps. Malgré cela, il existe une autre solution qui consiste à noyer dans le béton, des éléments résistant à la traction : des fibres qui sont naturelles ou synthétiques. Cela conduit à un matériau composite (nouveau béton). Si, en général, les fibres sont noyées au hasard dans le béton, il arrive que par des mises en Œuvre adaptées, on puisse donner aux fibres une orientation préférentielle correspondant à la direction des contraintes pour améliorer la résistance à la traction , à la flexion ou au cisaillement d'une pièce, des recherches importantes ont été faites sur ce nouveau matériau qu'est le béton de fibres, notamment en ce qui concerne les propriétés mécaniques et le procède de mise en œuvre de ce matériau. Plusieurs auteurs, dont on peut citer [10, 11, 12, 13, 14,], ont permis de mettre en évidence les performances de ce composite ; à savoir :

- Une bonne résistance à la traction, à la fatigue et aux chocs.
- Un comportement ductile après la première fissuration.
- Une facilité de mise en œuvre.

L'utilisation des fibres comme moyen de renforcement du béton ne s'est pas limitée uniquement au cas des fibres d'acier.

Des fibres de verre, en matière plastique, de fonte et de polypropylène ont été utilisées, notamment pour renforcer les sols. [9]

### **I.2.2 Définition du Béton :**

Le béton est un matériau composite constitué de granulats gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable), de ciment et d'eau. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit.

La pâte de ciment hydrate et le sable constitue le mortier. Celui-ci a pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomerat solide. Les adjuvants et les additions servent à améliorer certaines caractéristiques du béton frais ou durci.

### **I.2.3 Définition du Béton armé de fibres :**

Un béton armé de fibres est un mélange contenant une répartition de fibres discontinues dans une matrice de béton traditionnel. L'ajout des fibres a pour objectif d'obtenir un matériau composite « isotrope » présentant une meilleure résistance à la traction, un meilleur comportement post-fissuration, de remédier ainsi à son inconvénient majeur qui est son comportement du type fragile vis-à-vis de la traction.[10]

Le béton renforcé de fibres métalliques est un matériau composite dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux. D'un point de vue des zones de transition (interface fibre – matrice). La diversité des composites est essentiellement due à la variabilité du renfort fibreux qui peut être différencié selon son aspect géométrique (fibres courtes, longues, droites, ondulées, ...) ou le type du matériau simplifié, les composites sont constitués de trois phases : la matrice, les fibres de renfort et constitutif (fibres polymériques, naturelles, métalliques, de verre...) [11]

Un nouvel essor est apporté par l'invention vers 1930, du béton précontraint par Eugène Freyssinet. Un pas conceptuel important est alors franchi, qui a constitué une véritable révolution dans l'art de construire, tant par la mise en pratique de la notion de précontrainte que par l'approfondissement de la compréhension du comportement mécanique et rhéologique du béton [12].

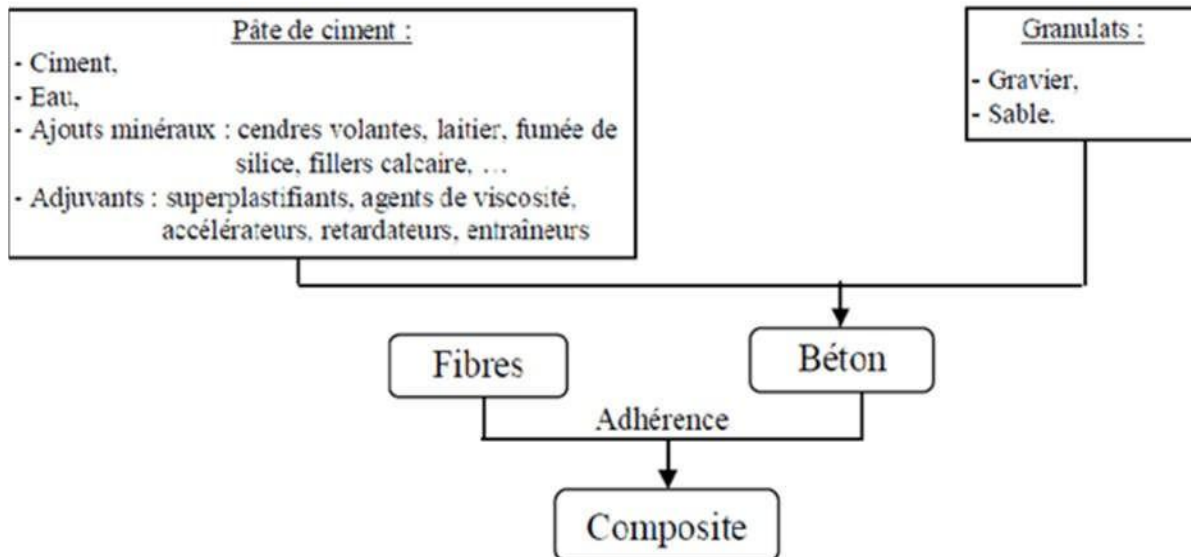


Figure I.8 Modèle de composite à base de fibres

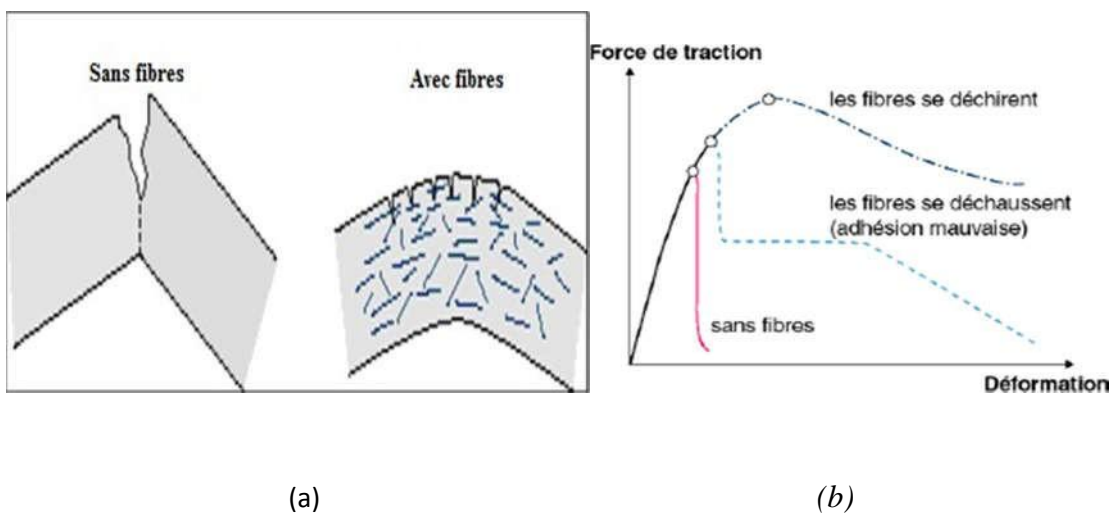
#### I.2.4 Rôle des fibres dans le béton :

Les fibres noyées dans le béton jouent le rôle de " couture " des fissures. En effet, la longueur maximale d'une microfissure est de l'ordre de la dimension du plus gros granulat [18]. La longueur moyenne des fibres utilisées est nettement supérieure à la dimension du plus gros granulat. Chaque microfissure se propageant dans la pâte, peut être "pontée" par une ou plusieurs fibres. Ainsi les fibres empêchent la propagation des microfissures qui ne peuvent de ce fait s'agrandir que par :

- allongement élastique ou plastique des fibres,
- effritement de la matrice de béton au voisinage de la fibre,
- glissement des fibres,
- rupture des fibres.

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition des 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. Il n'a été constaté que le rôle principal des fibres 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 I.9
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes. [13]



**Figure I.9** Illustration de l'apport du renfort par des fibres [14]

Lors d'un essai de flexion, la faible résistance du béton est atteinte en un laps de temps, ce qui provoque la création d'une fissure qui en se propageant conduit le matériau à une rupture fragile.

Toutefois, les BFM parviennent à franchir ce seuil en transmettant une partie de cette force à travers la fissure via les fibres, ce qui nous laisse penser que l'efficacité des fibres réside en leur nombre et la qualité de leur ancrage [15]

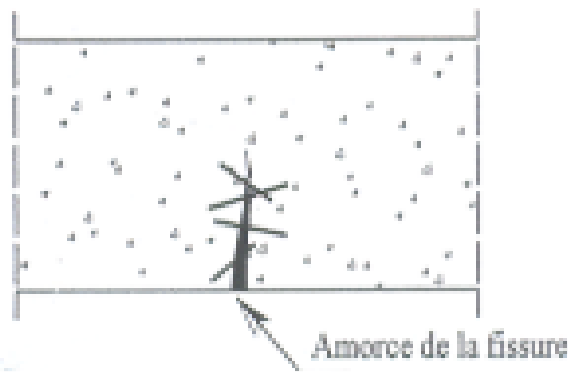


Figure I.10 Rôle des fibres dans une matrice [15]

### I.2.5 Fabrication des bétons de fibres :

La nécessité de la fabrication d'un BFM fait qu'un dosage abusif des fibres à incorporer rend irréalisable le gâchage ainsi que la mise en œuvre. C'est pourquoi, et eu égard aux paramètres fondamentaux de dosage en volume, de forme et de rapport L/D qui peuvent influencer d'une part l'ouvrabilité et la mise en œuvre et d'autres part l'efficacité mécanique, une bonne mise en œuvre exige impérativement de fixer un dosage maximum en fibres à ne pas dépasser en aucun cas au détriment de l'efficacité mécanique. [16].

### I.2.6 Formulation du béton de fibres :

Le manque de méthodes de formulation des bétons de fibres a toujours posé un problème, mis à part les quelques méthodes empiriques que nous propose la littérature [17] et qui, dans certains cas, débouche sur des résultats erronés. Avec l'évolution de cette technologie et pour venir en aide aux industriels qui s'intéressent aux BFM, le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) a pu établir une méthode de formulation de ces bétons courants. La particularité de cette méthode, est qu'elle nous donne la possibilité d'avoir une composition à chaque fois spécifique. Par conséquent, elle conduit à un matériau optimisé vis-à-vis des objectifs escomptés. Ainsi selon que l'on souhaite avoir un BFM maniable, résistant ou ayant une influence sur la ductilité des structures, le matériau composite conçu sera totalement distinct [17].

Pour mieux optimiser la composition des bétons de fibres métalliques, le laboratoire central des ponts et chaussées (LCPC) propose une méthode expérimentale basée sur la méthode de Baron Lesage, utilisée aussi pour les bétons courants [17]. Cette méthode est basée sur deux hypothèses

1. Pour un dosage en eau et ciment fixé au départ (E/C, fixe), le béton le plus maniable et le plus compact est celui qui a le squelette minéral le plus optimal.
2. Le dosage en granulats est indépendant de la nature et du volume de la pâte de ciment (eau+ciment).

Une troisième hypothèse vient se dresser pour renforcer les deux premières et assurer l'adéquation de cette méthode aux bétons de fibres métalliques dont l'énoncé est le suivant :

3. L'introduction des fibres métalliques n'influe en rien sur les deux premières Hypothèses.

Pour appliquer cette méthode au béton de fibres métalliques on introduit une troisième hypothèse : l'ajout de fibres métalliques ne modifie pas les deux premières hypothèses [17].

La méthode de Baron-Lesage consiste à:

Fixer au départ, le rapport eau sur ciment(E/C) ainsi que le pourcentage de fibres à incorporer .Faire varier le rapport S/G (sable sur granulats) et déterminer pour chaque rapport la maniabilité du béton de fibres, tracer la courbe reliant la maniabilité et le rapport S/G et déterminer le rapport S/G pour lequel la maniabilité est la plus grande.

L'application de la méthode de BARON LESAGE pour la composition du béton de fibres métalliques conduit à une composition totalement différente de celle du béton courant .

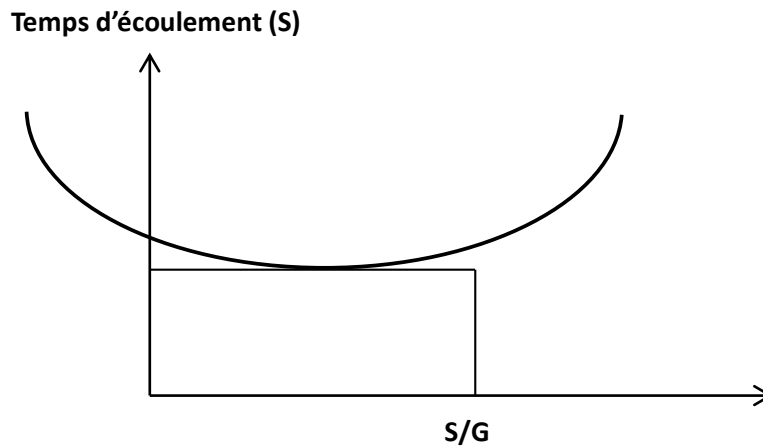
La composition obtenue est riche en pate de ciment, ce qui favorise l'adhérence des fibres à la matrice. Lors de l'élaboration du béton de fibres métalliques il convient :

de bien choisir la méthode de mesure de l'ouvrabilité du béton car toutes les méthodes ne conviennent pas au béton de fibres. Les méthodes de mesure faisant appel à la vibration (maniabilité LCL, flow test) sont plus indiquées.

de choisir judicieusement le type et le pourcentage de fibres à incorporer en relation avec l'application industrielle visée.

D'éviter l'utilisation de l'aiguille vibrante du fait de l'orientation préférentielle des fibres et de l'effet de cheminée. Il est préférable d'utiliser les vibreurs de coffrage et les règles vibrantes.

De porter une grande attention à la méthode de malaxage, donc à la séquence d'introduction des différents matériaux, de façon à assurer une distribution uniforme des fibres dans le mélange frais



**Figure I.11** Détermination du rapport S/G optimal [17]

Toutefois la maniabilité que l'on obtient en suivant le processus de cette méthode peut être différents de celle désirée, ainsi comme l'exige la deuxième hypothèse et pour remédier à cette situation paradoxale, nous pouvons jouer sur la quantité d'eau ou de ciment de telle sorte à maintenir le rapport E/C constant, ce qui nous conduira éventuellement à un mélange ayant plus de pâte de ciment.

Une recherche a été caractérisée au laboratoire central des ponts et chaussées et cela en étudiant deux types de fibres métalliques, les fibres DRAMIX collées par groupe sous forme de plaquettes et les fibres de fonte amorphe dites ponts à mousson. Cette étude portait sur l'influence de la longueur des fibres ainsi que de leurs pourcentages dans une matrice cimentaire [17]

La constatation qui a été faite est que plus est grand le pourcentage en fibres plus on doit augmenter le rapport S/G et la quantité de pâte de ciment en l'occurrence E+C.

Par conséquent cette observation a conduit aux déductions suivantes :

1. Il apparaît que le rôle des fibres s'apparente à celui d'un gros gravillon du squelette minéral.
2. Le béton que l'on obtient est beaucoup plus poreux pour cause d'augmenter la quantité de sable, fait qui est censé être compensé par une quantité de pâte de ciment

En plus. Ce résultat, qui semble péjoratif, s'est révélé bénéfique pour l'assurance d'une adhérence mécanique plus ou moins parfaite entre fibres et pâte de ciment.

L'augmentation du rapport S/G ainsi que de la pâte de ciment est plus considérable pour un béton de fibres de fonte amorphe que pour un béton de fibres DRAMIX ; la raison en est simple, le phénomène est perceptible par le fait que les fibres de fonte amorphe possède une forme peu différente d'un gros gravillon que celle des fibres DRAMIX, ce qui signifie une substitution plus formelle entre fibres et gravillons.

### **I.2.7 Mise en œuvre du béton renforcé de fibres :**

Lors de la mise en œuvre du béton de fibres, le dosage en fibres ne peut pas dépasser certaines limites car au-delà, le gâchage et la mise en œuvre deviennent impossibles. Compte tenu des rôles opposés dévolus aux paramètres fondamentaux des fibres (dosage en volume, forme et rapport longueur sur le diamètre) sur l'ouvrabilité et la mise en œuvre, et sur l'efficacité mécanique après durcissement, on doit se limiter à une gamme de pourcentages qui ne donne qu'une efficacité mécanique réduite mais qui permet une mise en œuvre acceptable [16].

#### **I.2.7.1 Composition du béton de fibres :**

La mise en œuvre d'une composition optimale du béton de fibres est complexe car l'ouvrabilité et l'homogénéité du composite dépendent des trois facteurs suivants:

- La géométrie des fibres définie par le rapport (longueur / diamètre) de chaque fibre.
- Le volume des fibres utilisées dans la matrice de béton.
- La forme d'ancrage des fibres.

Pour avoir un renforcement efficace de la matrice, les fibres doivent être suffisamment longues pour s'opposer à l'ouverture des fissures inter granulaires. Cette longueur doit représenter trois fois la dimension du plus gros granulat [18], aussi, pour couvrir efficacement les deux parties des fissures, il faut que les fibres soient munies d'un système d'accrochage qui leur assure un ancrage solide dans la matrice. Cependant, il faut noter que l'augmentation de la longueur des fibres et la présence de systèmes d'ancrage spécifiques diminuent l'ouvrabilité du béton.

La granulométrie du béton est étroitement liée à la dimension des fibres. Les dimensions

des granulats doivent être telles qu'un nombre réduit de fibres suffise à les encadrer (Figure : I.12). Pour que les granulats soient bien encadrés par les fibres il est nécessaire d'avoir une matrice riche en éléments fins. Une composition granulaire appropriée s'avère donc nécessaire pour le béton armé de fibres, afin d'obtenir une distribution uniforme des fibres dans le béton et parer à la formation des pelotes de fibres.

La granulométrie influe beaucoup sur la maniabilité du béton, la présence de gros granulats crée des frictions entre les particules ce qui a tendance à réduire l'ouvrabilité. De plus, les fibres incorporées au mélange interfèrent avec les gros granulats et se trouvent de ce fait limité dans leurs possibilités de mouvement ce qui affecte aussi la maniabilité. Les fibres s'accommodent mieux de bétons relativement fins dont le diamètre maximum des grains est de l'ordre du quart de la longueur de la fibre, les bétons de sable se prêtent particulièrement bien à l'inclusion de fibres.

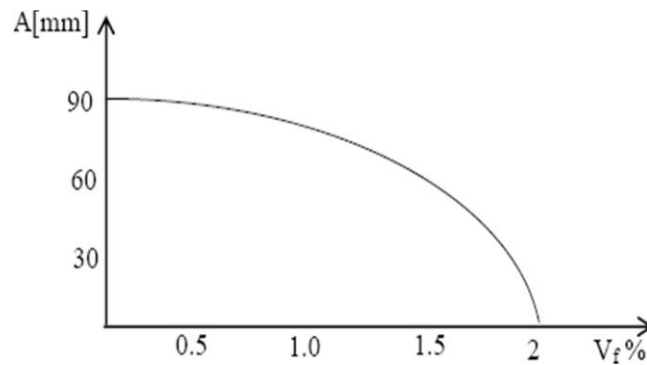
Concernant la teneur en fibres, il a été montré que la teneur maximale dans la matrice est limitée par le pourcentage de gros granulats car les fibres doivent être bien enrobées. Une forte teneur en fibre entraîne une diminution rapide de l'ouvrabilité du béton du fait que l'incorporation des fibres se traduit par une augmentation de la surface spécifique dans le mélange. Cette augmentation de surface tend, par absorption d'eau, à sécher le mélange, ce qui engendre une perte de compacité et d'ouvrabilité. Pour augmenter l'ouvrabilité du béton de fibres on ajoute en général des plastifiants dans le mélange. La quantité de plastifiant à ajouter dépend de son efficacité [19]. Il faut, dans ce cas-là, un ajustement de la composition des granulats pour que l'adjuvant atteigne son maximum d'efficacité. La teneur en fibre est fixée par une relation empirique dite « limite de faisabilité » :

$$V_f \cdot L/D < 3$$

Avec :

- $V_f = V_f \% \cdot 100$  : fraction volumique des fibres
- $L/D$  : élancement des fibres.

Le dosage limite couramment utilisé pour les bétons de fibres métalliques est de l'ordre de 2% [20]



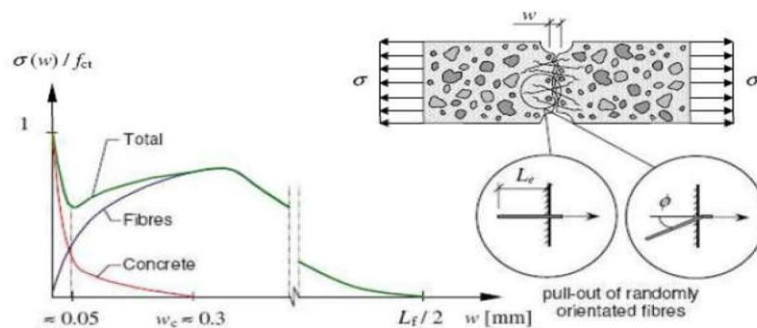
**Figure I.12** Effets des fibres sur l'affaissement du béton au cône d'Abrams [21].

En général, l'ajout des fibres est effectué lorsque le malaxage du béton est terminé. Pour éviter la formation superficielle de rouille, le serrage par mise en vibration du coffrage ou table vibrante, est toujours conseillé. Les fibres s'orientent alors parallèlement au coffrage par effet de paroi et s'écartent légèrement de celle-ci de telle sorte qu'elles soient enrobées dans le béton, ce qui constitue une protection contre la corrosion en surface.

### I.2.8 Comportement mécaniques des fibres :

Les fibres interviennent essentiellement dans la phase post-fissuration assumant un transfert des contraintes à travers la discontinuité du champ des déplacements. Avant fissuration, les fibres n'ont aucune ou peu d'influence sur le comportement mécanique, que ce soit à la compression ou à la traction. Une fois la fissure ouverte, les fibres par leur action directe restreignent la propagation de la fissure[21].

(La figure I.12) montre le comportement global d'une éprouvette en béton fibré soumise à la traction directe.



**Figure I.13** Contribution des fibres dans le comportement à la traction [22].

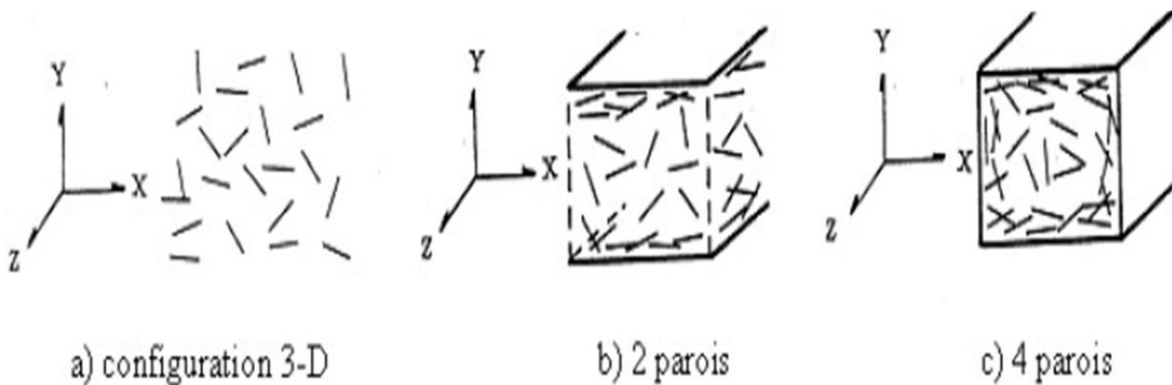
On peut noter l'apport des fibres dans le comportement post-fissuration par rapport à un béton ordinaire, en première approximation, il est évalué en faisant la différence entre la réponse du béton fibré et celle du béton de référence.

Abstraction faite des propriétés intrinsèques du matériau constitutif de la fibre et de sa géométrie, l'efficacité du renfort par des fibres est intimement liée à leur espacement moyen dans la matrice. Le nombre de fibres par unité de surface de la fracture,  $N_1$ , est donc un paramètre qui gouverne le comportement post fissuration.

La littérature propose quelques outils pour accéder à  $N_1$ , en particulier une des relations les plus usuelles :

$$N_1 = \alpha \frac{V_f}{A_f}$$

Où  $V_f$  est le dosage volumique en fibres,  $A_f$  est la section de la fibre et  $\alpha$  est le facteur orientation. Quand des fibres sont dispersées dans un volume « infini » de béton (Figure I.14 configuration 3-D), on peut penser que la probabilité d'une orientation privilégiée est nulle. Lorsque ce béton se retrouve entre deux parois aussi proches comparativement à la longueur de la fibre (Figure I.14), ce confinement nous éloigne des conditions précédentes (configuration 3-D) pour nous rapprocher d'une configuration à deux dimensions (2-D). Avec 4 parois les degrés de liberté sont plus limités et l'on s'éloigne de plus en plus des conditions sans orientation privilégiée pour tendre un alignement unidirectionnel (configuration 1-D).



**Figure I.14** Schématisation de l'orientation des fibres métallique dans le béton [23].

Les effets de cette orientation préférentielle des fibres sont généralement pris en compte à travers le facteur orientation qui correspond au rapport entre la longueur de la fibre projetée suivant la direction du chargement et la longueur réelle de cette même fibre. Il s'agit bien entendu d'un rapport moyen dans ce sens où il faut balayer toutes les orientations possibles de la fibre. D'après de nombreux auteurs, ce facteur orientation est compris entre 0,41 et 0,82.

L'orientation des fibres dans une structure (poutre, dalle ...) est influencée par plusieurs paramètres. L'analyse a montré qu'un effet d'orientation des fibres limité.

### **I.2.9 La maniabilité des bétons des fibres :**

La maniabilité d'un BFM est capitale, selon la destination, pour en faciliter la mise en œuvre. Ainsi pour avoir une étreinte sur le contrôle de l'ouvrabilité, il faut parvenir à gérer plusieurs paramètres et dont la maniabilité est étroitement liée :

1. Le dosage en fibres et l'élancement qui sont inversement liés à la maniabilité.
2. Le même phénomène est constaté avec une quantité abusive des gros granulats.
3. La rugosité de la surface des fibres et leur géométrie amplifient le risque de formation d'oursins de fibres au sein d'une matrice cimentaire [24].

### **I.2.10 Différents types des fibres :**

Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leurs dimensions (macro ou microfibrilles) et leurs propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont les fibres organiques et les fibres inorganiques

#### **I.2.10.1 Fibres organiques :**

Ces fibres ne sont pas utilisées pour renforcer le béton, vu que leurs caractéristiques mécaniques sont inférieures à celles du béton. Elles sont par contre mieux adaptées pour le renforcement des sols, notamment dans le corps des chaussées nous pouvons citer :

**Les fibres végétales et animales :** la principale 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. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

**Les fibres synthétiques :**

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme le nylon, le polypropylène, l'acrylique, le polyester ...etc. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent de produits dérivés du pétrole et de polymères dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès est le nylon, date de 1938. Depuis, de nombreuses fibres synthétiques, dont les fibres acryliques, l'aramide et le polystyrène sont apparus. [25]

**I.2.10.2 Fibres non organique :**

Ces fibres ont une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité élevé, comparativement à la matrice. Dans cette catégorie de fibres, nous pouvons citer :

**-Les fibres minérales :** Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine...etc.). Elles sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisées pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérogènes. [25]

**-Les fibres artificielles :** Ce type de fibres est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine du génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres métalliques et autres. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction.

Les principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et les bétons sont les fibres métalliques. Ce type de fibres, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, a été et reste encore un objet de recherches très important. Les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion inter faciale fibre - matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre, ce qui les a conduits aux nombreuses variétés de fibres qui se différencient les unes des autres par leurs diamètres, leurs sections (ronde, carrée, rectangulaire), leurs longueurs et leurs modes 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 sont classées en deux catégories :

- Les fibres fonctionnant par adhérence, de forme généralement plate, ayant une surface spécifique importante. Elles sont peu ductiles. Leur principal apport est la limitation de l'ouverture des fissures.

- Les fibres fonctionnant par ancrage, de forme cylindrique en acier tréfilé, ayant un comportement ductile. L'ancrage est assuré par des crochets aux extrémités de la fibre ou par la forme ondulée de la fibre. Ces fibres confèrent une bonne ductilité au béton car elles ont une

capacité de reprise d'efforts importante lorsque les fissures sont assez ouvertes. Quelques types de fibres

- couramment usitées sont donnés dans le tableau I.1 suivant :

Type de fibre	Forme/ géométrie	Matière constituante	$R_t$ $\times 10^2$ [MPa]	$E$ $\times 10^5$ [MPa]	L [mm]	l [mm]	D [mm]	e [mm]
Bekaert Dramix ZC50/50		Fil d'acier étiré à froid	11	2	50	.....	0,5	.....
Eurosteel 50/80 60/100		Acier tréfilé à moins de 0.15% C	14	2	50 60		0,8 à 1	....
Twincon E à 2 têtes		Acier tréfilé	12	2	54	.....	1	.....
Pont à Mousson		Fonte amorphe à 5% de Cr	20	1,4	60	1,5 à 2	.....	0,03
Harex		Obtenues par le fraisage de blocs d'acier.	7	2	32	2	.....	0,25

**Tableau I.1** Caractéristiques des fibres couramment utilisées [17]

$R_t$  : résistance à la traction du matériau de la fibre.

$E$  : module d'élasticité à la traction du matériau de la fibre.

L : Longueur.

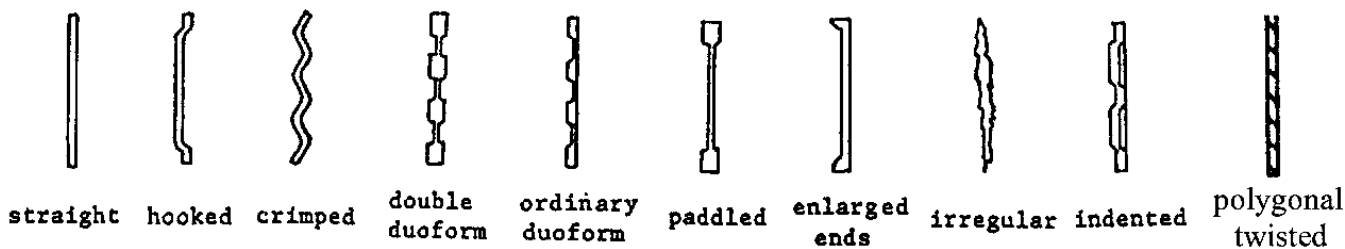
l : Largeur.

D : Diamètre.

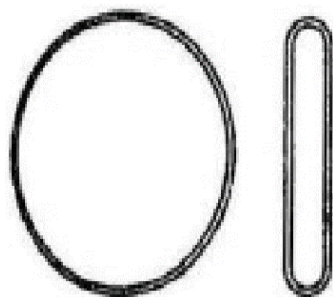
e : Epaisseur

**I.2.10. 3 fibres métalliques :**

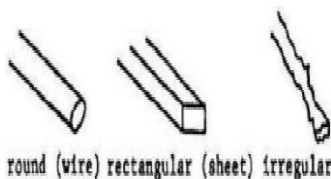
Ces fibres sont surtout en acier, elles présentent de bonnes caractéristiques mécaniques : une bonne résistance à la traction, une bonne adhérence avec le béton et sont surtout inertes aux attaques du ciment et autres composants du béton. Les différents types de fibres couramment utilisées en Europe sont énumérés ci-après.



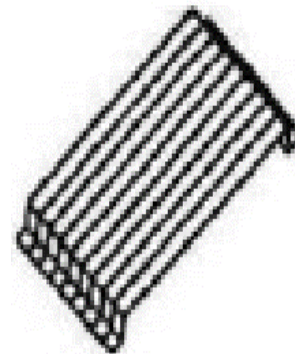
(a) *Forme des fibres métalliques*



(b) *Fibres en boucle*



(c) *Sections des fibres*



(d) *Fibres accolées en paquets*

**Figure 1.15** différents types de fibres métalliques [a, b, c, d]. [26]

#### I.2.10.4 Les différents types de fibres couramment utilisées en Europe :

##### ❖ Fibres Dramix

Ce sont des fibres à crochets (Figure I.16); elles sont fabriquées en fil d'acier étiré à froid et ont une résistance à la traction de 1100 MPa. Pour le type standard  $zc / 50 / 50$ , elles ont une longueur de 50 mm et un diamètre de 0.5 mm. Elles se présentent sous forme de plaquettes de 10 à 12 fibres accolées. Lorsqu'elles sont introduites dans le béton la colle se dissout et les fibres sont réparties d'une manière aléatoire.

##### ❖ Fibres Eurosteel

Ce sont des fibres ondulées sur toute leur longueur (figure I.16), en acier tréfilé avec une teneur en carbone de 0.25%. Leur résistance à la traction est de 1400 MPa et leur élongation à la rupture est de l'ordre de 14%. Il existe deux types standards :

Eurosteel 60 / 100 (longueur 60 mm, diamètre 1 mm),

Eurosteel 50 / 80 (longueur 50 mm, diamètre 0.8 mm).

##### ❖ Fibres Pont à Mousson

Elles se présentent sous forme d'un ruban (figure I.16), de 1.5 à 2 mm de largeur et 60 mm de longueur, leur épaisseur est de l'ordre de 30 microns. Elles sont en fonte amorphe, leur résistance en traction est de 2000 MPA

##### ❖ Fibres Harex

Les fibres Harex sont obtenues par fraisage de blocs d'acier (figure I.16), leurs dimensions sont de 32\*2\*0.25 mm. Elles ont une résistance de 700 MPa et un module de 200000 MPa

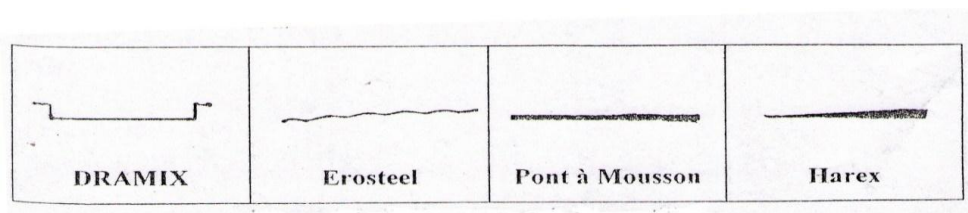


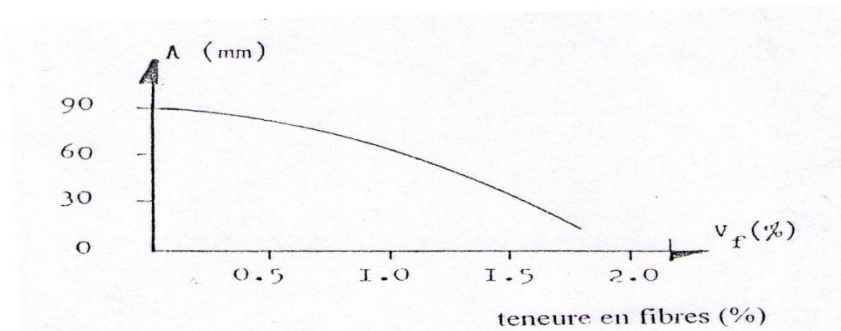
Figure I.16 ; Différent types de fibres utilisées

## I.2.11 Propriétés physiques et mécaniques des bétons de fibres :

### I.2.11.1 Influence des fibres noyées dans le béton :

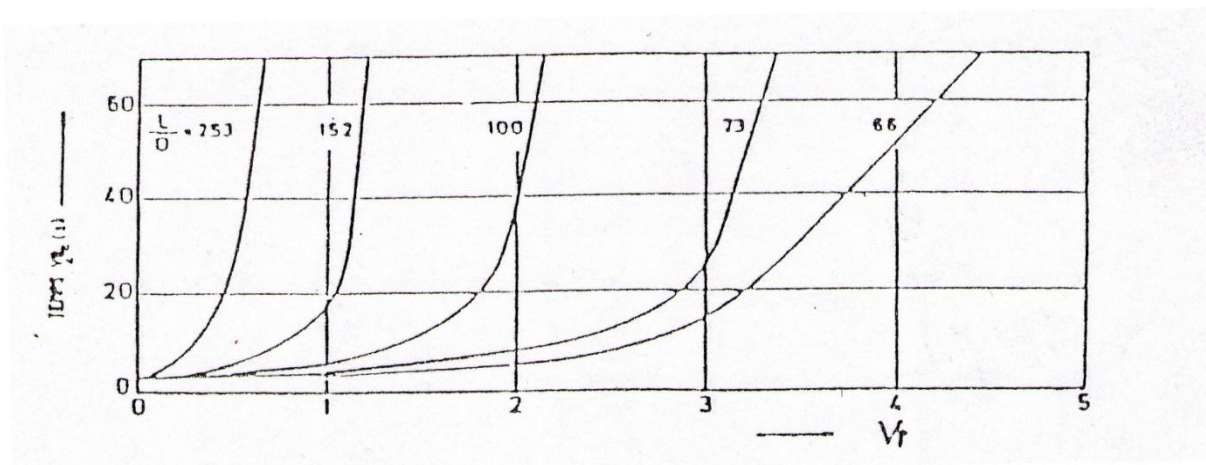
- Influence du pourcentage des fibres :

Les fibres noyées dans le béton jouent le rôle d'armature, contrôlent sa fissuration et lui confèrent une grande ténacité. Néanmoins l'ouvrabilité du mélange diminue avec la croissance de la teneur en fibres (figure I.17).



**Figure I.17** Effet des fibres incorporées dans le béton sur son affaissement au cône d'ABRAMS .

[32] ont montré la diminution de la maniabilité du mélange en augmentant le dosage en fibres (figure 1.17) et (figure I.18)



$V_f$  : pourcentage en fibres.

$V_{e,b_e}$  : Temps nécessaire pour le remoulage, dans un moule cylindrique posé sur une table vibrante, du béton démoulé du cône d'ABRAMS.

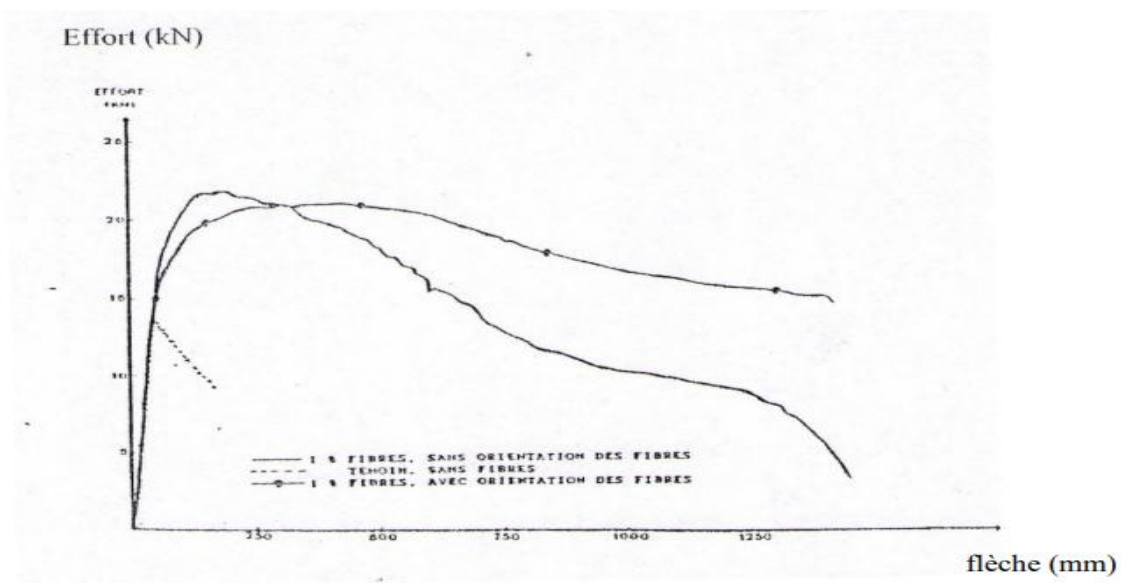
**Figure I.18** Ouvrabilité du béton de fibres en fonction de teneur en fibres métalliques e l'élanacement LID

- **Influence de l'orientation des fibres**

Une fibre orientée parallèlement à la direction d'application des contraintes et perpendiculairement à la direction de propagation des fissures joue l'effet le plus important, par contre une fibre perpendiculaire à celle-ci n'a aucun effet.

D'après [28], la vibration du béton de fibres favorise une orientation bidimensionnelle des fibres, dans un plan horizontal, ce qui rend le matériau plus performant si cette orientation coïncide avec la direction des contraintes majeures. [29] ont montré que l'utilisation de la table vibrante provoque une orientation préférentielle des fibres, perpendiculairement au sens de la vibration.

Enfin l'étude [30] permet de mettre en évidence l'effet de l'orientation des fibres sur la résistance du composite à la traction (figure I.19).



**Figure I.19** Effet de l'orientation des fibres sur la résistance du composite (béton de fibres)

### I.2.11.2 Influence des fibres sur les principales caractéristiques du béton :

- **Résistance à la compression**

La résistance à la compression simple est, pour l'ingénieur concepteur, la caractéristique de base des bétons employés dans les structures. Plusieurs études théoriques et expérimentales ont montré que la présence des fibres dans le béton influe peu sur sa résistance à la compression. L'ajout des fibres

métalliques augmente la résistance à la compression du composite d'environ 20% [28]. Selon, la résistance ultime et le module d'élasticité du béton armé de fibres diffèrent peu de la résistance ultime et du module d'élasticité de la matrice de béton. Néanmoins, la présence des fibres dans le béton augmente la déformation à la rupture et confère ainsi une plus grande ductilité au composite.

- **Résistance à la traction**

Comme la matrice de béton a un caractère fragile et une faible résistance à la traction, le comportement mécanique en traction est conditionné par la fissuration du béton. Les fibres apportent une légère augmentation de la résistance à la traction du béton de fibres (un accroissement de 16% selon

[28] et une certaine ductilité du comportement post-rupture du composite [29]. La présence des fibres dans le béton joue un rôle important dans le comportement en traction du composite. En effet les fibres interviennent à deux échelles:

A l'échelle du matériau en "cousant" les microfissures, elles retardent la localisation de la fissuration. Cette action peut provoquer une augmentation de la résistance à la traction. Cette augmentation dépend de la teneur en fibres et de leur orientation dans la masse de béton.

A l'échelle de la structure, en "retenant" les deux blocs de béton fissuré grâce à leur ancrage des deux côtés de la fissure. Les fibres permettent d'atténuer la fragilité du béton et lui procurent ainsi une plus grande ductilité.

- **Résistance à la flexion**

D'après [31], une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de fibres.

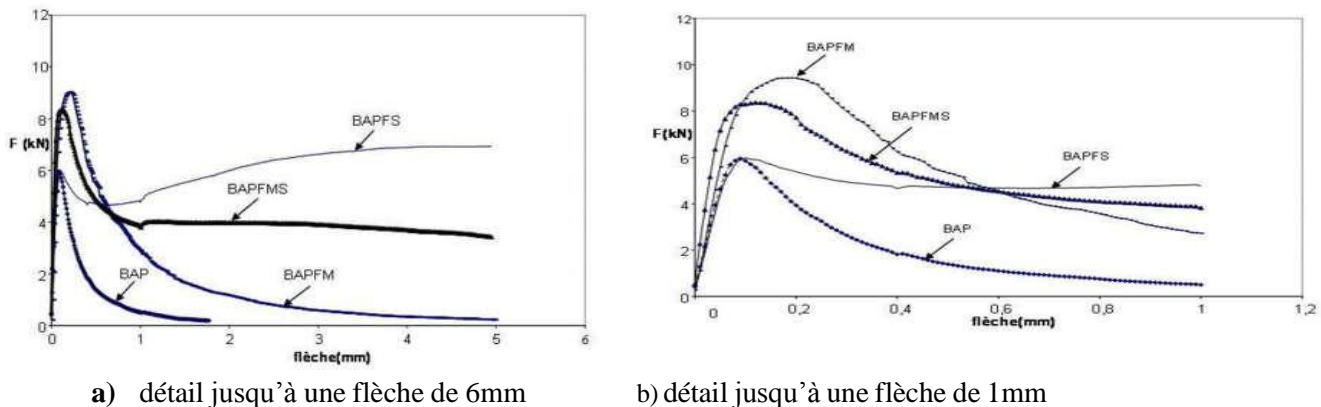
[32, 33] Ont étudié le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibraflex (FM) 30x1, 6x0, 03 mm et synthétiques de type polypropylène (FS) 50x1, 6x0, 4 mm). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m<sup>3</sup> pour FM, 9 kg/m<sup>3</sup> pour FS et (10FM + 4,5 FS) kg/m<sup>3</sup> pour un fibrage mixte (compositions qui seront plus tard utilisées dans nos essais). Les résultats obtenus sont détaillés ci-après.

➤ Les fibres métalliques « FM » qui sont réputées très adhérentes à la matrice ont conduit à une augmentation de la capacité portante néanmoins la résistance résiduelle chute rapidement pour des flèches imposées plus élevées.

➤ Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges.

➤ L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.

➤ Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques. Les (Figure I.20) illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche.



**Figure I.20** Courbe effort-flèche pour différentes compositions [34].

[31,33] ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorerait le comportement à la flexion des bétons. Dans cette étude, les conclusions doivent être entendues dans ces limites, l'auteur ayant utilisé des fibres métalliques de longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un dosage volumique maximal en fibres de 1%.

-Les dalles en béton renforcé par des fibres métalliques présentent généralement une meilleure résistance en flexion par rapport aux dalles en béton traditionnelles. Les fibres métalliques, généralement en acier, sont incorporées dans le béton pour renforcer sa capacité à résister aux contraintes de flexion.

Lorsque la dalle est soumise à une charge de flexion, les fibres métalliques agissent comme des renforts dispersés dans le béton et aident à prévenir la propagation des fissures. Elles agissent également comme des ancrages, ce qui améliore la résistance au cisaillement de la dalle.

Les fibres métalliques peuvent être de différents types, notamment des fibres courtes ou des fibres longues. Les fibres courtes sont généralement mélangées au béton lors de sa fabrication, tandis que les

fibres longues peuvent être prédisposées sur une grille avant le coulage du béton. Les fibres métalliques peuvent également être enrobées pour améliorer leur adhérence au béton.

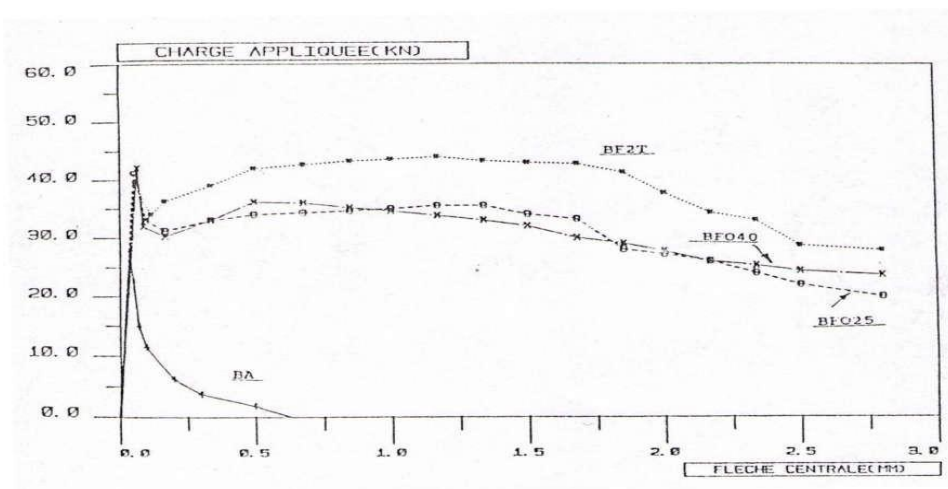
Grâce à l'ajout de fibres métalliques, les dalles en béton peuvent présenter une meilleure résistance à la flexion, une plus grande capacité de charge, une réduction des fissures et une meilleure durabilité globale. Cependant, il est important de noter que les caractéristiques spécifiques du comportement en flexion des dalles en béton renforcé par des fibres métalliques peuvent varier en fonction de facteurs tels que le type, la quantité et la distribution des fibres utilisées, ainsi que de la conception de la dalle elle-même.

- **Résistance à la traction par flexion**

Le comportement du béton en flexion est conditionné par la fissuration de la zone tendue, or la présence des fibres peut jouer un rôle de stabilisateur après rupture de la matrice de béton.

Ainsi de nombreuses études ont montré une nette amélioration de la résistance à la traction par flexion. Les diagrammes contrainte - déformation obtenus illustrent parfaitement ce phénomène. Alors que le béton sans fibres se désagrège rapidement après fissuration, les bétons de fibres d'acier continuent à reprendre des efforts même après que la charge maximale soit atteinte. D'après SWAMY la résistance à la traction par flexion des bétons de fibres peut être multipliée par 2 à 6 par rapport à celles des bétons sans fibres (figure I.20).

[23] a remarqué lors de son étude expérimentale que l'effort à l'apparition de la première fissure peut être augmenté de 40 à 50 % par l'ajout des fibres par rapport au béton sans fibres, le domaine post-fissuration présente pour toutes les fibres un palier plastique important (figure I.21). Le même auteur a adopté dans le cas du béton de fibres la formule usuelle utilisée dans le cas du béton armé pour le calcul de la résistance à la traction directe du composite à partir de l'essai de flexion.



**Figure I.21** courbe charge-flèche des essais de flexion sur des éprouvettes prismatiques [29]

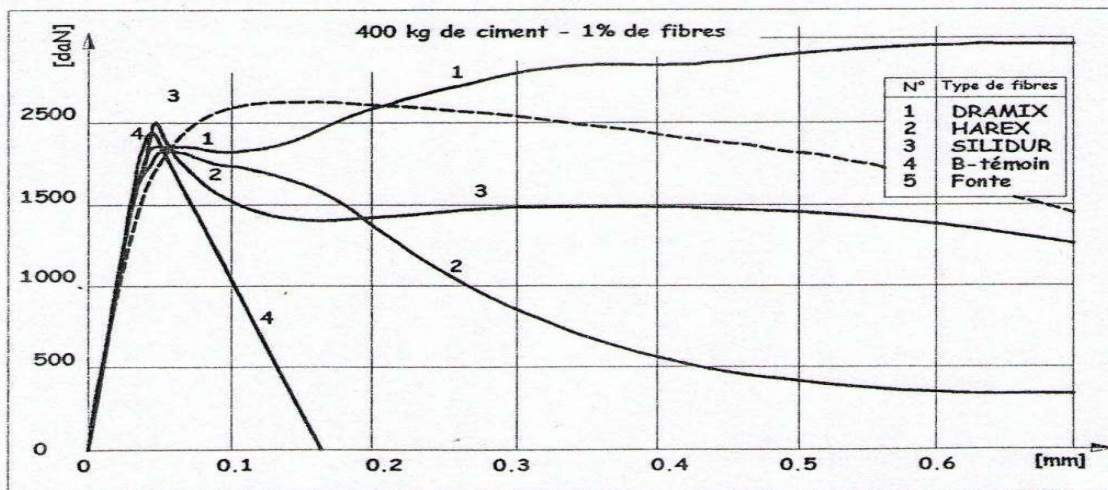
Avec :

$$f_t = 0.6 f_{ft}$$

$f_t$  : Résistance à la traction,

$f_{ft}$  : Résistance à la traction par flexion.

Contrairement à ces résultats encourageants, d'autres recherches ont constaté que seules les fibres à crochets (DRAMIX) avec un pourcentage de (1%) peuvent augmenter de façon significative la résistance ultime à la traction par flexion (figure I.22).



**Figure I.22** Courbes charge-flèche en flexion simple pour les différents types de béton de fibres par rapport au béton témoin [10].

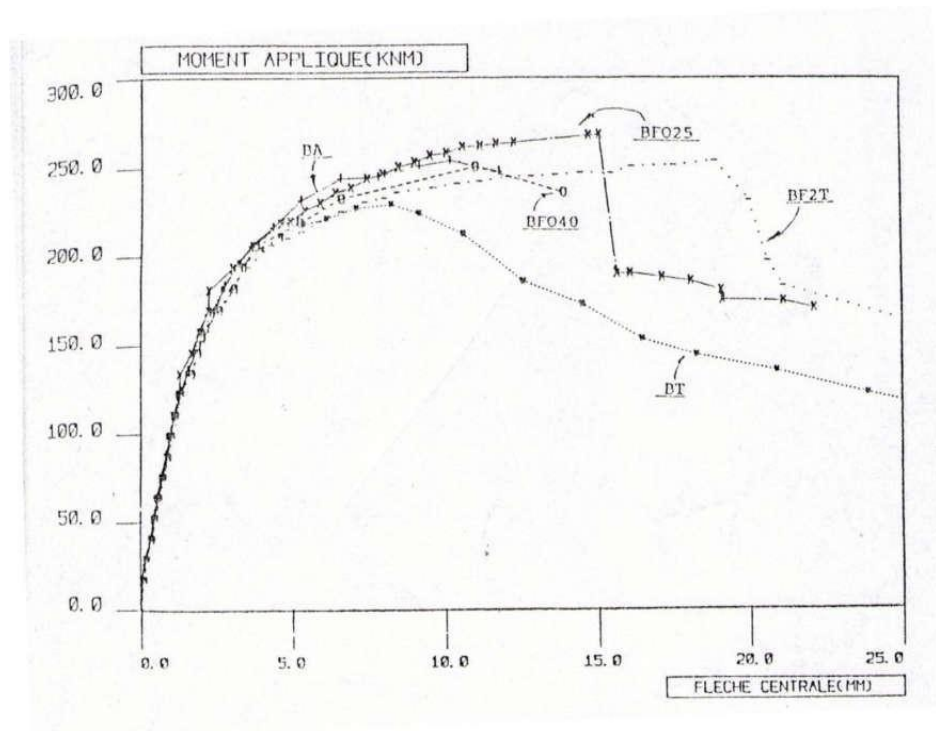
Les essais de flexion composée sur des pieux en vraie grandeur (0.5m de diamètre, 4 m de longueur), effectués par [23], montrent également l'intérêt de l'incorporation des fibres dans le béton. En effet, les courbes moment-flèche (figure I.17) mettent en évidence :

- l'augmentation de la flèche à la rupture par rapport au béton armé (BA) voir (tableau I.3).
- Le moment de rupture est plus important pour les pieux en béton de fibres comparativement au béton témoin (BT).

	Type de fibres	Dosage en fibres Kg /m <sup>3</sup>	Flèche/f (BA)	M / M (BT)
BfO25	Ondulées	25	1.54	1.105
BF2T	à crochets	25	1.87	1.122
BFO40	ondulées	40	1.09	1.087

**Tableau I.2** Comparaison de la flèche des B.A.F. à celle du béton armé, et du moment de rupture des bétons armés de fibres à celui du béton témoin [23].

D'après d'autres recherches On constate que les fibres à crochets sont plus efficaces, elles augmentent le moment de 12.2% et la flèche de 87% à la rupture.



**Figure I.23** Courbes moment-flèche pour différents pieux en flexion composée [23].

- **Résistance à la traction par fendage**

L'essai de fendage (appelé essai brésilien) est une méthode pour déterminer la résistance à la traction. Il s'agit d'écraser une éprouvette cylindrique d'élancement 2, placée horizontalement entre les deux plateaux d'une presse, par des essais de fendage, (les fibres utilisées sont des fibres à crochets aux extrémités), remarque qu'avec un pourcentage de fibres relativement élevé (> 0.8%) l'effort continue

d'augmenter après la première fissure du matériau. [33], par des essais de fendage non asservis, remarque une augmentation d'environ 34% de la résistance à la traction. L'augmentation de la quantité de ciment joue un rôle peu important concernant la résistance à la traction du béton (une augmentation de 8% au lieu de 30% en flexion). Avec des essais asservis, le même auteur montre que la présence des fibres permet au composite d'avoir une bonne ductilité et augmente la charge maximale dans le domaine post fissuration.

- **Résistance au cisaillement**

Selon [30], [35], la présence des fibres dans le béton augmente sa résistance au cisaillement. Ils ont montré aussi que la résistance au cisaillement augmente avec l'accroissement, jusqu'à 1%, de la teneur en fibres.

Lors des essais sur des poutres armées traditionnellement (2 à 3% d'armatures), renforcées par des fibres métalliques, ont noté que:

- la résistance au cisaillement des bétons de fibres dépend de la géométrie, de la forme et du pourcentage des fibres. Ces paramètres peuvent être caractérisés par un facteur des fibres 'F' défini par la relation suivante :

$$F = V_f \cdot D_f \cdot l / d$$

Avec :

- $V_f$  : pourcentage des fibres,

- $D_f$  : facteur de l'efficacité de l'adhérence fibre matrice,

- $l/d$ : élancement de la fibre.

- l'augmentation du facteur F permet d'améliorer la ductilité du comportement du béton au cisaillement,

- l'augmentation du pourcentage de fibres peut changer le mode de rupture au cisaillement en un mode de rupture à la flexion.

La rupture par cisaillement peut intervenir aussi dans le cas d'une poutre soumise à la flexion si le rapport  $a/d$  est compris entre 3 et 7 ( $a$  : distance entre le point d'application de la charge et l'appui,  $d$  : hauteur efficace de la poutre).

### I.2.12 Distribution des fibres :

Lors des applications industrielles, il convient de contrôler la distribution réelle des fibres dans le composite. On examine le nombre de fibres dans une section et on le compare au pourcentage théorique des fibres pour s'assurer de l'homogénéité de la distribution des fibres. Il est alors indispensable de connaître le nombre de fibres correspondant au pourcentage théorique des fibres que l'on donne au mélange.

Une formule pour le calcul du nombre de fibres dans une section par unité de surface :

$$N = \alpha \cdot \omega / A_f \dots\dots\dots(1)$$

$\alpha$  : Facteur d'orientation des fibres.

$\omega$  : Pourcentage en volume des fibres.

$A_f$  : Surface de la section d'une fibre.

### I.2.13 Domaine d'utilisation du béton renforcé de fibres :

Les bétons de fibres métalliques, sont de plus en plus utilisés dans le Bâtiment et les travaux publics. Deux grands groupes d'application peuvent être distingués : il s'agit de la préfabrication et du coulage in-situ sur l'ouvrage. Illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts présentés par le tableau I.2

**Le tableau I.2** illustre quelques applications de bétons renforcés de fibres et leurs intérêts :

Applications	Intérêts apportés par l'ajout des fibres dans le Béton
Conalisation et coque minces faiblement sollicité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la tenue des pièces aux jeans ages.</li> <li>- Modification des variations dimensionless, lutecontre la fissuration.</li> </ul>
Dallages, chaussées en béton, dallage manufacturés, et éléments structuraux soumis à la flexion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution de 40% de l'ouverture des fissures.</li> <li>- Augmentation de la rigidité après fissuration.</li> <li>- Augmentation de la résistance au cisaillement.</li> <li>- Augmentation de la résistance à l'usure.</li> </ul>
Eléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations.....)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la charge ultime.</li> <li>- Pas de rupture fragile.</li> </ul>
Structures soumises à des sollicitations dynamiques (piste d'aéroport)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energie absorbée plus importante.</li> <li>- Augmentation de la résistance aux chocs.</li> <li>- Loi de comportement du matériau fortement améliorée.</li> </ul>
Réparation des revêtements routiers, tabliers de ponts.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amélioration de la résistance aux chocs.</li> <li>- Amélioration de la déformabilité et de la durabilité.</li> </ul>
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remplacement avec succès de revêtement réfractaire.</li> <li>- Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires.</li> </ul>
Stabilisation des parois rocheuses, les talus, tunnels, et galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suppressions du travail de fixation du grillage ordinairement employé.</li> <li>- Diminution du coût de réparation des éléments réfractaires.</li> </ul>

**Tableau I.3** Quelques applications de bétons renforcés de fibres [27]

### I.2.13 Conclusion :

La géométrie des fibres, leur adhérence avec la matrice de béton, leur pourcentage et leur orientation jouent un rôle important dans l'efficacité des fibres dans le béton. En effet, une bonne orientation des fibres optimise leur participation à la reprise des efforts. La géométrie variable permet un bon ancrage des fibres et augmente ainsi l'effort nécessaire à leur arrachement. Néanmoins la croissance du pourcentage en fibres entraîne une diminution de l'ouvrabilité.

Dans cette partie nous sommes revenus sur les généralités des bétons et ses constituants. Où nous avons présenté les différents types de granulats et l'effet d'utilisation des adjuvants dans les bétons. Par la suite, nous sommes focalisées sur le béton de fibres, où nous avons donné les différents types de fibres, leur rôle dans le béton, ainsi que les applications essentielles des bétons de fibres

**Chapitre II**  
**Etude de la composition**  
**du béton**

## II.1 Introduction :

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

La composition du béton a une profonde influence sur ses caractéristiques ; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate. Les paramètres sont en effet nombreux :

- Les données du projet : caractéristiques mécaniques, dimensions de l'ouvrage, ferrailage...
- les données du chantier : matériel de mise en œuvre, conditions climatiques...
- les données liées aux propriétés du béton : maniabilité, compacité, durabilité, aspect...

On mesure donc l'importance de l'étude de la formulation du béton, d'autant plus nécessaire que les caractéristiques requises sont élevées.

## II.2 Composition du béton :

Les bétons de construction composent du ciment, de l'eau, du sable, des granulats et des adjuvants (retardateurs ou accélérateurs de prise, réducteurs d'eau...etc.).

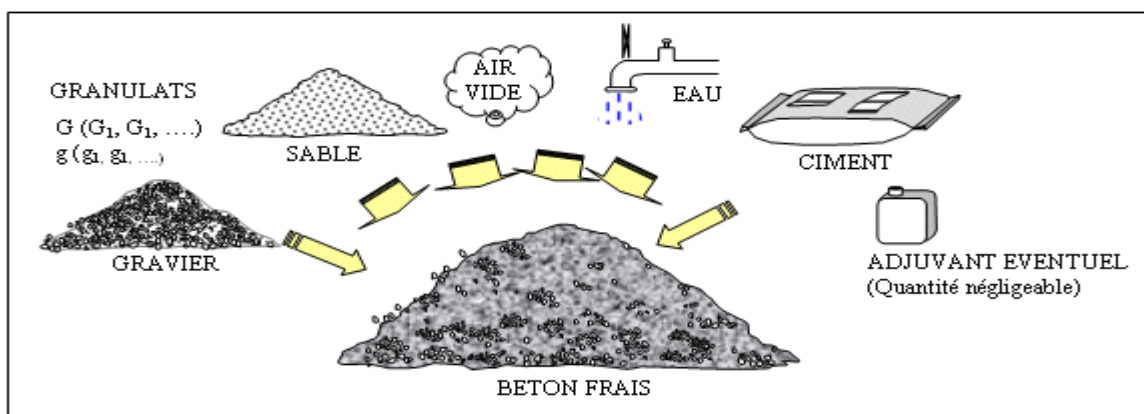


Figure II.1 Composition du béton [36]

### II.2.1 L'eau :

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton (effet lubrifiant) dans la mesure où on n'abuse pas de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton. L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis). L'eau potable convient toujours. Le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. La quantité d'eau varie avec un très grand nombre de facteurs (dosage en ciment, granulats, consistance recherchée du béton frais) ; elle est en général comprise entre 140 et 200 l/m<sup>3</sup>. Il convient de tenir compte de l'eau apportée par les granulats. Il est souvent utile de contrôler la plasticité à l'aide d'essais simples connus. Le rapport E/C est un critère important des études de béton ; c'est un paramètre essentiel de l'ouvrabilité du béton et de ses performances : résistance mécanique à la Compression, durabilité.

### II.2.2 Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique qui se présente sous forme de poudre minérale : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau.

C'est le constituant fondamental du béton puisque c'est lui qui joue le rôle de cohésion des différents constituants.

Le ciment utilisé pour la confection de nos éprouvettes est de type CPJ-CEMII/A dans la classe 42.5



Figure II.2 CEM II / B-L 42 .5

### II.2.3 Les sables :

Les sables utilisés sont les sables appelés "sable normalisé". Les sables de bonne granulométrie doivent contenir des grains fins, moyens et gros. Les grains fins se disposent dans les intervalles entre les gros grains pour combler les vides. Ils jouent un rôle important: ils réduisent les variations volumiques, les chaleurs dégagées. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume de sable humide.

Ils peuvent être:

- Naturels et rous (de rivières, de sablières, ...), de nature siliceuse ou silico-calcaire.
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.
- Spéciaux (lourds, réfractaires, légers):
  - Sable de laitier.
  - Sable d'oxydes de fer, de chromite.
  - Sable de briques concassées.

Certains sables sont à éviter, notamment les sables très fins, les sables crus qui manquent de fines et les sables de dunes ou de mer qui contiennent des sels néfastes pour les constituants des ciments, par contre ils doivent être propres.

Le diamètre maximum des grains de sable utilisés pour les mortiers est:

- Extra-fins: jusqu'à 0,8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Fins: jusqu'à 1,6 mm
- Moyens: jusqu'à 3,15 mm
- Gros: jusqu'à 5 mm

Le sable que nous avons utilisé pour notre mélange provient de l'oued de diamètre maximum de 0,3 mm .



Figure II .3 Sable 0.3 mm

### II.2.4 Les granulats :

Les granulats doivent avoir une bonne granulométrie dans le diamètre varie du plus petit au plus gros.

Ils peuvent être :

- Naturels et mules (de rivières, de sablières, ... ), de nature siliceuse ou silico-calcaire.
- Naturels concassés (roches de carrières), comme des basaltes, porphyres, quartzites. Ils sont anguleux et durs.

Les granulats peuvent se classer selon les diamètres :

- Petits: de 3 à 8 mm (en tamis), soit 1 mm (en passoire).
- Moyens: de 8 à 15 mm
- Gros : de 15 à 25 mm
- Très gros : de 25 à 40 mm

Les granulats que nous avons utilisés, sont de natures concassées. Leur diamètre varie de 3 à 20mm.

Gravier 8/15



Gravier 3 /8



Figure II.4 : Les graviers [37]

### II.2.5 Les adjuvants :

Les adjuvants sont de plus en plus utilisés. Ils améliorent les propriétés des bétons auxquels ils sont ajoutés, ils sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faible quantité. Ils améliorent les propriétés des bétons et des mortiers auxquels ils sont ajoutés. Les principaux adjuvants sont :

- Les plastifiants : ils augmentent « l'ouvrabilité » du béton (facilité avec laquelle on peut travailler le béton), améliorent la maniabilité et sont réducteurs d'eau.
- Les entraîneurs d'air (permettent la formation des micros bulles d'air dans le béton durci).
- Les modificateurs de prise (retardateurs, accélérateurs) ;
- Les hydrofuges.

Le plastifiant que nous avons utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau appelé SIKA viscoorte (figure II.5). Il est conçu à base de poly carboxylates qui améliorent considérablement les propriétés du béton. Ce plastifiant ne présente pas d'effet retardataire.



Figure II.5 super- plastifiant

### II.3 Rôle des différents éléments constituant le béton :

- **Ciment:** c'est le constituant qui va réagir chimiquement avec l'eau, devenir résistant, et lier tous les ingrédients.
- **L'eau:** c'est elle qui va hydrater le ciment et rendre le mélange malléable.
- **Les granulats:** ils vont former une disposition plus ou moins ordonnée qui va conférer au béton sa résistance. C'est le ciment hydrate qui va "coller" les granulats.
- **Le sable:** il permet de remplir les trous qui subsistent entre les gros granulats.
- **Les plastifiants:** ils augmentent l'ouvrabilité du béton (facilite avec laquelle on peut travailler le béton).

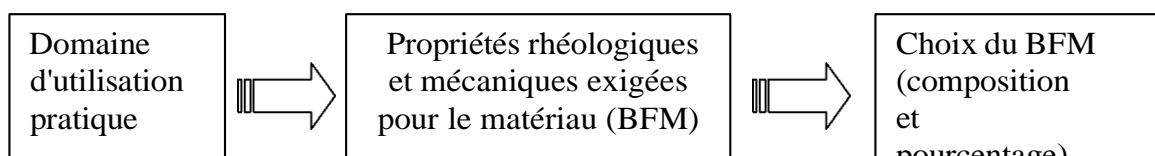
## II.4 Analyse granulométrique :

La composition du béton a pour but de déterminer les proportions des divers constituants (ciment, eau, sable, graviers) en produisant un béton dont l'ouvrabilité est compatible avec les moyens de mise en Œuvre et qui possèdera, après durcissement, les meilleurs caractéristiques (bonne étanchéité, bonne résistance mécanique, faible retrait, bonne durabilité...).

Pour définir ces proportions, on doit passer tout d'abord à l'essai de l'analyse granulométrique puis choisir une méthode de composition de béton parmi celles proposées par des spécialistes tels que Bolomey, Faury, Valette, Dreux-Gorisse, Joisel.. etc.

L'analyse granulométrique sert à déterminer la distribution en poids des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. L'ample intérêt que montrent beaucoup de domaines, pour les BFM, implique que leur adaptation pour chacun de ces domaines est impérative. C'est la raison qui fait que l'optimisation de la composition des BFM doit être pertinente et satisfaisante aux exigences de la fonction qu'ils doivent remplir. Ainsi le squelette granulaire doit être optimisé en fonction du type et du pourcentage en fibres incorporées.

Cette démarche méthodologique peut être schématisée comme suit :



## II.5 Principe de l'essai :

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.

Les masses des différents refus et tamisages sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique. La tamiseuse est présentée par la figure II.6.



Figure II.6 Tamiseuse

### II.5.1 Equipements utilisés :

L'équipement utilisé dans notre essai est composé de :

- Des tamis de différents diamètres.
- Un échantillon de 3000 g pour chaque matériau.
- Une balance de 5 kg, pesant au gramme près.
- Une étuve thermo statée.
- Un vibro-tamis électrique

### II.5.2 Description de l'essai :

Les granulats utilisés pour préparer le béton sont de forme concassées, leur diamètre est de 0/3, 3/8 et de 8/15. Une fois ces matériaux sont lavés, ils seront après séchés à l'étuve à une température maximale de 105°C. On emboîte les tamis les uns sur les autres dans un ordre décroissant du front de la colonne vers le bas. En partie inférieure, on dispose un fond étanche qui permettra de récupérer les fillers. Un couvercle sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de matériau pendant le tamisage. On appellera tamisât le poids de matériau passant à travers un tamis donné et refus le poids de matériau retenu par ce même tamis.

Le matériau étudié est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique. On considère que le tamisage est terminé lorsque le refus ne varie pas. Le refus du tamis ayant la plus grande maille est pesé. Soit  $R_1$ , la masse de ce refus. Le refus du tamis immédiatement inférieur est pesé avec le refus précédent. Soit  $R_2$ , la masse des deux refus. Cette opération est poursuivie pour tous les tamis pris dans l'ordre des ouvertures décroissantes. Ceci permet de connaître la masse des refus cumulés  $R_n$ , aux différents niveaux

de la colonne de tamis. Le tamisât présent sur le fond

de la colonne de tamis est également pesé.

Les résultats des différents tamisages sont présentés dans les tableaux suivant : (II.1, II.2,

II.3)

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
5	29,00	29	1,93	98,07
2,5	262,50	291,50	19,43	80,57
1,25	375,50	667,00	44,45	55,55
0,63	364,00	1031,00	68,71	31,29
0,315	305,00	1336,00	89,04	10,96
0,16	143,00	1479,00	98,57	1,43
0,08	19,50	1498,50	99,87	0,13
Fond	2,00	1500,50	100,00	0,00

Tableau II.1 Analyse granulométrique du sable.

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
10	118	118	3,93	96,07
8	163	281	9,37	90,63
6,3	506	787	26,23	73,77
5	623	1410	47,00	53,00
4	596	2006	66,87	33,13
3,15	544	2550	85,00	15,00
2,5	313	2863	95,43	4,57
Fond	137	3000	100,00	0,00

Tableau II.2 Analyse granulométrique pour le gravier (3/8).

Dimension des tamis (mm)	Refus (g)	Refus Cumulé (g)	Refus Cumulé (%)	Tamisât Cumulé (%)
20	0	0	0.00	100.00
16	75	75	2.50	97.50
12,5	660	735	24.50	75,50
10	1010	1745	58.17	41.83
8	710	2455	81.83	18.17
6,3	425	2880	96.00	4.00
5	85	2965	98.83	1.17
Fond	35	3000	100.00	0.00

Tableau II.3 Analyse granulométrique pour le gravier (8/15)

Les valeurs des différents tableaux ci-dessus nous permettent de tracer les courbes

granulométriques pour chaque type de granulats, voir figure II.7

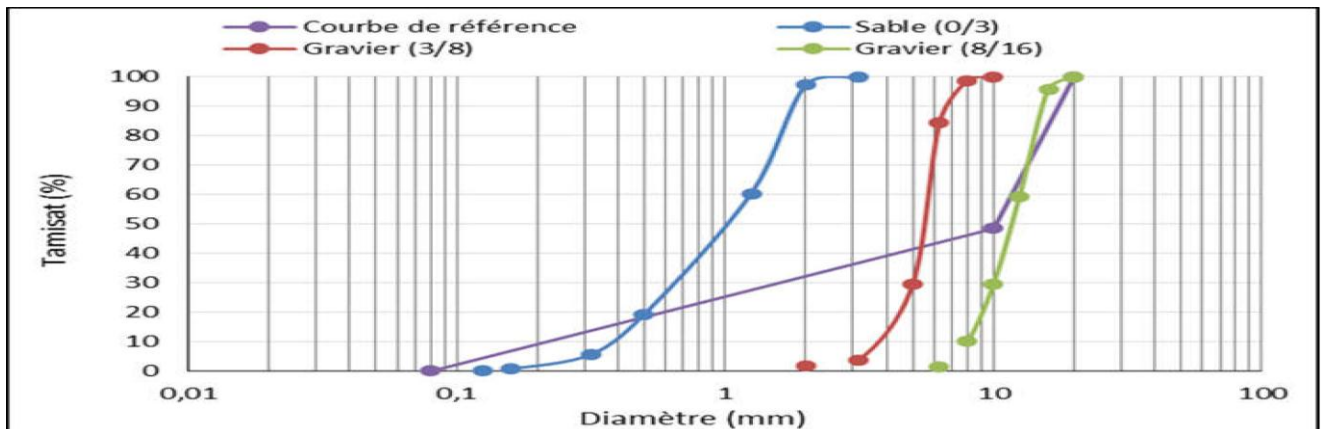


Figure II.7 Les courbes granulométriques pour chaque type de granulats

## II.6 Module de finesse :

C'est le centième de la somme des refus (exprimé en pourcentage de poids) de tamis 0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,50 et 5mm.

Le module de finesse est particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique important.

$$M.F \text{ d'un sable} = \text{refus sur les tamis} = \frac{0,16 ; 0,315 ; 0,63 ; 1,25 ; 2,50 ; 5}{100}$$

$$M.F = \frac{98,57 + 89,04 + 68,71 + 44,45 + 19,43 + 1,93}{100} = 3,22$$

On peut noter que c'est un sable grossier qui correspond à des sables à utiliser pour la recherche de résistances élevées.

## II.7 Composition du béton par Méthode de Dreux-Gorisse :

Nous avons choisi cette méthode pour simplifier la forme de la composition du béton à peu près qui sera adoptée au béton étudié.

### II.7.1 Résistance visée :

Par sécurité, la résistance visée doit être majorée de 15% par rapport à la résistance que l'on souhaite obtenir.

Ainsi, la résistance visée doit être obtenue comme suit :

$$\sigma'_{28j} = \sigma_{28j} + 1,15\sigma_{28j} \quad \text{Soit} \quad \sigma'_{28j} = 1,15 \sigma_{28j}$$

La résistance désirée pour un béton témoin à 28 jours est telle que :  $\sigma_{28j}=25\text{MPa}$

La résistance visée est telle que :  $\sigma'_{28j} = 1.15 \times 25 = 28,75\text{MPa}$

### II.7.2 Dosage en ciment et eau :

La formule ci-dessous permet ainsi le calcul de la résistance à la compression visée à 28 jours :

$$f'_c = G F_{CE} \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

Avec :

$$\frac{C}{E} = \frac{f'_c}{G F_{CE}} + 0.5$$

$f'_c = \sigma'_{28j}$  : Résistance visée à 28 jours.

$S_c$  : Classe vraie de ciment en MPA.

$G$  : Coefficient granulaire.

$C$  : Dosage en ciment (Kg de ciment/m<sup>3</sup> de béton).

$E$  : Dosage en eau potable (Kg d'eau/m<sup>3</sup> de béton ou litre d'eau/m<sup>3</sup> de béton).

- **Choix approprié du coefficient granulaire  $G$**

$G$  est un coefficient granulaire sans dimension dont la valeur est choisie dans le tableau II.4.

Qualité granulats	Dimension D des granulats		
	D 16mm	25 D40mm	D 63mm
Excellente	0,55	0,60	0,65
Bonne, courante	0,45	0,50	0,55
Passable	0,35	0,40	0,45

**Tableau II.4** Valeurs approximatives du coefficient granulaire.

Les granulats utilisés ont un diamètre inférieur à 16mm, ce qui donne le coefficient granulaire  $G=0.45$ , courant et de avec une bonne qualité.

- **Choix de la classe vraie de ciment**

Parmi la liste des ciments disponibles sur le marché des matériaux de construction, nous avons retenu le ciment CEM CPJII42.5. Sa classe vraie est estimée à 47.5 MPA.

Le rapport est donné par :  $\frac{C}{E} = \frac{28,75}{0,45 \times 47,50} + 0.5 = 1.84$

- **Dosage en ciment par m3 de béton**

Connaissant le rapport  $\frac{C}{E}$  et l'affaissement au cône d'ABRAMS souhaité A, on en déduit, grâce à l'abaque,

$\frac{C}{E}$  en fonction de A, le dosage en ciment C correspondant:

$\left. \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1,84 \\ A = 8\text{cm} \end{array} \right\} \longrightarrow$  L'abaque donne la valeur E du dosage en ciment : C=380 Kg

$\left. \begin{array}{l} \frac{C}{E} = 1,84 \\ C = 380 \end{array} \right\} \longrightarrow$  On en déduit la valeur de E qui est : E=206,52 Kg

- **Tracé de la courbe granulaire de référence**

Sur le même graphe d'analyse granulométrique, Type AFNOR (pourcentage des tamis en fonction du module ou diamètre des tamis) déjà obtenu on trace une composition granulaire de référence OAB avec :

Le point O est repéré par ses coordonnées : [0.080 ; 0]

Le point B est repéré par ses coordonnées : [D ; 100], (D : le diamètre du plus gros granulat).

Le point de brisure A a des coordonnées:

En abscisse :

- Si  $D \leq 20\text{mm}$  l'abscisse est de  $D/2$

- Si  $D > 20\text{mm}$  l'abscisse est située au milieu limité par le module 38 (5 mm) et le module correspondant à D. Le plus gros granulat est  $D = 16\text{mm}$ .

Donc le point de brisure en abscisse :  $D/2 = 8\text{mm}$ .

En ordonnée :  $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés et le module de finesse de sable.

Comme le module de finesse de sable MF vaut 3.22, celui-ci est classé comme un sable grossier, la valeur du coefficient de correction K sera calculée par la formule suivante :

$$K = 6M_f - 15$$

$$\text{Soit } K = 4.32$$

D'où,  $Y = 50 - \sqrt{16} + 4.32 = 50.32$

Ainsi, les coordonnées de points de brisure A sont : [8 ; 50,32].

- **La ligne de partage**

La ligne de partage joint le point d'ordonnée 95% de la courbe granulaire du plus petit granulats au point d'ordonnée 5%, de la courbe granulaire du plus gros granulats. Le point d'intersection entre cette ligne et la courbe théorique du mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu de sable et gravier. Ces proportions sont lues sur le pourcentage de tamis correspondant à ce point d'intersection. Ce pourcentage indique la proportion de sable, le complément donne la proportion de gravier.

On obtient donc un mélange optimal avec un volume absolu de 40,80 % de sable 0/3 et 59,20% de gravier (Gravier 3/8 : 9.40 %+ Gravier 8/15 : 49,80 %). Sur la courbe granulométrie, les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent les pourcentages des granulats suivants :

- ✓ Sable 0/3 : 40,80 %
- ✓ Gravier 3/8 : 9.40 %
- ✓ Gravier 8/5 : 49,80 %

- **Coefficient de compacité**

Il est défini comme le rapport des volumes absolus en litres des matières solides au volume total du béton frais soit un mètre cube :

$$\gamma = \frac{V_M}{1000}$$

Avec  $V_M = V_S + V_G + V_C$

En utilisant le tableau valeurs du coefficient de compacité et après interpolation pour un diamètre maximum de granulats égal à 16mm, on trouve une valeur de  $\gamma = 0.810$ . Nous avons retenu une valeur de  $\gamma$  telle que :  $\gamma = 0.819$ .

### II.7.3 Dosage des Granulats

Les dosages en volume de chacun constituant du béton sont donnés par les relations ci-dessous :

- Volume absolu du ciment :  $V_C = \frac{m_C}{\gamma} = \frac{380}{3,1} = 122,58$  litres

Avec :  $m_C$  : dosage (en masse) de ciment

$\gamma$  : 3.1 g/ml (masse volumique)

- Volume absolu des granulats (l'ensemble) : V

$$V_G = 1000 \gamma - V_C = 1000 \times 0,819 - 122,58 = 696,42 \text{ litres}$$

✓ Volume absolu du sable :  $V_S = \frac{V_G \times 40,80}{100} = \frac{696,42 \times 40,80}{100} = 284,14 \text{ litres}$

✓ Volume absolu du gravier (3/8) :  $= \frac{696,42 \times 9,40}{100} = 65,46 \text{ litres}$

✓ Volume absolu du gravier (8/15):  $= \frac{696,42 \times 49,80}{100} = 346,82 \text{ litres}$

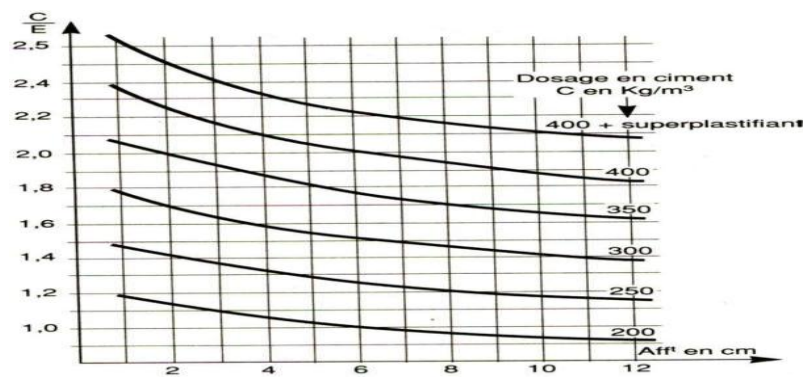
Les dosages en masse des éléments secs (granulats, sable) pour 1 m<sup>3</sup> de béton sont donnés par

- Masse de sable :  $M_S = V_S \times v_s = 284,14 \times 2,65 = 752,97 \text{Kg}$
- Masse de gravier 3/8 :  $M_{G3/8} = V_{G3/8} \times v_{G3/8} = 65,46 \times 2,61 = 170,85 \text{Kg}$
- Masse de gravier 8/15 :  $M_{G8/15} = V_{G8/15} \times v_{G8/15} = 346,82 \times 2,58 = 894,79 \text{Kg}$

Pour préparer 1m<sup>3</sup> de béton, il faudra donc les masses suivantes (voir tableau II.5)

Constituents	Masse (kg)
Sable 0/3	753
Gravier 3/8	171
Gravier 8/15	895
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c)	380
Eau (E)	206.52
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00

**Tableau II.5** Constituents du béton pour un volume de 1 m<sup>3</sup>.



**Figure II.8** Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée (affaissement au cône).

**II.7.4 Masse volumique absolu et apparente :**

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps. Le volume absolu ne prend pas en considération les vides inclus et le volume apparent fait intervenir les vides intra et inter-granulaires. (Les masses volumiques sont présentées dans le tableau II.6).

Granulats	Sable (0/3)	Gravier (3/8)	Gravier (8 /16)
Masse volumique absolue ( $\text{g/cm}^3$ )	2.65	2.65	2.65
Masse volumique apparente ( $\text{g/cm}^3$ )	1.60	1.50	1.52

**Tableau II.6** Masse volumique apparente et absolue des granulats.

**Chapitre III**  
**Caractérisation en traction**  
**directe des fibres en copeaux**

### III.1. Introduction :

L'utilisation des fibres pour le renforcement du béton est, notamment en traction, très intense dans le domaine des dallages industriels et dans celui du béton projeté dans le cas des tunnels et la réparation des canalisations de gros diamètre [1 à 4].

Dans la présente étude expérimentale, on s'intéresse à des fibres locales en copeaux de forme ondulée en spirales issues des déchets d'usinage des pièces en acier. Il s'agit de rechercher la longueur et le nombre d'ondulations optimums permettant de reprendre le maximum d'effort de traction. Une étude statistique est effectuée pour quarts longueurs et ondulations, respectivement.

### III.2. Etude expérimentale :

Les copeaux sont découpés selon quatre longueurs (30, 50, 70 et 80 mm) et pour chaque longueur, le nombre d'ondulations ou plutôt spirales est de 3, 5 et 7. Afin d'effectuer une étude statistique, pour chaque type de combinaison (longueur et nombre de spirales) le nombre d'essais réalisés est de 10. Les essais consistent à réaliser des essais de traction directe à déformation contrôlée. On donne dans ce qui suit les valeurs caractéristiques (contrainte de rupture, allongement maximal, module d'Young, limite d'élasticité et la courbe obtenue) ainsi que les confrontations effectuées.

#### III.2. 1 Géométrie de la fibre et système d'ancrage :

Les fibres proviennent des déchets d'usinage des pièces en acier. Elles sont récupérées à la société nationale des véhicules industriels en Algérie (SNVI). Leur forme géométrique et ondulée en spirales leur confère un ancrage parfait dans la matrice cimentaire. Une vue de ces copeaux est donnée à la figure 1. La largeur et l'épaisseur des fibres sont 2,20 et 0,88 mm, respectivement. Les deux extrémités des copeaux ont été ensimées à l'aide des fils en fibre et de rouleau de chatterton afin d'améliorer leur ancrage dans les mors de serrage de la presse hydraulique lors de l'essai de traction sur la fibre elle-même (voir Figure III 1 ; 2).

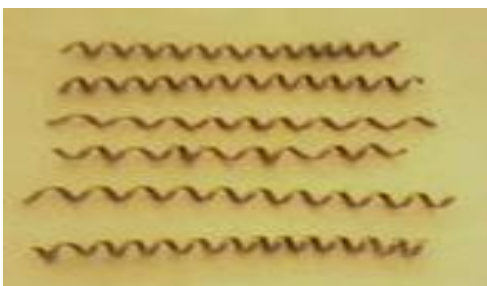


Figure III.1 Vue des copeaux.



Figure III.2 Système d'ancrage.

### III.2.2 Appareillage et essais :

Les essais sont réalisés sur une presse hydraulique à déformation contrôlée de type **Ibertest** (au laboratoire de modélisation des matériaux et structures de génie civil à l'université M.M. de Tizi-Ouzou en Algérie). La presse est équipée d'une chaîne d'acquisition et de commande de contrôle numérique (voir vue donnée à la figure III.3). Les caractéristiques géométriques sont introduites automatiquement et la longueur utile de la fibre est 100 mm. La vitesse de chargement est de 20 mm/mn. Un traitement statistique automatique est réalisé à la fin de chaque série d'essais.



**Figure III. 3.** Vue du dispositif d'essai.

### III.3. Présentation des résultats :

Les courbes moyennées (trois essais pour chaque longueur), représentant la contrainte en fonction de la déformation pour chaque série d'essais (longueur de 30, 50, 70 et 80 mm) et pour un nombre d'ondulations de 7, 5 et 3 pour chaque série ainsi que La représentation de ses résultats sous forme d'histogrammes sont données aux figures (III.4,III.5,III.6,III.7,III.8,III.9,III.10 et III.11).

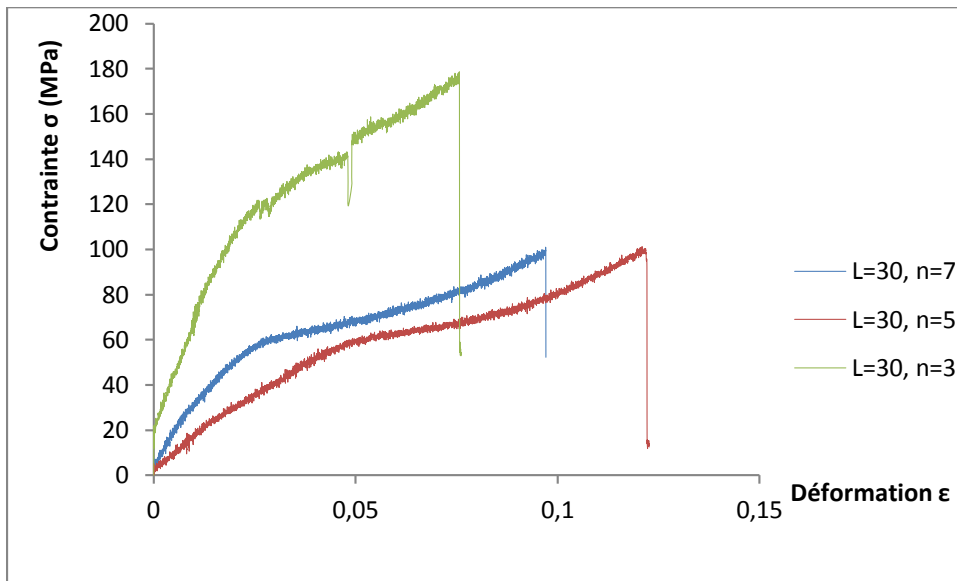


Figure III. 4. Contraite- Déformation  $\sigma=f(\epsilon)$  pour  $L= 30\text{mm}$

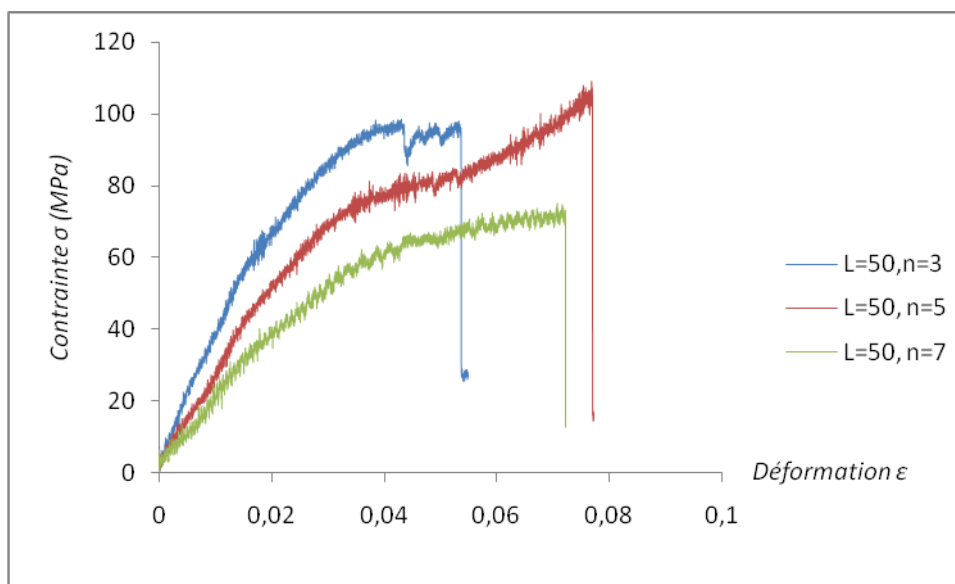


Figure III. 5. Contraite- Déformation  $\sigma=f(\epsilon)$  pour  $L= 50\text{mm}$

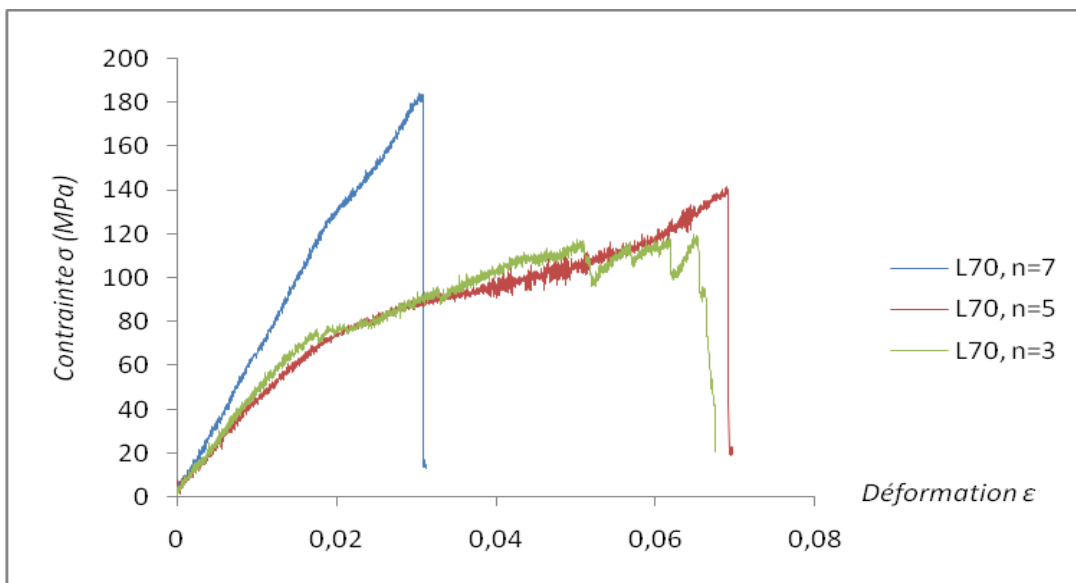


Figure III .6 Contrainte- Déformation  $\sigma=f(\epsilon)$  pour  $L= 70\text{mm}$

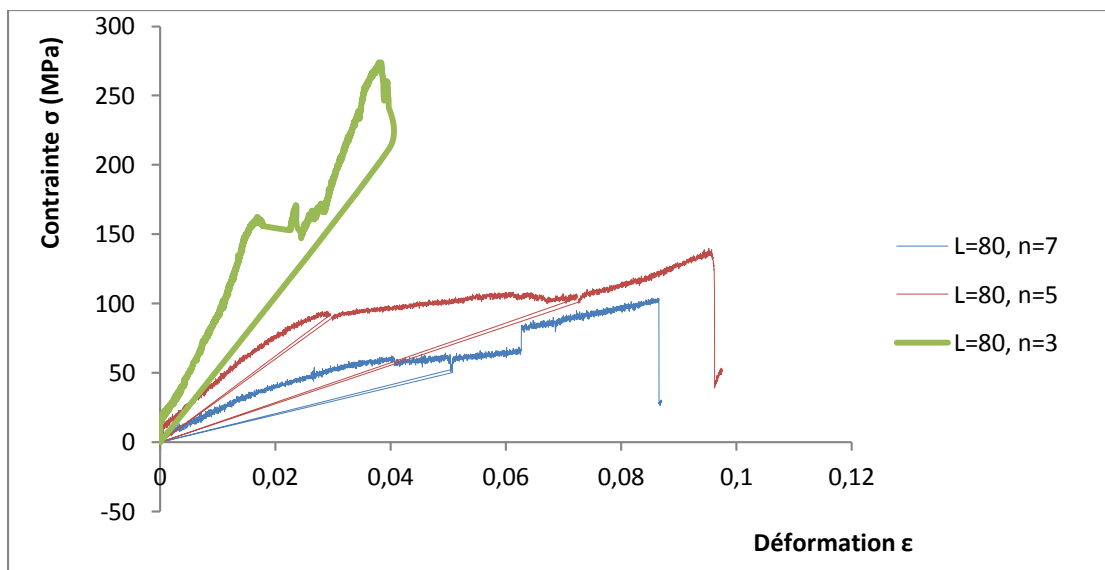


Figure III.7 Contrainte- Déformation  $\sigma=f(\epsilon)$  pour  $L=80\text{mm}$

On donne sur la figure III.8 la superposition de meilleures courbes contrainte - déformation pour les quatre longueurs considérées et pour un nombre d'ondulations correspondent.

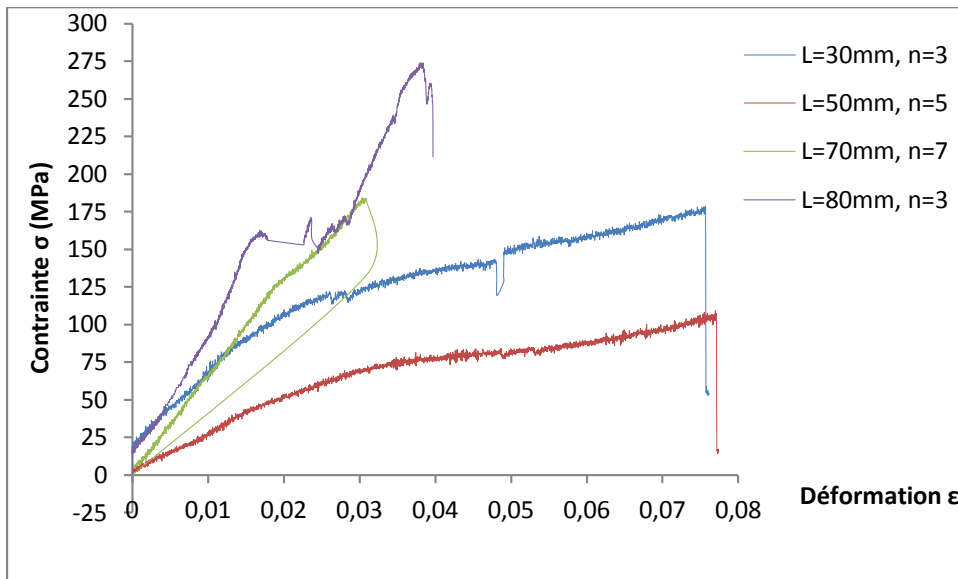


Figure III.8 Superposition des courbes  $\sigma = f(\epsilon)$  pour les quatre longueurs

Lors de l'essai, on constate que les ondulations de la fibre s'ouvrent progressivement jusqu'à aplatissement de la fibre. Au-delà, on observe une rupture ductile de l'acier. La résistance à la traction atteint  $R_m = 275$  MPA pour  $n = 3$  et une longueur  $L = 80$  mm.

**Chapitre IV**  
**Essais de compression**

**But de l'essai :**

L'objectif principal des essais de compression est la détermination de propriétés mécaniques du béton utilisé, évolution des diagrammes de la contrainte en fonction de la déformation

**IV.2 Composition des éprouvettes :**

La composition du béton pour 1m<sup>3</sup> est pour une éprouvette cylindrique [16\*32] cm<sup>3</sup>, sont donnés le tableau IV.1

Constituents	Volume pour [1m3]kg	Pour une éprouvette [16*32] cm <sup>3</sup> .
Sable 0/3	753	4.90
Gravier 3/8	171	1.12
Gravier 8/15	895	5.82
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c)	380	2.47
Eau (E)	206.52	1.35
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00	1.24

**Tableau IV.1** composition des éprouvettes

Pour chaque gâchée 03 éprouvettes cylindriques de (16\*32) cm<sup>3</sup> sont confectionnées.

Le malaxage se fait comme suit :

- Déverser le sable, gravier et ciment dans le malaxeur et mise en marche pendant 1 min environ jusqu'à homogénéisation, Introduire l'eau de gâchage et adjuvant et malaxage pendant 2min, le malaxage après l'ajout de l'eau et présenter par la figure IV.1 :



**Figure IV.1** le mélange après l'ajout de l'eau

### IV.3 Remplissage et vibration :

#### IV.3.1 Éprouvettes cylindriques :

Ceci doit se faire dans un moule en acier inoxydable pour éviter l'effritement et faciliter le démoulage des éprouvettes, les moules sont enduits d'une huile à l'aide d'un pinceau. On verse le béton ordinaire dans chaque des 3 éprouvettes qui sont ensuite mises sur une table vibrante pour durer d'environ 20 à 30 secondes, voire (la figure IV.2)



Figure IV.2 Vibration des éprouvettes

Le démoulage se fait après 24 heures à l'aide de quelques outils de démoulage (clés, marteaux tourne au vice...). Après le démoulage toutes les éprouvettes sont immergées dans un bac à eau pendant 3 jours à une  $T^{\circ}=20^{\circ}\text{c}$ , comme indiqué précédemment.

#### IV.4 Principe de l'essai :

Les éprouvettes confectionnées, sont donc ajustées entre les deux plateaux de la presse. Le plateau supérieur étant fixe, le plateau inférieur sur lequel est posée l'éprouvette est mobile. En remontant celui-ci écrase le corps de l'éprouvette contre le plateau supérieur. Des extensomètres, placés sur la face latérale de l'éprouvette permet de mesurer les valeurs de la déformation. L'effort est appliqué progressivement à vitesse de chargement constante (soit  $0,5\text{KN/s}$ ). Pour chaque étape de chargement, la valeur de l'effort vertical ainsi que la déformation correspondante sont enregistrées, et ce jusqu'à la rupture totale de l'éprouvette qui se traduit par l'arrêt de la presse

L'essai de compression est ainsi achevé. La force maximale  $F$  est donnée dès que la rupture est enclenchée. Cette force est enregistrée et la contrainte de rupture en compression est obtenue par la

formule suivante :

$$\sigma_C \Rightarrow \frac{4 F_{max}}{\pi D^2}$$

F max : désigne la force à la rupture en compression

D: le diamètre de l'éprouvette

### IV.5 Essais de compression :

Dans le programme de compression des cylindres (16x32) cm<sup>2</sup>, le chargement axial a été effectué à l'aide d'une presse hydraulique AUTO TEST avec une étendue de capacité 2000 kN. Cette presse comporte 2 plateaux, un taux de chargement quasi-statique est appliqué avec une vitesse de 0,5 kN/s. A mi-hauteur au milieu de deux faces opposées, ont été mesurées, à intervalles rapprochés et les forces et les déformations axiales et radiales. Muni de mors auto-serrant, elle nous permet une bonne tenue des spécimens c'est une manière d'assurer une répartition homogène des contraintes. La figure IV.3 ci-dessous illustre le chargement et acquisition des résultats.



**Figure IV.3** Ecrasements de l'éprouvette

### IV.6 Résistance à la compression du béton :

Les résistances mécaniques de ces éprouvettes ont été obtenues par le calcul de la moyenne des résistances (à 28 jours) des trois éprouvettes cylindriques du béton BT. Le mode de rupture des

éprouvettes cylindriques testées ainsi que les courbes moyennes représentant la contrainte en fonction de la déformation donnée par trois essais sont données respectivement par les figures IV.4, IV.5, IV.6, IV.7.



Figure IV.4 Rupture de l'éprouvettes béton témoin sous sollicitation de compression

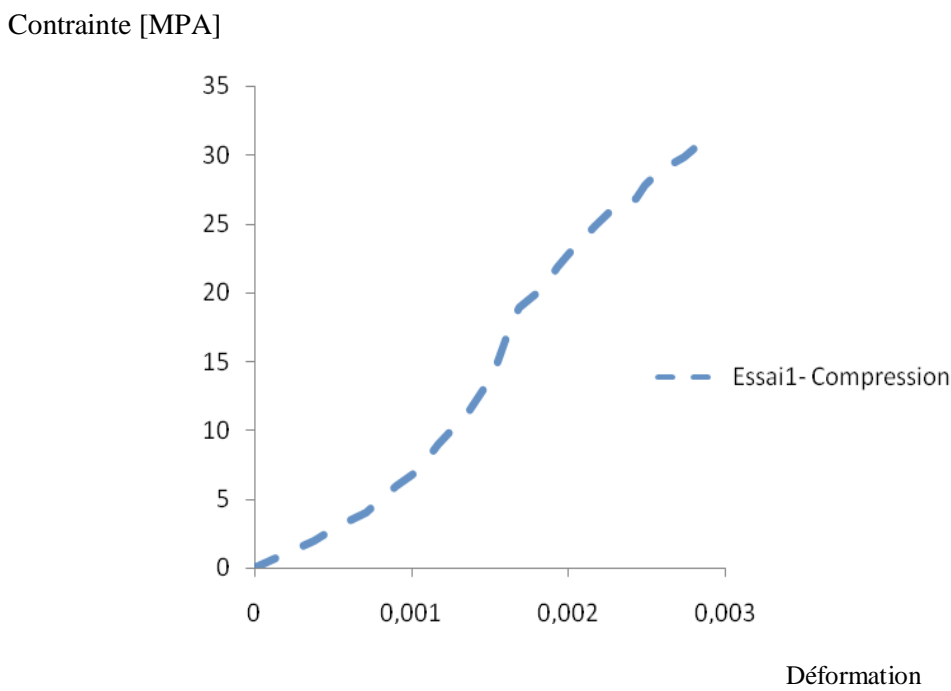


Figure IV.5 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 1

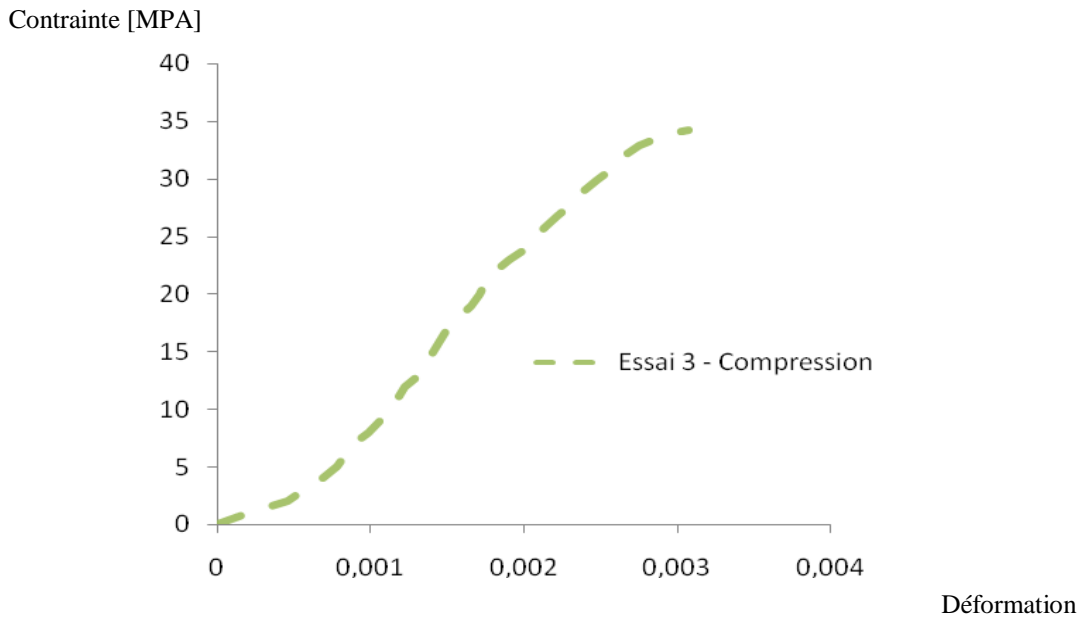


Figure IV.6 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 3

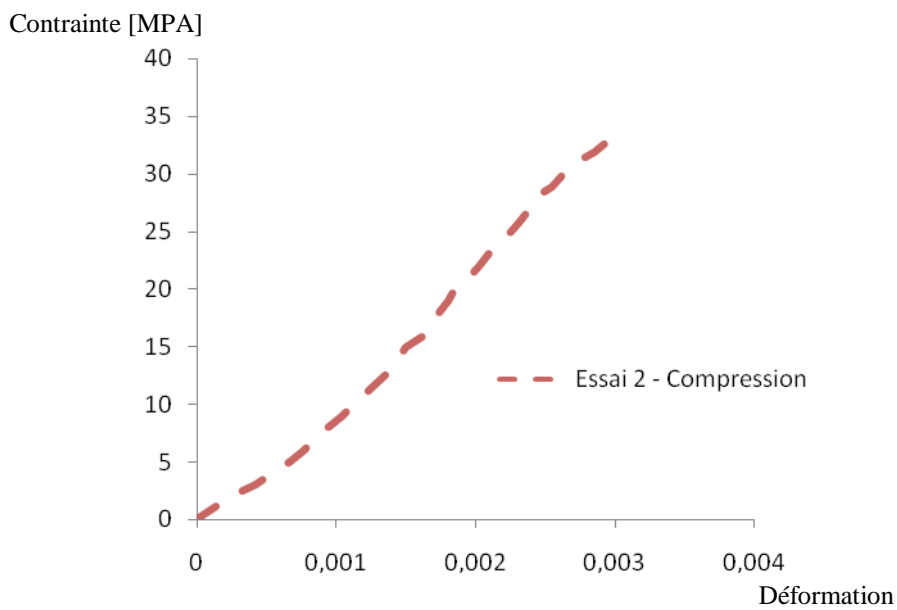
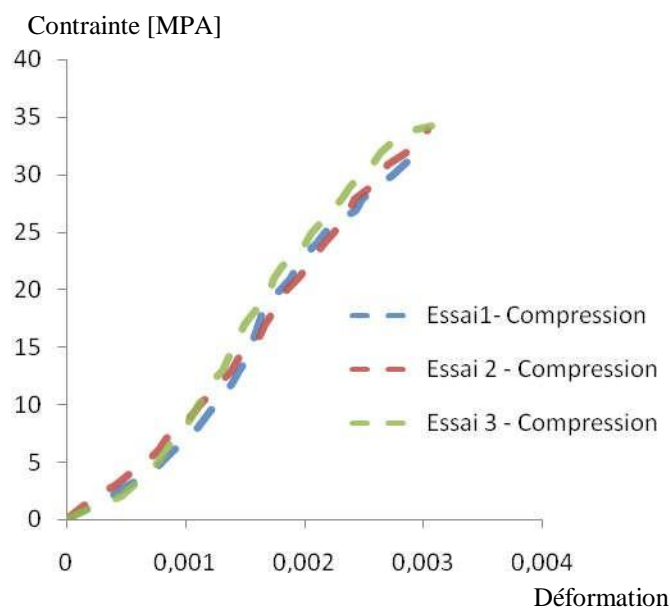


Figure IV.7 Courbe moyenne contrainte – déformation d’essai 2

La figure IV.8 illustre la superposition des trois courbes moyennes qui présente la contrainte en fonction de la déformation des trois essais réalisés.



**Figure IV.8** Superposition des Courbe moyenne contrainte – déformation

-Les contraintes maximales à la rupture de chaque essai sont résumées dans le tableau IV.2 .

Les essais	$\sigma$ [MPa]
Essai 1	31.05
Essai 2	33.83
Essai 3	34.20
La moyenne	33,02

**Tableau IV.2** Contraintes maximales à la rupture de chaque essai.

- **Calcul le module de Young**

$$E = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{25 - 10}{0,002 - 0,001} = 15000 \text{ MPA}$$

**Chapitre V**  
**Poinçonnement des petites dalles**  
**renforcées par des fibres**  
**de récupération**

## V.1 Essais de poinçonnement :

Afin de suivre le comportement des dalles renforcées par des fibres au poinçonnement centré et au poinçonnement excentré, deux séries d'essais ont été réalisées, la première série d'essais (série 1) des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers), par contre la deuxième série d'essais (série 2) des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM), une moyenne de (48) dalles ont été réalisées de dimensions  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ . Les essais ont été réalisés au laboratoire de Génie-Civil sur la machine de type «IBERTEST ».

### V. 1.1 Première série d'essais :

Cette première série d'essais (série 1), consiste à suivre le comportement des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers) au poinçonnement.

#### V.1.1.1 Géométrie et composition des dalles testées :

Les dalles utilisées sont des dalles de largeur  $l = 25 \text{ cm}$ , longueur  $L = 50 \text{ cm}$  et de hauteur (épaisseur)  $h = 7 \text{ cm}$   $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ , la longueur des fibres utilisées est de  $L = 8 \text{ cm}$ , avec  $n = 3$  (ondulations).

les moules, dalles et les fibres métalliques (copeaux) utilisées ainsi que le vibreur sont présentés par la figure V.1.



Figure V.1 Moules, dalles, fibres utilisées et le vibreur.

#### V.1.1.2 Mise en œuvre des dalles renforcées par des fibres métalliques :

La première série d'essais (série 1) des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (déchets d'usinage des pièces en aciers), les fibres sont disposées aléatoirement dans la matrice cimentaire, pour cette première série d'essais 18 dalles ont été testées. 05 teneurs en fibres retenus pour ces essais  $W = 0.2\%$ ,  $W = 0.4\%$ ,  $W = 0.6\%$ ,  $W = 0.8\%$ ,  $W = 1\%$ , ainsi que le béton témoin BT ( $W = 0\%$ ) qui servent de référence.

### V.1.1.3 Composition des éprouvettes :

La composition optimale du béton pour un  $1 \text{ m}^3$ , déterminée à partir de la composition du béton. (Voir chapitre II), Les fractions volumiques optimums de fibres. La composition pour  $1 \text{ m}^3$  et pour une dalle  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ , est donnée dans le tableau.1 ci- dessous.

Constituants	Volume $1 \text{ m}^3$	Quantités
Sable 0/3 (Kg)	753	6.59
Gravier 3/8 (Kg)	171	1.50
Gravier 8/15 (Kg)	895	7.84
Ciment CPJ CEM II/A 42.5 (c) (Kg)	380	3.33
Eau (E) (Kg)	206,52	1.81
Fluidifiant (0.5% du poids de ciment) (ml)	190.00	0.67

**Tableau V.1** La composition optimisée pour  $1 \text{ m}^3$  de béton et pour une dalle  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$

La masse pour les teneurs en fibres pour  $1 \text{ m}^3$  de béton, ainsi pour une dalle de dimensions  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ , sont données dans le tableau V.2.

Fraction volumique des fibres (W%)	0.2%	0.4%	0.6%	0.8%	1%
Masse pour $1 \text{ m}^3$ (kg)	15.77	31.53	47.30	63.07	78.83
Pour une dalle $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ (kg)	0.15	0.28	0.41	0.55	0.69

**Tableau V.2** Masse des différentes teneurs en fibres pour  $1 \text{ m}^3$  de béton et pour une dalle  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$

### V.1.1.4 Appareillage et essais :

Les essais de poinçonnement sont réalisées sur une presse hydraulique à déformation contrôlée de type Ibertest au laboratoire de modélisation des matériaux et structures de génie civil à l'université M.M de Tizi-Ouzou en Algérie. La presse est équipée d'une chaîne d'acquisition et commande numérique (voir la figure V.2).

Les Caractéristiques Géométriques des dalles testées sont introduites automatiquement. La capacité de la machine et de 200kN.

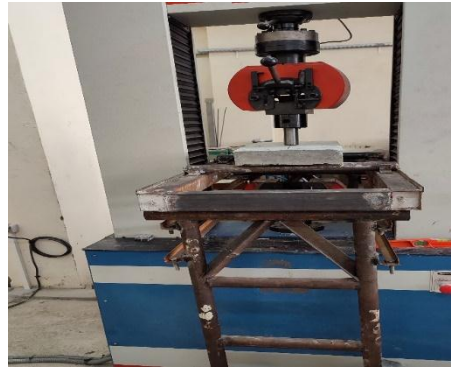


Figure V.2 Machine «IBERTEST ».



Figure V.3 Vue du dispositif d'essais.

**Détermination de la dimension de tige de poinçonnement :**

- Avec une section carrée on prend :
  - $L = 50 \text{ cm}$
  - $l = 50 \text{ cm}$
  - $e = 7 \text{ cm}$
- Vérification au poinçonnement BAEC 91 [NT.A 5.2.4]

$$N_u(Q_u) \leq \frac{0,045 \cdot U_c \cdot h \cdot f_{c28}}{\partial b}$$

$N_u$  : charge de calcul l'ELU

$U_c$  : périmètre de la contrainte cisailée

$e$  = épaisseur du voile en poteau

b = largeur du poteau en voile

$$U_c = 2(a + b)$$

$$U_c = 2.(a+b+2.e) = 2(a+b) + 4e$$

Pour le cercle =  $2\pi.r$

$$r = 3 \text{ cm}$$

$$U_c = 2\pi.r + 4.e =$$

$$e = 7 \text{ cm}$$

$$\partial b = 1,5$$

$$h = e = 7 \text{ cm}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ MPA}$$

$$U_c = 23,14 \times 30 + 4 \times 70$$

$$U_c = 468,40$$

- $Nu \leq \frac{0,045.468,40.70.25}{1,5}$

$$Nu = 30.10^3 \leq 24,591 \text{ N (N.V) ???}$$

Pour la vérification on prendre :

Pour une section circulaire : diamètre de 9,4 cm

$$\text{C.a. d } U_c = \pi R + 4.e$$

$$= 3,14. 94 + 4.70$$

$$= 395,16 + 280 = 575,16$$

$$Nu \leq \frac{0,045.25.70.575,16}{1,5}$$

$$30\ 000 \text{ N} \leq 30\ 195,90 \text{ N}$$

Donc D=9,4 cm

Pour une section carrée

$$\text{Donc } a=b= 7,5 \text{ cm} = 75 \text{ mm}$$

$$\text{C.à.d. } U_c = 2(a+b+2.e) = 580 \text{ mm}$$

$$Nu \leq \frac{0,045.25.70.580}{1,5}$$

$$Nu = 30\ 000 \leq 30\ 450 \text{ N}$$

En prend  $a=b=7,5$  cm

Ou bien

$[\varnothing = 60$  mm,  $e = 8$  cm],

$a=b=4,5$  cm,  $e = 8$  cm

- Pour que la formule n'est pas vérifiée donc

En prend :

$\varnothing = 60$  mm ,  $e = 60$  mm

$a=b=4,5$  cm       $e=60$ mm

**en conclusion :**

- $L=1 = 50$  cm
  - $e = 7$  cm
  - $L/1 = 1 \geq 0,4$  (280mm)
- Dimension de la tige de poinçonnement

- Cas carré :  $a = b = 40$  mm = 4 cm

$N$  calculé = 23,10 KN  $\leq$  30 KN

$a=b = 3,5$  cm

$N$  calculé = 22,05 KN  $\leq$  30 KN

- Cas circulaire :

Pour  $R = 4$  cm

$N$  calculé = 21,30 KN  $\leq$  30 KN

Pour  $R = 5$  cm

$N$  calculé 23,00 KN  $\leq$  30 KN



Figure V.4 La tige de poinçonnement utilisée.

### V. 1.1. 5 Description des essais :

Afin de suivre le comportement du béton renforcé de fibre de récupération « fibres métallique », des essais de poinçonnement centré et excentré (série 1) ont été réalisées sur des dalles  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$ . Les teneurs en fibres optimums retenues pour chaque série de test est fibres ( $W=0.2\%$ ,  $W=0.4\%$ ,  $W=0.6\%$ ,  $W=0.8\%$  et  $V=1\%$ ), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres  $W=0\%$ )

### V.1.1.6 Essais de poinçonnement :

#### V.1.1.6.1 Essais de poinçonnement centré :

Essais de poinçonnement centré ont été réalisé sur des dalles de dimension  $[25 \times 50 \times 7] \text{ cm}^3$  pour les différentes teneurs en fibres ( $W=0.2\%$ ,  $W=0.4\%$ ,  $W=0.6\%$ ,  $W=0.8\%$  et  $W=1\%$ ), ainsi pour un béton témoin BT (sans fibres). Un total de 24 dalles a été testé. Les dimensions des dalles utilisées sont présentées par la figure V.5.

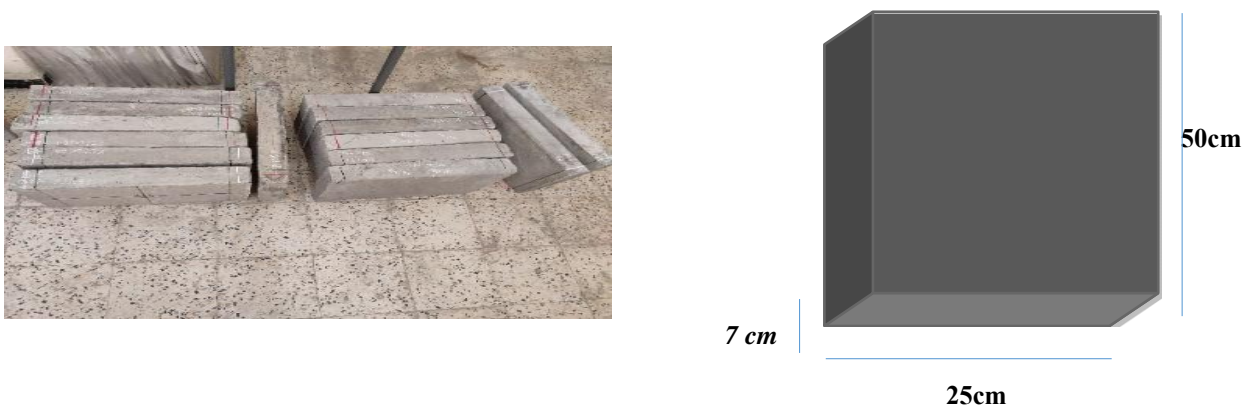


Figure V.5 Dimension des dalles utilisées.

La figure V.6: présente un exemple lors de d'essai en poinçonnement centré



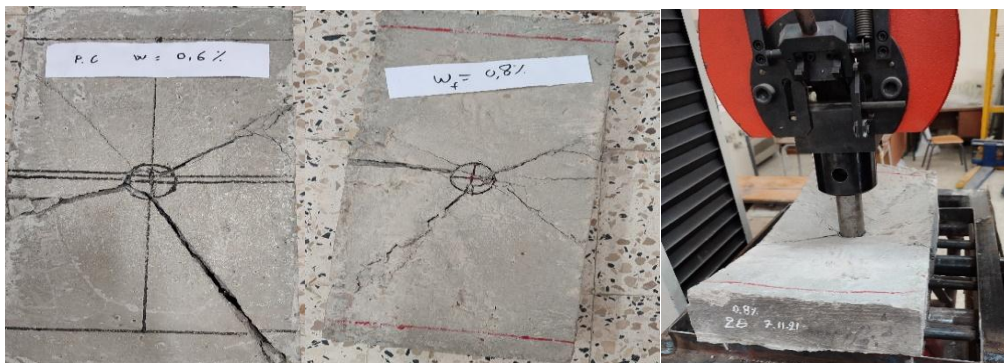
**Figure V.6** Exemple d'essai de poinçonnement centré.

### V.1.1.7 Présentation des résultats et discussions :

Après l'écrasement des dalles renforcées par des fibres (FM) en poinçonnement centré, sur la machine de traction « IBERTEST », pour les différentes teneurs en fibres ( $W=0.2\%$ ,  $W=0.4\%$ ,  $W=0.6\%$ ,  $W=0.8\%$  et  $W=1\%$ ), ainsi pour un béton témoin BT (sans fibres). Le mode de rupture des dalles testées ainsi que la superposition des courbes moyennes représentant La force en fonction de la flèche en travée pour chaque teneur en fibres sont données par les figures V.7 et V.8.

### V. 1.1. 8 Résultats des essais de poinçonnement centré :

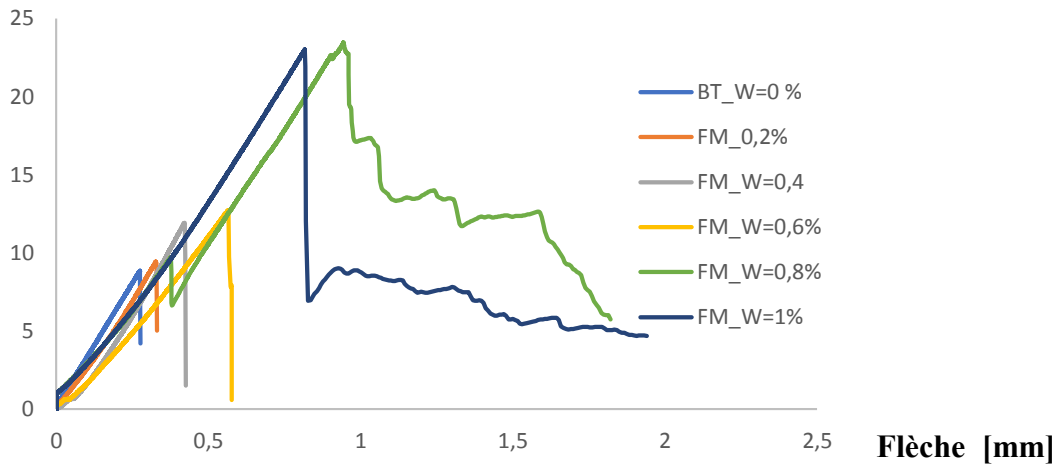
Figure V.7 illustre un exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement centré.



**Figure V.7** Exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement centré

Les courbes représentant la force en fonction-flèche pour les différents teneurs en fibre ( $W=0,2\%$  et  $W=0,4\%$ ,  $W=0,6\%$ ,  $W=0,8\%$ ,  $W=1\%$ ) et pour le béton témoin BT (sans fibres), sont données respectivement sous forme de graphe comme suit (figure V.8)

**Force [kN]**



**Figure V.8** Superposition des courbes Force-flèche pour les différents teneurs en fibres

D'après les résultats de la première série d'essais (Figure V.8) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées de fibres de récupération FM (déchets d'usinage des pièces en acier) testées, pour les teneurs en fibres,  $W=0,2\%$ ,  $W=0,4\%$ ,  $W=0,6\%$ ,  $W=0,8\%$  et  $W=1\%$  et le BT (sans fibres), ainsi que d'après le mode de rupture de ces dalles testées (figure V.7) lors des d'essais en poinçonnement centré, on a constaté :

Les courbes obtenues (figure V.8) montrent que le comportement des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) pour les teneurs en fibres  $W=0,2\%$ ,  $W=0,4\%$  et  $W=0,6\%$  ainsi que le béton témoin BT (sans fibres) ont une rupture fragile, par contre les dalles avec des teneurs en fibres  $W=0,8\%$  et  $W=1\%$  ont une rupture ductile. Ça s'explique par les nombres importants des fibres traversant les deux bords de la dalle (voir le mode de rupture de la (Figure V.7)).

Le tableau V.3 résume le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque pourcentage en fibres :

Teneurs en fibres (%)	BT W=(0%)	W=0.2%	W=0.4%	W=0.6%	W=0.8%	W=1%
Nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle	/	[4_6]	[9_11]	[18_19]	[24_26]	[23_25]

**Le tableau V.3** Le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque pourcentage en fibres.

Les courbes obtenues (figure V.8), montrent que c'est un comportement en poinçonnement, on remarque que la résistance et la rigidité en poinçonnement des dalles avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  et meilleur que les dalles avec des teneurs en fibres  $W=0.2\%$ ,  $W=0.4$ ,  $W=0.6\%$  et  $1\%$  et les dalles sans fibres (BT).

Ces résultats obtenus montrent aussi que l'ajout des fibres avec des teneurs  $W=0.8\%$  et  $W=1\%$  confère une ductilité significative au matériau par rapport au béton témoin BT (sans fibres). D'autre part le comportement du béton de fibres en poinçonnement, ce caractérise par la présence de deux (2) phases.

1- Une phase linéaire correspondant à un comportement quasi – élastique du matériau, c'est la phase de pré fissuration du béton. Cette phase se termine par l'apparition de la macro fissure.

2- Une deuxième phase dans laquelle on observe une chute brutale, sans rupture brusque de la dalle, de la capacité portante du matériau, c'est la phase post fissuration. Dans cette phase la matrice béton rompt et les bords de la fissure sont reliés par les fibres (voir figure V.6) ce qui permet d'éviter une rupture brutale.

Ces résultats de la première série (Figure V.8) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles avec une teneur en fibres  $W=0.8\%$  ( $F_r=23.46$  KN) est augmenté d'environ 62%, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=8.84$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 68%.

Le tableau V.4 résume les forces (charges) à la rupture au poinçonnement centré des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) testées (série 1) pour les différents teneurs en fibres ( $W=0.2\%$  et  $W=0.4\%$ ,  $W=0.6\%$ ,  $W=0.8\%$  et  $W=1\%$ ), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

Teneurs en fibres (%)	BT W=(0%)	W=0.2%	W=0.4%	W=0.6%	W=0.8%	W=1%
Force à la rupture (KN)	8,84	9.43	11.92	12.66	23,46	23,00

**Tableau V.4** Forces à la rupture en poinçonnement centré des dalles testées (série 1)

### V.1.2 Deuxième série d'essais de poinçonnement centré :

L'objectif principal de cette études expérimentales de la deuxième série (série 2), consiste à réaliser des essais qui permettra de suivre le comportement en poinçonnement des dalles en béton renforcées par des grilles polypropylènes petite maille (GPP/PM) et des grilles polypropène grande maille (GPP/GM) sous un chargement de poinçonnement centré.

-Pour mettre en évidence l'influence des dimensions de la maille de la grille sur la capacité portante de la dalle renforcée de fibres de polypropène, deux variantes ont été considérées dans cette étude.

Variante1 : Dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM).

Variante2 : Dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de grandes mailles (GPP/GM).

Les Types des grilles en fibres polypropylène utilisées sont présentés par la figure V.9.

Les dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées sont données par le tableau V.4.

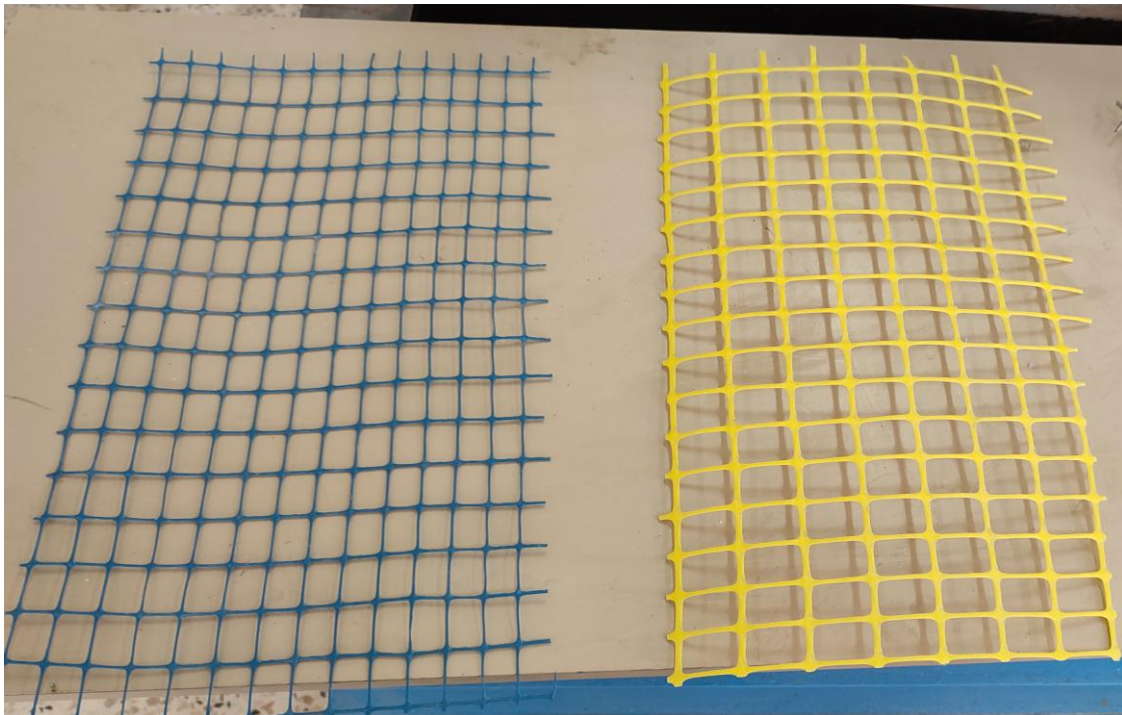


Figure V.9 Types de grilles utilisées

Dimensions	(GPP/GM)	(GPP/PM)
Longueur [mm]	48	48
Largueur [mm]	23	23
Épaisseur	0.3	0.1

Tableau V.5 Dimensions et caractéristique des différentes fibres utilisées

### V.1.2.1 Géométrie et composition des éprouvettes :

#### V.1.2.1.1 Géométrie des dalles :

Les dalles utilisées ont un largeur  $l = 25$  cm, une hauteur (épaisseur)  $h = 7$  cm et une longueur  $L = 50$  cm, [25x50x7] cm, les dimensions des grilles sont coupées selon les dimensions de la dalle, le coffrage et les grilles utilisées sont présentées par la figure V.10

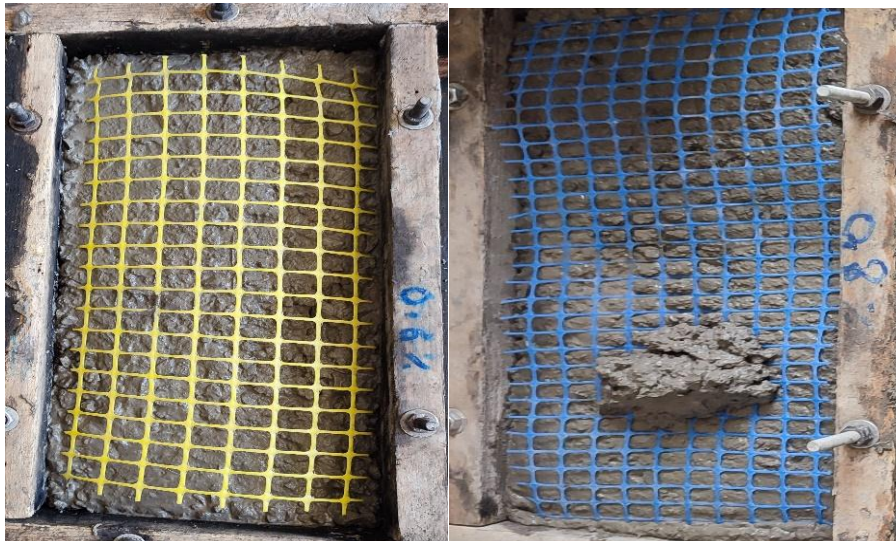


Figure V.10 Coffrage et grilles utilisée

### V.1.2.2 Mise en œuvre des dalles renforcées des grilles polypropylène :

Le coffrage utilisé pour la réalisation des dalles, constitué d'un moule en bois démontables, il a été imprégné par un agent démoulant pour faciliter le décoffrage des spécimens après la prise du béton. Les dalles armées ont été confectionnées en respectant la procédure qui consiste à réaliser les cinq (05) étapes, dans l'ordre établi. Pour assurer la continuité de la matrice béton, il est recommandé, à chaque étape, de réaliser une vibration du béton, à l'aide d'un vibreur. Deux variantes d'essais ont été observées dans cette étude, dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM), et une deuxième variante des dalles renforcées par des grilles de grandes mailles (GPP/GM). Chaque dalle est renforcée a grilles de même nature, comporte trois (éprouvettes) réalisées à partir de la même gâchée du béton.

Les étapes à respecter sont :

1. Coulage de la première couche de béton (couche d'enrobage).
2. Pose de la première nappe de la grille.
3. Coulage d'une autre couche de béton.
4. Pose de la deuxième nappe de la grille.
5. Coulage de la dernière couche de béton (couche de surface).

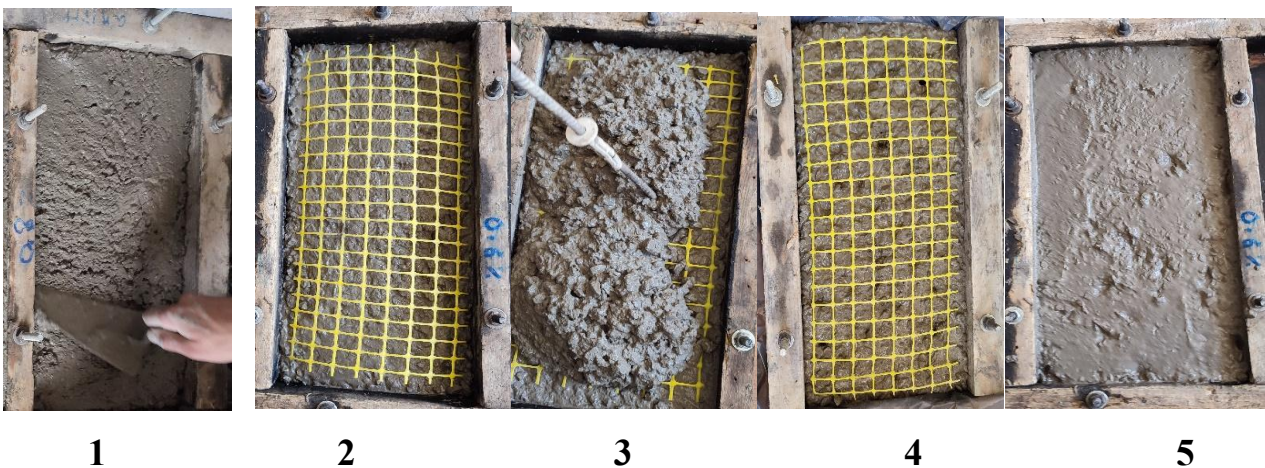


Figure V.11 Les étapes réalisées



Figure V.12 Collage des dalles.

**V.1.2.3 Description des éprouvettes :**

En tenant compte des dimensions de la machine d’essai de type (IBERTEST) de capacité de 200 KN, disponible au laboratoire avec laquelle on a effectué les essais de poinçonnement sur les dalles, On a opté pour la réalisation des dalles de dimensions [25x50x7] cm<sup>3</sup>. La disposition des fibres en grilles polypropylènes pour les deux variantes (GPP/PM) et (GPP/GM) sur toute la hauteur de la dalle sont présentées respectivement par les figures V.13.

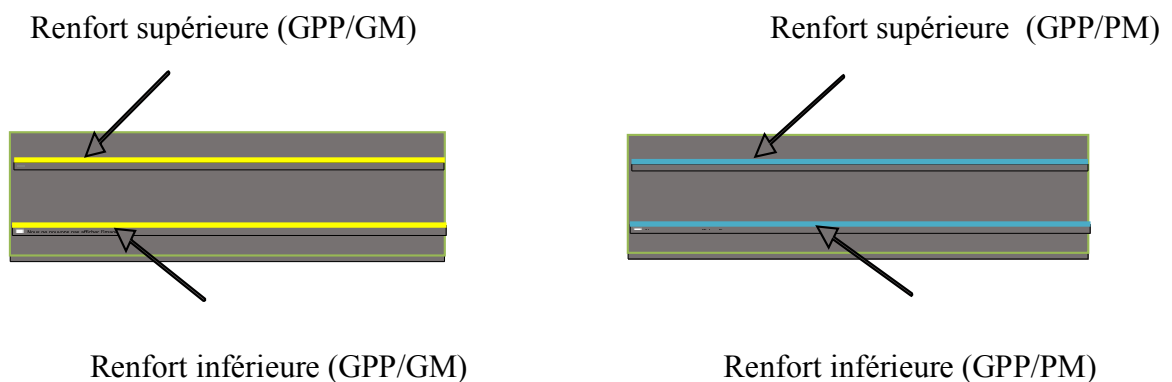
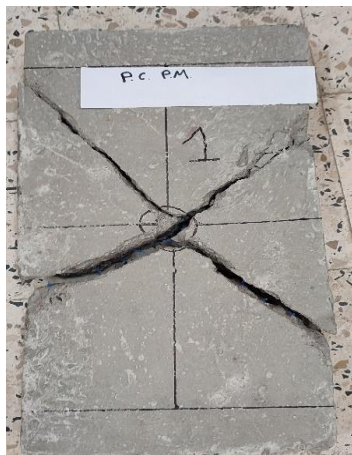


Figure V.13 Collage des renforts de grilles utilisées

#### V.1.2.4 Présentation des résultats et discussions :

Après l'écrasement des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petite maille (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) (Série 2), sur la machine de poinçonnement « IBERTEST », ainsi pour un béton témoin BT (sans fibres). Les courbes moyennes représentant la force en fonction de la flèche, pour chaque type de grille en polypropylène ainsi pour un béton témoin qui servent de référence (BT).

La figure V.14 illustre le mode de rupture des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM).



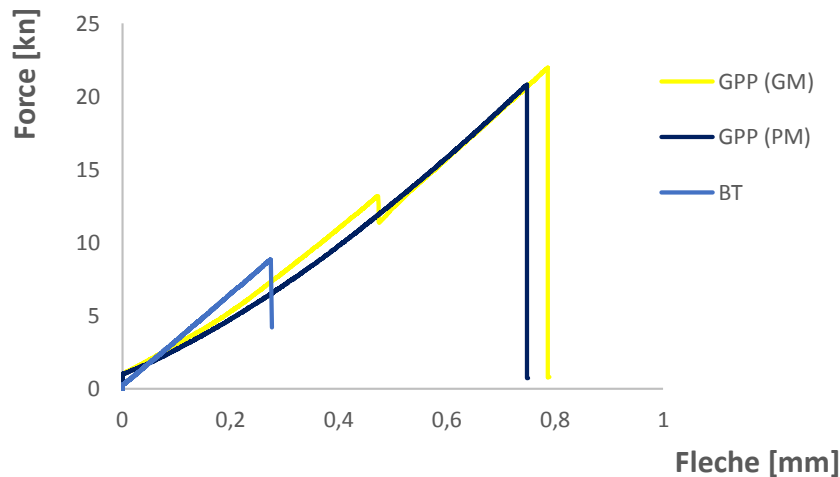
**Figure V.14** Mode de rupture de dalles (GPP/PM)

La figure V.15 illustre le mode de rupture des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM)



**Figure V.15** Mode de rupture de dalles avec des (GPP/GM)

La figure V.16 illustre la superposition des courbes Force-flèche pour les deux grilles en Polypropylène (GPP/PM) et (GPP/GM), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).



**Figure V.16** Superposition des courbes Force- flèche des dalles renforcées par des grilles

Polypropylène

D'après les résultats de la deuxième série d'essais (Figure V.16) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) testées ainsi que BT (sans fibres), le mode de rupture pour les deux grilles est une rupture faible (Voir Figures V.14 et V.15).

Les courbes obtenues (Figure V.16), montrent que la résistance et la rigidité en poinçonnement centré des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GPP/GM) est meilleur que les dalles renforcées avec des grilles Polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et les dalles sans fibres (BT).

Ces résultats de la deuxième série (Figure V.16), nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GM) ( $F_r=21.92$  KN) est augmenté d'environ 60 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=8.84$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 65 %.

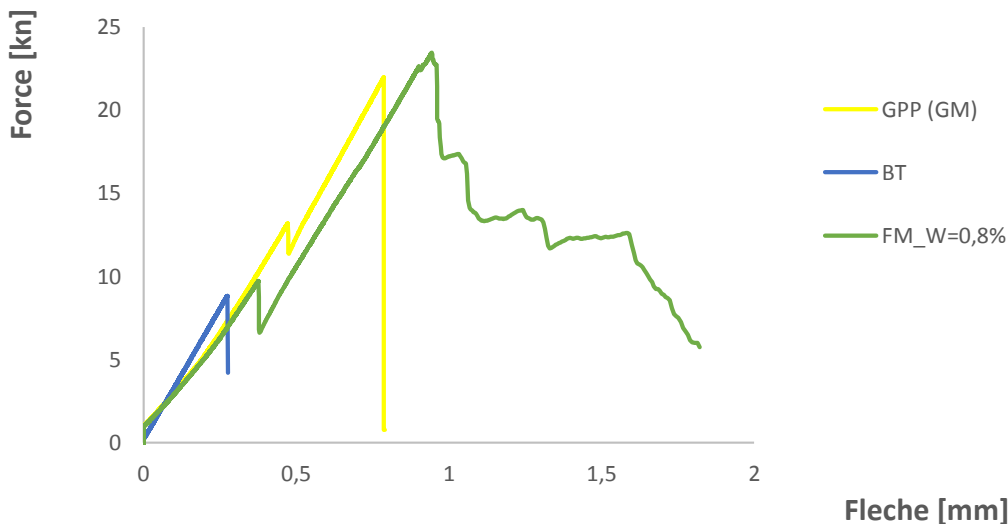
Le tableau V.6 résume les forces (charges) à la rupture en poinçonnement centré des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylènes petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles

(GPP/GM) testées (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

/	BT	GPP/PM	GPP/GM
Force à la rupture (KN)	8.84	20.80	21.92

**Tableau V.6** Forces à la rupture des dalles testées en poinçonnement centré (série2).

La figure V.17 illustre la superposition de meilleures courbes obtenues en poinçonnement centré par les dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (série 1) et les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène grande maille (GPP/GM) et des (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).



**Figure V.17** Superposition des meilleures courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques et le BT.

D'après la figure V.17 On constate bien que la résistance et la rigidité au poinçonnement centré des dalles renforcées avec des fibres Métallique (FM) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  sont meilleures que les dalles renforcées avec des grilles en propylène de Grande maille (GPP/GM). et des grilles en propylènes de petite maille (GPP/PM) et On constate aussi que le mode de rupture des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) ) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  à un comportement ductile après fissuration du béton, par contre les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène de petite et grande maille ont un comportement fragile après fissuration du béton.

### V.1.2 Essai de poinçonnement excentré :

La figure V.18 : présente un exemple lors de d'essai en poinçonnement excentré



**Figure V.18** Exemple d'essai de poinçonnement excentré

#### V.1.2.1 Résultats de la première série d'essai de poinçonnement excentré :

Figure V.19 : illustre un exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement excentré (série 1)



**Figure V.19** Exemple du mode de rupture des dalles testée lors des essais en poinçonnement excentré (série 1)

Les courbes représentant la force en fonction-flèche pour les différentes teneurs en fibre ( $W=0,2\%$  et  $W=0,4\%$ ,  $W=0,6\%$ ,  $W=0,8\%$ ,  $W=1\%$ ) et pour le béton témoin BT (sans fibres), sont données respectivement sous forme de graphe comme suit (figureV.20).

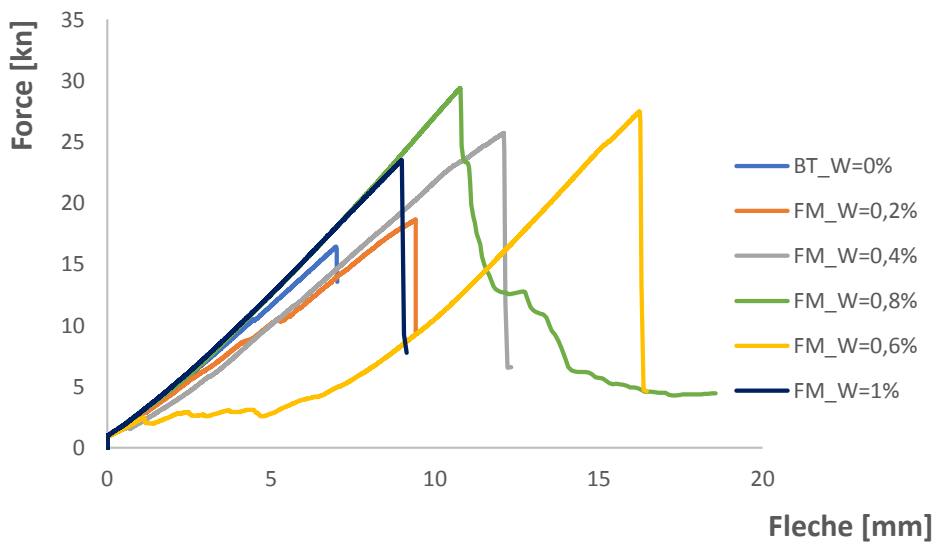


Figure V.20 Superposition des courbes Force-flèche pour les différents teneurs en fibres

D’après les résultats de la première série d’essais (Figure V.20) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées de fibres de récupération FM (déchets d’usinage des pièces en acier) testées, pour les teneurs en fibres,

W=0.2%, W=0.4%, W=0.6% W=0.8% et W=1% et le BT (sans fibres), ainsi que d’après le mode de rupture de ces dalles testées (figure V.19) lors des d’essais en poinçonnement excentré, on à constater :

Les courbes obtenues (figure V.20), montrent que le comportement des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) pour les teneurs en fibres W=0.2%, W=0.4%, W=0,6%, W=1% et ainsi que le béton témoin BT (sans fibres) ont une rupture fragile, par contre les dalles avec des teneurs en fibres W=0.8% ont une rupture ductile. Ça s’explique par les nombres important des fibres traversant les deux bords de la dalle (voir le mode de rupture de la (Figure V.19).

Le tableau V.7 résume le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque pourcentage en fibres :

Teneurs en fibres (%)	BT W=(0%)	W=0.2%	W=0.4%	W=0.6%	W=0.8%	W=1%
Nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle	/	[8_9]	[18_20]	[26_29]	[37_40]	[38_39]

Le tableau V.7 Le nombre de fibres traversant les deux bords de la dalle pour chaque Pourcentage en fibres

Ces résultats obtenus montrent aussi que l'ajout des fibres avec des teneurs  $W=0.8\%$  confère une ductilité significative au matériau par rapport au béton témoin BT (sans fibres). D'autre part le comportement du béton de fibres en poinçonnement excentré, se caractérise par la présence de deux (2) phases :

1. Une phase linéaire correspondant à un comportement quasi – élastique du matériau, c'est la phase de pré fissuration du béton. Cette phase se termine par l'apparition de la macro fissure.
2. Une deuxième phase dans laquelle on observe une chute brutale, sans rupture brusquée de la dalle, de la capacité portante du matériau, c'est la phase post fissuration. Dans cette phase la matrice béton rompt et les bords de la fissure sont reliés par les fibres (voir figure V.20) ce qui permet d'éviter une rupture brutale.

Ces résultats de la première série (Figure V.20) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles avec une teneur en fibres  $W=0.8\%$  ( $F_r=30,13$  KN) est augmenté d'environ 42 %, par rapport aux dalles sans fibres ( $F_r=17,38$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 39 %.

Le tableau V.8 résume les forces (charges) à la rupture au poinçonnement excentré des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) testées (série 1) pour les différents teneurs en fibres ( $W=0.2\%$  et  $W=0.4\%$ ,  $W=0.6\%$ ,  $W=0.8\%$  et  $W=1\%$ ), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

Teneurs en fibres (%)	BT W=(0%)	W=0.2%	W=0.4%	W=0.6%	W=0.8%	W=1%
Force à la rupture(KN)	17.38	19.68	25.73	27.50	30.13	23.53

**Tableau V.8** Forces à la rupture en poinçonnement excentré des dalles testées (série1)

### V.1.2.2 Résultats de la deuxième série d'essai de poinçonnement excentré :

La figure V.21 illustre le mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM)



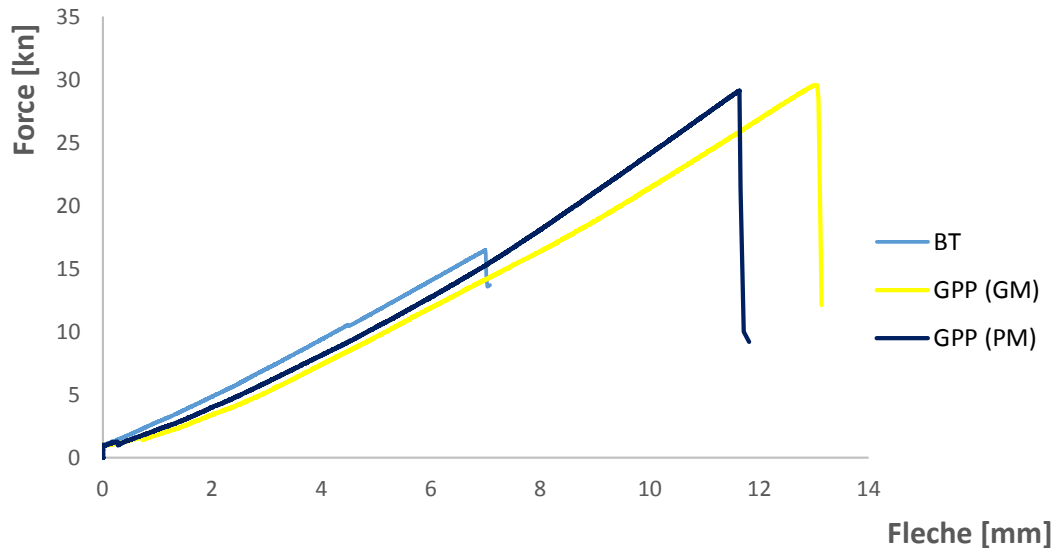
La figure V.21 Vue de mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/PM)

La figure V.22 illustre le mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/GM)



La figure V.22 Vue de mode de rupture sur les parties supérieures et inférieures des dalles renforcées avec des fibres en polypropylènes de petites mailles (GPP/GM) .

La figure V.23 Illustre la superposition des courbes force-flèche pour les deux grilles en Polypropylène (GPP/PM) et (GPP/GM), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres) .



**Figure V.23** Superposition des courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles polypropylène

D'après les résultats de la deuxième série d'essais (Figure V.23) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) testées ainsi que BT (sans fibres), le mode de rupture pour les deux grilles est une rupture fragile (Voir les Figures V.21. V. 22).

Les courbes obtenues (Figure V.23), montrent que la résistance et la rigidité en poinçonnement excentré des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande mailles (GPP/GM) est meilleur que des grilles polypropylène de petite maille (GPP/PM) et les dalles sans fibres (BT).

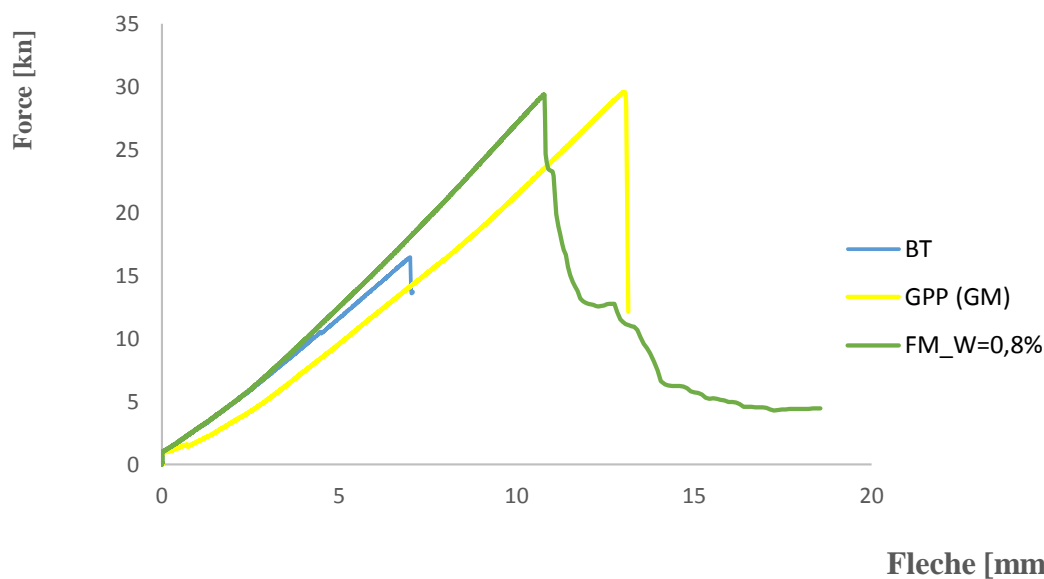
Ces résultats de la deuxième série (Figure V.23), nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GM) ( $F_r=29.57$  KN) est augmenté d'environ 41 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=17.38$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 45 %.

Le tableau V.9 résume les forces (charges) à la rupture en poinçonnement excentré des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylènes petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM) testées (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sans fibres).

/	BT (W= 0%)	GPP/PM	GPP/GM
Force à la rupture (KN)	17.38	29.12	29.57

**Tableau V.9** Forces à la rupture en poinçonnement excentré des dalles testées (série2).

La figure V.24 illustre la superposition de meilleures courbes obtenues en poinçonnement excentré par les dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) (série 1) et les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène grande maille (GPP/PM) et des (série 2), ainsi que le béton témoin BT (sana fibres).



**Figure V.24** Superposition des meilleurs courbes Force-flèche des dalles renforcées par des grilles en Polypropylène et les fibres Métalliques et le béton témoin.

D'après la figure V.24, on constate bien que la résistance et la rigidité en poinçonnement excentré des dalles renforcées avec des fibres Métallique (FM) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  et meilleur que les dalles renforcées avec des grilles en propylènes de petite maille (GPP/PM) et des grilles en propylène de Grande maille (GPP/GM) On constate aussi que le mode de rupture des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) a un comportement ductile après fissuration du béton, par contre les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène de petite et grande maille ont un comportement fragile après fissuration du béton.

**Conclusion générale**

Le béton armé de fibres présente des caractéristiques mécaniques lui permettant une utilisation industrielle dans le domaine de la construction et des travaux publics. L'évolution de la réponse de ce matériau à des sollicitations de traction le rend particulièrement intéressant. Parmi les facteurs influençant son comportement en traction on peut noter :

- La géométrie des fibres utilisées.
- L'adhérence fibres - matrice de béton.
- Le pourcentage des fibres .
- L'orientation des fibres.

Toutefois, il en existe certaines applications pour lesquelles le béton armé classique n'est pas le mieux recommandé du fait qu'il aura à subir les désagréments des situations les plus craintes telles que la difficulté de mise en place des cages d'armatures dans certaines pièces en béton armé (Pieux), l'insuffisance de l'enrobage dans les pièces minces (dallages)...etc. Afin de pallier à ces difficultés, les gens du domaine font appel à d'autres matériaux, et c'est exactement là qu'interviennent les bétons de fibres.

Devant ce fait, cette étude expérimentale a été menée dans le but de saisir et comprendre l'impact ou l'effet que peut avoir l'introduction des fibres ondulées en spirales issues des déchets d'usage des pièces en acier FM « copeaux », dispersées aléatoirement, ainsi que les fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/GM) et de grandes mailles sur le comportement du béton au poinçonnement centre et excentré.

La méthode expérimentale « Dreux-Gorisse », nous a permis de déterminer la composition du béton pour un  $1\text{m}^3$ .

Les essais de compression sur des cylindres de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm effectués sur une presse hydraulique de type AUTOTEST nous ont permis de déterminer les propriétés mécaniques du béton utilisé.

Les essais réalisés afin de caractériser le comportement mécanique des fibres métalliques ont permis de mettre en évidence l'influence de la longueur des fibres et le nombre d'ondulations (spirales) sur leur résistance en traction. Il apparaît que la meilleure résistance est atteinte pour une longueur de 80 mm avec 3 ondulations.

Les résultats des essais effectués au poinçonnement centré (série 1) nous ont permis de constater que l'ajout des fibres métallique (FM) pour une teneur en fibre  $W=0.8\%$  confère une ductilité significative au matériau par rapport au béton témoin BT (sans fibres), ainsi que par rapports aux autres pourcentages, dont on a obtenus des ruptures ductiles au lieu des ruptures fragiles.

Ces résultats de la première série (série 1) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture

des dalles avec une teneur en fibres  $W=0.8\%$  ( $F_r=23.46$  KN) est augmenté d'environ 62%, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=8,84$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 68%. Par contre les résultats des dalles renforcées par des fibres en grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande mailles (GPP/GM) (série 2), ont une rupture fragile.

Ces résultats de la deuxième série montrent que la résistance et la rigidité en poinçonnement centré des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GPP/GM) et meilleur que les dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et les dalles sans fibres (BT).

Ces résultats de la deuxième série (Figure V.16), nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande maille (GM) ( $F_r=21.92$  KN) est augmenté d'environ 60%, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=8.84$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 65%.

La comparaison des résultats obtenus au poinçonnement centré, sur des dalles renforcées avec des fibres de Métallique (FM), ainsi que les dalles renforcées avec des grilles en polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grandes mailles (GPP/GM).

D'après la figure V.17 On constate bien que la résistance et la rigidité en poinçonnement centré des dalles renforcées avec des fibres Métallique (FM) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  sont meilleures que les dalles renforcées avec des grilles en propylène de Grande maille (GPP/GM). et des grilles en propylènes de petite maille (GPP/PM), ainsi que le mode de rupture des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  a un comportement ductile après fissuration du béton, par contre les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène de petite et grande maille ont un comportement fragile après fissuration du béton.

Pour les résultats des essais effectués en poinçonnement excentré (série 1) montrent que l'ajout des fibres métallique (FM) pour une teneur en fibre  $W=0.8\%$  confère une ductilité significative au matériau par rapport au béton témoin BT (sans fibres), ainsi que par rapports aux autres pourcentages, dont on a obtenus des ruptures ductiles au lieu que des ruptures fragiles.

Ces résultats de la première série (Figure V.20) nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles avec une teneur en fibres  $W=0.8\%$  ( $F_r= 30,13$  KN) est augmenté d'environ 42%,

par rapport aux dalles sans fibres ( $F_r=17.38$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 39%.

D'après les résultats de la deuxième série d'essais (Figure V.23) qui présente la superposition des courbes moyennes force-flèche des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petites mailles (GPP/PM) et grande maille (GPP/GM) testées ainsi que BT (sans fibres), le mode de rupture pour les deux grilles est une rupture fragile.

Ces résultats montrent que la résistance et la rigidité au poinçonnement excentré des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grande mailles (GPP/GM) meilleur que les dalles renforcées avec des grilles polypropylène de petite maille (GPP/PM) et les dalles sans fibres (BT).

Ces résultats de la deuxième série (Figure V.23), nous ont permis de noter également que l'effort de rupture des dalles renforcées avec des grilles polypropylène de grandes mailles (GM)( $F_r=29.57$  KN) est augmenté d'environ 41 %, par rapport aux dalles sans fibres (BT) ( $F_r=17.38$  KN). Par contre la déformation (flèche) augmentée d'environ 45 %.

La comparaison des résultats obtenus au poinçonnement excentré, sur des dalles renforcées avec des fibres de Métallique (FM), et les dalles renforcées avec des grilles en polypropylène de grandes mailles (GPP/GM) ainsi que les dalles sans fibres (BT) .

D'après la figure V.24 On constate bien que la résistance et la rigidité en poinçonnement excentré des dalles renforcées avec des fibres Métallique (FM) avec une teneur en fibre  $W=0.8\%$  et meilleure que les dalles renforcées avec des grilles en propylène de grandes mailles (GPP/GM) ,on constate aussi que le mode de rupture des dalles renforcées par des fibres métalliques (FM) a un comportement ductile après fissuration du béton, par contre les dalles renforcées par des fibres en grilles de polypropylène de petite et grande maille ont un comportement fragile après fissuration du béton.

Les perspectives envisagées dans ce contexte sont :

Le travail présenté dans cette thèse nécessite comme tout projet, des raffinements afin de pouvoir obtenir d'autres résultats importants et de tirer des conclusions encore plus précises.

- Afin d'améliorer les résultats obtenus sur le béton renforcé par des fibres métalliques (FM) et les fibres polypropylènes. En s'intéressant à certains paramètres tel que :
- Pour les fibres métalliques (FM), La disposition des fibres en éventuellement passer à des fibres longues orientées.

- Disposition des fibres en grille polypropylènes il faut faire des essais on fait changer la disposition des grilles sur la hauteur de la dalle.
- La géométrie des fibres (plates, ondulées), réaliser des essais avec des fibres plates au lieu que ondulées a fin de diminuer les vides (cavités) dans la pâte cimentaire.

**Références  
bibliographique**

- [1] ROCHDI E.H. 2004. El HoussainRochdi ; Contribution à l'analyse du comportement mécanique de dalles en béton arme renforcées par matériaux composites ; thèse de doctorat, Université Claude Bernard - Lyon 1, France 2004
- [2] FAVRE et al. 1997 .R.Favre, J.-P.Jaccoud, O.Burdet et H.Charif. Dimensionnement des structures en béton ; volume 8, 2e édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 591 p, 1997.
- [3] STEIN et coll. 2007. T. Stein, A.GhalietW.Dilger; Distinction between punching and flexural failure modes of flat plates. ACI Structural Journal, volume 105, numéro 2, p. 238-241, 2007.
- [4] CLEMENT T.2012 T.Clément ;Influence de la précontrainte sur la résistance au poinçonnement de dalles en béton armé ; thèse de doctorat,Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse2012.
- [5] GUANDALINI S.2005 ; S. Guandalini ;Poinçonnement symétrique des dalles en béton armé ; école polytechnique fédérale de Lausanne ; France ; 2005.
- [6] [BOUZEBODJA Fatma épouse IDDIR] ; thèse doctorat « Poinçonnement de dalles armées de tissus composites »2017
- [7] GASTON KRUGER, ingénieur civil diplômé EPF de nationalité suisse [résistance au poinçonnement symétrique des dalles en béton armée]. (1999), école polytechnique fédérale du LAUSANNE EPFL (1999).
- [8] TASSINARI L. 2011 L.Tassinari ; poinçonnement symétrique des dalles en béton armé ; école polytechnique fédérale de Lausanne ; thèse de doctorat NO 5030 ; 2011.
- [9] Bettouche Hakima ; Mémoire de fin d'études « Effet des fibres longues ,déchet d'usinage des pièces en acier sur le comportement du béton » 2015.
- [10] Atlaoui Djamel ;thèse de doctorat « Influence des fibres de récupération sur le comportement du béton armé ,2014.
- [11] Pascal Casanova. Bétons renforcées de fibres métalliques : Ecole nationale de, Paris, 1995.
- [12] F.GABRYSIK, Matériaux –Les Bétons chapitre 04.
- [13] DGM09/UMBB « Mémoire chapitre V le bétons-fibres » 2011 -2012
- [14] COTTERELL B., MAI Y.W. « Fracture Mechanics of Cementitious Materials. Blackie Academic & Professional », London/Chapman and Hall. p. 294. 1996

- [15] PAILLÈRE MME, Le béton de fibres métalliques état actuel des connaissances .Annales de L'ITBTP N0 515, 1993.
- [16] ABSI E., « Béton de fibres, synthèse des études et des recherches réalisées au CEBTP », Annales de l'ITBTP N0 520, 1994.
- [17] ROSSI P., « Formulation du comportement mécanique du béton de fibre métallique (BFM)». Annales de l'I.T.B.T.P n0 492. mars- Avril 1991.
- [18] BERNIER, G. « Composition, rhéologie, mise en œuvre et composition du béton de fibres métalliques » C.R. journées ENS CACHAN MRES 22-25 nov.1988, Composite cimentfibre ; 19p 1988
- [19] KACHI, M.S « Calcul non linéaire jusqu'à rupture, d'une section en béton armée de fibres métalliques », Thèse de magister, université M. MAMMERI de Tizi-Ouzou, fév. 1997.
- [20] BERNIER, G. « Caractérisation et contrôle des bétons renforcés de fibres ». Annales del'ITBTP N°494, 1991 .
- [21] JEJCIC O. ZANGHLLINE F., « Mortier et ciment armés de fibres ». Une étude bibliographique, Annales de L'I.T.B.T.P. suppl. n0 347 série matériaux 51, pp. 46-87 1977.
- [22] ROSSI, P. ; HARROUCHE, N. ; BELLOC, A. « Méthode de composition des bétons de fibres métalliques », Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics,n°475 juin-juillet 1989, série Béton 266.1989
- [23] ZHAN, Z. (1991), « Contribution au dimensionnement des pieux en béton de fibre », Thèse de doctorat, université d'Orléans, 1991 [25] BOUZEROURA, M., « Etude du comportement du béton de fibres ondulées. Proposition d'une relation simplifiée contrainte-déformation ». Magister en génie civil- Université de Tizi- Ouzou, 2003.
- [24] SOROSHIAN, P.; LEE, C.D., Distribution and orientation of fibers in steel fiber reinforced concrete. ACI Materials journal, n°87, M44, Vol87 n°5, p433-439, Sept-Oct 1990.
- [25] SHAH P.S., « Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes » ACI Materials Journal, V.88, No.6, pp. 595-602. 1991 .
- [26] BARON J., LESAGE R., « Méthode expérimentale de composition des bétons hydrauliques. Bulletin de liaison de LPC, Juillet-aout 1976, N° 84, pp 130-140.

- [27] CHERGUI, N. « Caractérisation en statique du comportement en traction directe du béton armé de fibres en copeaux », Mémoire de magister en génie civil, Université M.MAMMERRI de TIZI – OUZOU, 2010 .
- [28] BOUAFIA, Y.; FOURE, B.; KACHI, M .S. « Relation effort- ouverture des fissures dans le cas du béton armé de fibres d'acier », Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, n°2, avril 1998 .
- [29] Groth P., « Fibre reinforced concrete - Fracture mechanics méthode applied on self- compacting concrete and energetically modified binders, PhD-thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Lulea University of Technology ».2000 .
- [30] Alcantara M. Béton auto-plaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC 2004 .
- [31] Alcantara M., Mouret. M., Pons. G. Granju.J-L. “Self-compacting concrete with hybrid fiber reinforcement: workability and mechanical behavior”, 4 th International Symposium on Self-Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Chicago, USA. 2005 .
- [32] ELHACHEM, M., « Etude de l'influence de la fibre de fonte sur le fluage et le retrait du béton ». Thèse de docteur de l'E.C.P. février 1990.
- [33] VALADE, TH. Comportement des bétons armés de fibres métalliques. Mémoire de recherche développement, ENS de CACHAN, Déc. 1987.
- [34] SERNA ROSS, « Etude de la contribution des fibres métalliques à l'amélioration du comportement du béton au cisaillement ». Thèse de doctorat de l'ENPC, 1984.
- [35] NARAYANAN R., DARWISH Y.S., « Use of steel fibers as shear reinforcement», ACI Structural Journal, n0 84 s23, pp. 216-227, May-June 1987.
- [36] <https://www.infobeton.be> .
- [37] ABDELMADJID BILAL. Mémoire de fin d'étude : Étude du comportement mécanique d'un béton à base de fibres métallique .





