

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF M'SILA
FACULTE DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE DE :

MAGISTER

En génie civil option matériaux

Préparé par :

RICHANE SACI

Thème :

Prise en compte de l'orientation des fibres dans une poutre continue
à matrice de béton

Date de soutenance 07/07/2004

Devant le jury composé de :

D ^r / Mohamed BENCHEIKH	M.C Président de jury	« U. M ^{ed} BOUDIAF MSILA »
D ^r / Mekki BIBI	M.C Rapporteur	« U. M ^{ed} BOUDIAF MSILA »
D ^r / Zine Eddine BOUDAUD	M. C Examineur	« U. M ^{ed} BOUDIAF MSILA »
D ^r / Kamel AIT TAHAR	M.C Examineur	« U. M.MAMERI TIZI OUZOU »

Remerciements

Très affecté par la sympathie, l'estime, le respect et l'encouragement de l'ensemble du personnel administratif, enseignants et collègues du génie civil de MSILA ; je tiens à les remercier tous vivement avec mes souhaits de bonheur et des succès.

Une particularité est réservée à Messieurs :

Mekki BIBI « maître de conférence » encadreur.

Abd El kader LOUNIS « responsable LABO de béton »-

Boubekr EL BAHY « collègue »

Pour l'aide et l'assistance permanente dans mes travaux.

Mes remerciements à Messieurs :

Le recteur de l'université Mohamed BOUDIAF de M'SILA, les membres du conseil scientifique du génie civil, les membres de jury, et les correcteurs.

ملخص

إلى أمد ليس ببعيد كان الباحثون في ميدان الهندسة المدنية وألا شغال العمومية - قسم مواد البناء - يعتقدون انه من الممكن استبدال التسليح المستمر الكلاسيكي الموضوع في المناطق الخاضعة للشد في العناصر الانشائية من البيتون بتسليح غير مستمر. يتمثل في اليا ف معدنية ذات مقاطع هندسية وأطوال معينة دون أن يؤدي ذلك إلى خفض في قدرة تحمل العنصر و لا في زيادة كلفته.

لقد جند الباحثون في الميدان وخاصة في الولايات المتحدة الأمريكية واليابان كل خبراتهم من أجل معرفة الخصائص الميكانيكية والشروط التكنولوجية لتحضير المركب وطرق صبه و سلوكه تحت تأثير مختلف أشكال التحميل .

من نتائج هذه الأبحاث ما يلي :

- من أجل كمية من الألياف المعدنية لا تزيد عن 30 كلغ / م³ نحصل على بيتون ذو مقايمة قياسية، و بزيادة محسوسة لهذه الكمية -30 إلى 50 كلغ/م³ تزداد المقايمة ببطء، وفي حال تجاوزها لهذه الكمية تنخفض، مع ما يرافقه ذلك من صعوبات في الصب ، وسوء التوضع داخل القوالب، وارتفاع في الكلفة - غلاء اليا ف-.
 - أن الزيادة في أطوال الألياف من شأنه أن يعطى تمكينا أكبر لها داخل الكتلة البيتونية، غير أن الطرارة تنخفض كثيرا مما يصعب عملية الصب. و بدراسة تجريبية تم تحديد الرشاقة - $\langle \frac{l}{\phi} \rangle$ - لتفادي ذلك.
 - توزع الألياف و اتجاهها عشوائيا مما يستحيل معه لعب نفس دور التسليح الكلاسيكي وهو ما دفع بالباحثين الى استعمال وسائل صب ملائمة.
 - للعناصر البيتونية المقواة بالألياف المعدنية وفقا للشروط السابقة سلوكات ملائمة تحت تأثير الحمولات المختلفة.
- يدخل هذا العمل في إطار دراسة مقارنة مقاومة وسلوك وتكلفة جازم مستمر منفذ من بيتون مقوى بألياف معدنية في المناطق المشدودة، ومن البيتون غير المقوى في المناطق المضغوطة، مع جازم اخر منفذ كله من بيتون مقوى.

RESUME

Il n'y a pas longtemps que les chercheurs dans le domaine du génie civil et travaux publics « option matériaux » croyaient qu'il sera possible de remplacer le ferrailage traditionnel placé en zones tendues par un renforcement discontinu sous forme de fibres métallique de section et longueurs données sans qu'il y ait d'incidence sur la capacité portante de l'élément constructif, et le coût de réalisation « coût-qualité égale »

Des efforts intensifs déployés par les chercheurs surtout au USA et au JAPON au vue d'identifier les caractéristiques mécaniques, les conditions technologique de préparation du mélange, choix des moyens et modes de mise en œuvre, et le comportement du matériau sous les différentes formes de chargement « statique, dynamique ou autres »

Les résultats obtenus se résument comme suit :

- Pour une teneur en volume inférieur ou égal à 30 kg/m^3 la résistance mécanique est optimum ; une augmentation sensible du taux en volume de fibre « jusqu'à 50 kg/m^3 » ne donne qu'une faible croissance en résistance. Dépassant ce taux la résistance mécanique chute rapidement avec difficultés de mise en œuvre, mal disposition des fibres, et augmentation du coût « coût élevé des fibres »
- Une fibre aussi longue permet un très bon encrage mais influe sur l'ouvrabilité du mélange ; la limitation de l'élancement $\frac{l}{\phi}$ demeure nécessaire.
- Le sens et la répartition des fibres dans la matrice sont aléatoires ce qui rendre impossible que les fibres remplacent le ferrailage traditionnel, mais ils peuvent contribuer à la reprise de certains efforts engendrés par la température, retrait, fluage.....etc.
- Les éléments de construction en BFM ont un comportement meilleur sous les différents chargements et actions.

Le présent travaille vise à étudier le facteur coût qualité de deux poutres continues réalisées en BFM dont une renforcé totalement, et l'autre renforcée uniquement en zones tendues les résultats sont encourageants.

ABSTRACTS

There is not a long time that researchers in the civil engineering « option materials » believed that it will be possible to replace the traditional reinforcement placed in tension zones by a discontinuous reinforcement of metallic fibers with a defined sections and lengths, without any impact on the capacity and the cost of structural elements. « cost–quality equal »

The intensive efforts especially opened by USA and JAPAN researchers to identify the mechanical properties, technological conditions for the fabrication, choices the suitable methods to casting, and the behavior of the material under the different shapes of loading « static, dynamic or others ».

The gotten results sum up like suit:

- For a rate in volume lower or equal to 30 kg/m^3 the mechanical resistance is optimum; the increased of the rate in volume of fiber « to 50 kg/m^3 » gives a weak growth only in resistance. Passing this rate the mechanical resistance falls quickly appropriate with difficulties in casting, pain disposition of fibers, and increase of the cost « cost raised of fibers s».
- An as long fiber permits a very good enrage but influences on the workability of the mélange; the limitation of the twinge stays necessary.
- The sense and the distribution of fibers in the matrix are uncertain that to make impossible that fibers replace the traditional reinforcement, but they can contribute to the certain effort resumption generated by the temperature, withdrawal, creep..... etc.
- Elements of construction in BFM have a best behavior under the different loading and actions.

The present works aims to study the factor cost-quality of two continuous beams achieved in BFM of which a reinforced, and completely the other reinforced solely in zones offered results are encouraging.

SOMMAIRE

Chapitre I

INTRODUCTION

1.1. Généralités	1
1.2. Historique	2
1.3. But de la recherche	4
1.4. Programme de travail	5
1.5. Forme et Dimensions des éprouvettes	5
1.6. Eprouvettes et périodes d'examen	5
1.7. Calcul des moments d'appuis et de travées	6

Chapitre II

CARACTERISATION DES MATERIAUX

2.1.0. Béton – Mortier	
2.1.1. Propriétés des constituants	9
2.1.2. Composition de béton	
14	
2.1.3. Méthodes de composition	15
2.2.0. Fibres	18
2.2.7. Rôles des F.M dans la matrice	23
2.3.0. Béton de fibres métalliques « BFM »	24

Chapitre III

ETUDE EXPERIMENTALE

3.0.0. Formulation de béton	29
3.1.0. Spécifications des matériaux	29
3.1.1. Granulats	29
3.2.0. Calcul des pourcentages des constituants	34
3.2.1. Calcul du rapport $\frac{C}{E}$	34
3.2.2. Calcul de la quantité de ciment	35
3.2.3. Calcul des quantités des granulats	38

3.3.0. Confection des éprouvettes	40
3.4.0. Essais	41
3.4.1. Essai ultrason	41
3.4.2. Essais de flexion	42
3.5.0. Analyse statistique	44
3.5.1. Fonctions statistiques	44

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.0.0. Résultats expérimentaux	45
4.1.0. Essais de flexion	45
4.1.1. Eprouvettes prismatiques de 7*7*28 cm³	45
4.1.2. Spécimen prismatique de 10*15*60 cm³	52
4.2.0. Comportement	57
4.2.1. Eprouvettes prismatiques 7*7*28	57
4.2.2. Eprouvettes prismatiques 10*15*60	61
4.2.3. Courbes synthèses	64
4.2.4. Courbe synthèse « flexion à cinq points »	66
Analyse des résultats	
Conclusion	
Bibliographie	

CHAPITRE I

INTRODUCTION

1.1.GENERALITES :

S'abriter, se protéger de la nature, étaient et restera pour toujours le souci de l'être humain.

Durant son parcours sur terre, il utilisait tous les matériaux que la nature lui offrir à leurs états bruts ou après transformations et traitements (chimiques, physiques, mécaniques ou complexes) pour bâtir l'abri résistant, confortable, et durable en coûts réduits.

Le cumule des connaissances acquises au cours de sa recherche permanente pour la concrétisation de cet objectif ont permis la mise au point de différents matériaux et composés. L'un des composés fruit de ces recherches est le béton.

Le béton est un matériau hétérogène et anisotrope ; composé d'un mélange de liant, granulats, et eau ; Possède des qualités physiques, mécaniques, et technologiques, font de lui le matériau du 20^{iem} siècle.

Il résiste bien à la compression, et peu à la traction. Cet inconvénient a fait l'objet d'une longue recherche qu'a abouti à l'introduction dans les zones tendues d'un matériau résistant à la traction. La répartition des efforts (compression-traction) entre les deux matériaux devient possible par l'amélioration de l'adhérence béton-acier.

Ce système de renforcement vise à pallier l'apparition des fissures provoquées par les charges d'exploitations. La section, la direction, et la longueur de ferrailage sont donc fonctions de la grandeur, la direction, et la répartition des efforts engendrés.

Par contre existent d'autres actions externes provoquent des efforts de tractions internes de directions aléatoires, et de grandeur favorisant l'apparition des micros fissures.

Les scientifiques du domaine se sont penchés vers l'étude du phénomène.

Les différentes approches partagent les mêmes propos : Utilisation d'un renforcement discontinu de direction aléatoire, en pourcentage et longueurs appropriées compatibles avec le béton.

1.2.HISTORIQUE :

L'utilisation des renforts ne date pas d'aujourd'hui. La pisée (blocs d'argiles ou mélange argile-sable bien compacté) utilisait dans le temps était renforcé de la paille, de poiles d'animaux ou produits d'herbes hachées (alfa, disse, feuille de palmiers.)

Un procédé technologique basé sur des approches théoriques et expérimentales n'a été mis au point que vers la fin du 19^{iem} siècle.

Le présent résumé historique montre les efforts déployés par les scientifiques et technologues durant ces deux derniers siècles : [1][2][3]

- 1850 le Français LAMBOT a réalisé un bateau à partir d'un maillage de barres de petits diamètres protégés des deux cotés par une couche de mortier. Ce bateau exposait en 1855 à PARIS.
- En même période l'Américain HAUTT a effectué des essais sur des poutres armés ou il a fait une publication sur l'utilisation des barres d'acier avec le béton.
- 1861 le Français F.COIGNET a proposé la construction des dalles et buses avec utilisation du principe de fonctionnement du béton-acier.
- Le jardinier Parisien J.MONIER est considéré comme le paternel du béton armé. Il a construit un petit réservoir à partir d'une grille en acier round de petits diamètres couverts des deux cotés avec un mortier de ciment. (idée de LAMBOT)
- L'ingénieur Allemand FAYES et le professeur BOUCHENKO adoptaient l'idée de J.MONIER pour la réalisation des essais scientifiques afin de déterminer la capacité portante, la résistance au feu, et examiné l'adhérence acier-béton.
- En 1886 l'ingénieur KENOUN proposait la première méthode de calcul de dalles en BA en introduisant des barres en acier en zones tendues.
- En 1892 le Français HONNEBIQUE a introduit le BA dans les constructions, et commençait en 1897 a donné des conférences à l'école des ponts et chaussée de PARIS.
- Apres cette date les scientifiques du domaine (CONSIDERC « Finlande », MORSH « Allemand », SALIGER « Autriche », LAIOTON, KVOZDOV, PASTERNAK, MAURACHEV, MIKHAELOV « URSS»....) multipliaient leurs efforts qu'aboutaient à l'élaboration des méthodes de calculs, et procédés technologiques de mise en œuvres.

Méthodes de calculs:

- **Méthode classique ou méthode des contraintes admissibles : jusqu'à 1931 le calcul des éléments en BA était basé sur les formules du RDM avec l'adoption des hypothèses de :**
 - 1- **BERNOULI-NAVIER.**
 - 2- **Loi de HOCK.**
 - 3- **Négligence de la zone fissurée.**
 - 4- **$E_b = \text{constante}$, et $n = E_a / E_b = \text{constant}$.**
- **En 1932 le professeur A.LOLEITE « URSS » propose le calcul des éléments fléchés à l'étape de rupture « méthode de rupture.**
- **En 1934 et sur la base des travaux de recherches expérimentales du professeur A.GVOZDOV il a été décidé de tenir en compte des propositions de A.LOLEITE.**
- **En 1936 élaboration d'une norme de calcul à la rupture réalisait sous la responsabilité de A.GVOZDOV. « diagramme des contraintes en courbe »**
- **En 1944 P.PASTERNAK remplace le diagramme courbe des contraintes par une répartition rectangulaire.**
- **En 1955 les Soviétiques mettaient en place une nouvelle norme de calcul « méthode des états limites » ; Cette norme revue en 1962.**
- **La précontrainte comme procédé de construction était l'objet de différentes tentatives par : l'Américain JACKSON en 1886, DYURING en 1888, l'Autrichien MANDELL en 1896, et le Norvégien LOND entre 1900 et 1907.**

Le Français EUGENE FREYSSINET « 1879-1962 » est le premier qu'a met en exécution l'idée de la précontrainte en 1928.

Quant au béton de fibres nous enregistrerons les dates suivantes :

- **En 1874 BERARD présentait un brevet portant le renforcement du béton en fibres.**
- **En 1899 l'Autrichien LHATSHELC présentait un processus de fabrication d'éléments composites à base de ciment et d'amiante.**
- **En 1910 PORTER réalisa des essais sur le renforcement de béton en fibres d'acier ; et en 1911 par GRAHAM.**
- **En 1920 GRIFFITH présenta une étude portant sur les bétons renforcés en fibres de verre.**

1.3. But de la recherche

Les travaux de recherches menés étaient au départ axés sur la caractérisation du BFM dans le but de remplacer les armatures traditionnelles par des fibres. Sur le principe de base « coûts-qualités » égales, et compte tenu du coût élevé des fibres les résultats ont conduit à des faibles teneurs en fibres « 15 à 30 kg / m³. »

Ce taux de fibres n'a donné que de faibles résistances mécaniques ; par contre son augmentation n'a créé que des problèmes d'ordre technologique « ouvrabilité et difficultés de mise en œuvre. »

Les chercheurs multipliaient leurs efforts surtout en USA et au JAPON dans le but d'identifier d'une part les facteurs influents sur les propriétés mécaniques ; et d'autre part étudier son comportement sous les différentes actions statiques et dynamiques.

A l'université de MSILA plusieurs travaux de recherche portant sur l'identification et le comportement du BFM « déchets de fil d'attache, tôle cisaillée, fibres fraisées » avec utilisation des matériaux locaux ont été réalisés notamment par les chercheurs M.BIBI ; M.BEN CHEIKH.

Les travaux les plus récents la thèse de magister préparée par A.BEN YAHIA et encadré par le D^r M.BIBI portant sur « le comportement mécanique d'un béton renforcé avec des fibres métallique « déchets de fil d'attaches » ont conduit au résultat suivant :

Les valeurs optimum de la résistance à la compression et à la traction par flexion sont atteintes avec un renforcement de béton en fibres métalliques « fil d'attache » de longueurs de 30mm, et un taux de 3%.

En appuyant sur ces résultats et compte tenu du facteur « coût-qualité » le présent travail porte sur : étude de l'influence du renforcement par FM « fil d'attache » d'une poutre continue sur trois appuis en zones tendues sur la résistance, comportement du béton, et la consommation des fibres.

1.4. Programme de travail

Ce programme consiste à examiner le comportement mécanique d'un béton confectionné à partir des matériaux locaux à savoir :

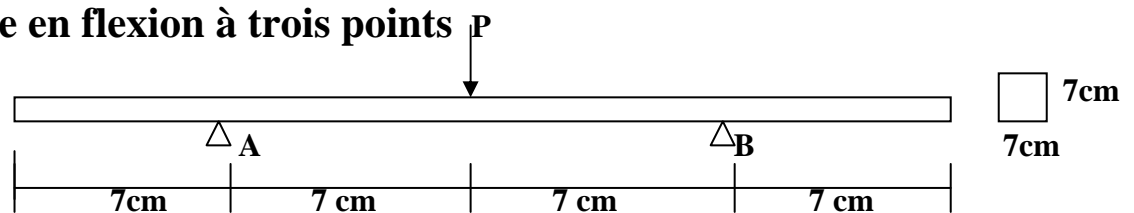
- Sable 0/3 de Boussaâda.
- Gravier provenant de la carrière d'Elaach.
- Ciment CPJ 45 de Ain Kebira.

Et renforcé par des déchets de fil d'attache de longueur de 25mm, et taux de 2.5% par m³.

1.5. Forme et Dimensions des éprouvettes

Deux types d'éprouvettes prismatiques de section carrée et rectangle « 7*7*28 cm³ » et « 10*15*60cm³. » La première examinée en flexion à trois points, et l'autre à cinq points. fig. I-1

Poutre en flexion à trois points



Poutre en flexion à cinq points

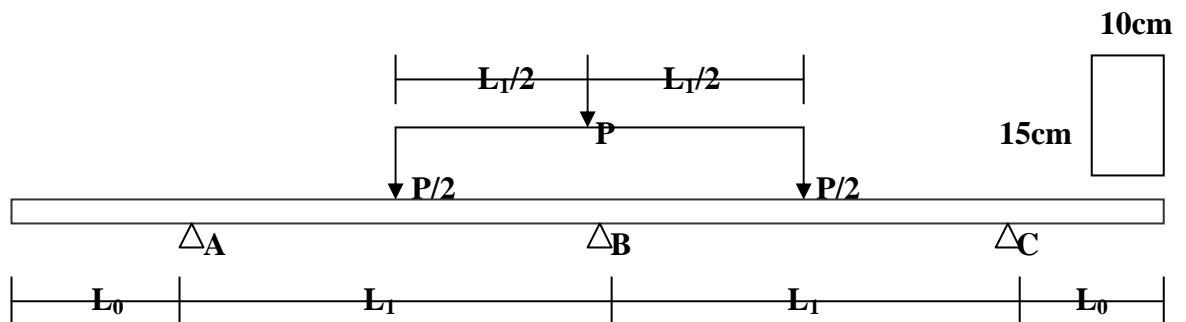


Figure I-1 : schéma de l'essai

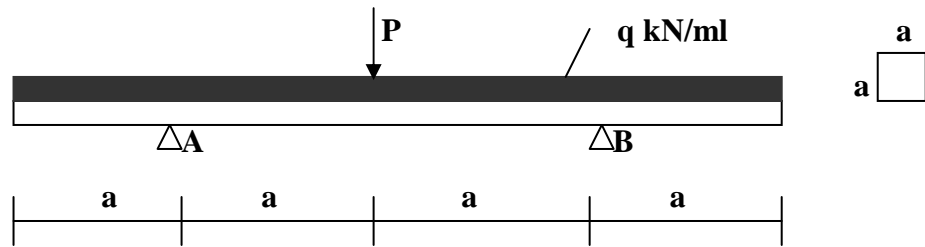
1.6. Eprouvettes et périodes d'examen

pour chaque type de béton 27 éprouvettes à examiner répartis comme suit :

- 9 éprouvettes sans fibres ; dont trois examinée à 21jours et six à 28jours.
- 9éprouvettes renforcées sur la totalité de la section au long de spécimen ; examinées en même périodes.
- 9 éprouvettes renforcées uniquement en zones tendues, et examinées en même périodes.

1.7. Calcul des moments d'appuis et de travées

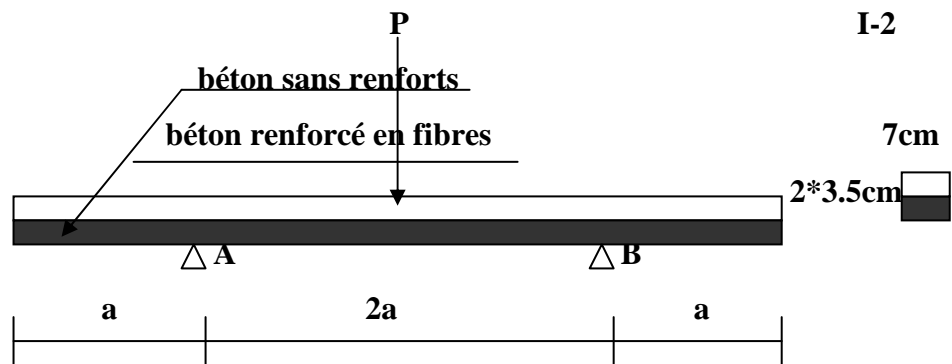
1. Poutre en flexion à trois points



$$M_A = M_B = q \cdot \frac{a^2}{2}$$

I-1

$$M_{AB} = \frac{P \cdot l}{4} = \frac{P \cdot a}{2}$$



I-2

fig. I-2 poutre à 3 points renforcée en zone tendue

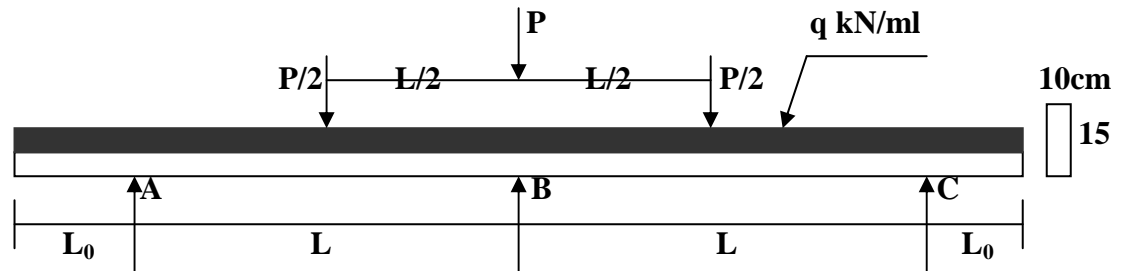
Le calcul de la contrainte maximum de traction par flexion est donnée par :

$$\sigma_{ft} = \frac{3.6 \cdot M}{a^3}$$

soit : $a = 70 \text{ mm}$; et M en $\text{kN} \cdot \text{m}$

$$\sigma_{ft} = 10.495 \cdot M \text{ MPa}$$

2. Poutre en flexion à cinq points



Par la méthode des trois moments on calcule les moments de flexion en appuis et en travées comme suit :

$$M_A * L + 2 * M_B * (L + L) + M_C * L = -\frac{6 * 2 * A * a}{L} = -12 * \frac{A * a}{L} \quad \text{I-3}$$

et comme A, a, M_A, et M_C sont égales à :

$$M_A = M_C = \frac{q * L_0^2}{2} \quad \text{I-4}$$

Pour une charge uniformément répartie les valeurs de, et a sont :

$$A = \frac{2 * q * L_0^2}{3 * 8} * L = \frac{1}{12} * q * L^3 \quad \text{I-5}$$

$$a = \frac{L}{2} \quad \text{I-6}$$

pour une charge concentrée appliquée à mi-travée les valeurs de A et a sont :

$$A = \frac{1}{2} * \frac{P * L}{2 * 4} * L = \frac{1}{16} * P * L^2 \quad \text{I-7}$$

$$a = \frac{L}{2} \quad \text{I-8}$$

par le remplacement des valeurs de A, et a données en 4, 5, 6, 7, et 8 l'équation I-3 devient :

$$\frac{q * L_0^2}{2} * L + 4 * M_B * L + \frac{q * L_0^2}{2} * L = -12 * \left(\frac{1}{24} * q * L^3 + \frac{1}{32} * P * L^2 \right) \quad \text{I-9}$$

$$M_B = -\frac{1}{4} * q * L_0^2 - \frac{1}{8} * q * L^2 - \frac{3}{32} * P * L \quad \text{I-10}$$

$M_{AB} = M_{BC} = M_T$ Le moment en travée.

$$M_T = \frac{q * L^2}{8} + \frac{P * L}{8} - \frac{1}{2} * \left[\frac{q * L_0^2}{2} + \frac{1}{4} * q * L_0^2 + \frac{1}{8} * q * L^2 + \frac{3}{32} * P * L \right] = \frac{q * L^2}{8} + \frac{5}{64} * P * L - \frac{1}{16} * q * L_0^2 \quad \text{I-11}$$

Posons $L_0 = \frac{L_{total}}{10} = \frac{60}{10} = 6 \text{ cm}$

D'où $L = 24 \text{ cm}$;

M_B et M_T sont données comme suit :

$$M_B = -0.0084 * q - 0.0225 * P \quad \text{I-12}$$

$$M_T = 0.007 * q + 0.01875 * P \quad \text{I-13}$$

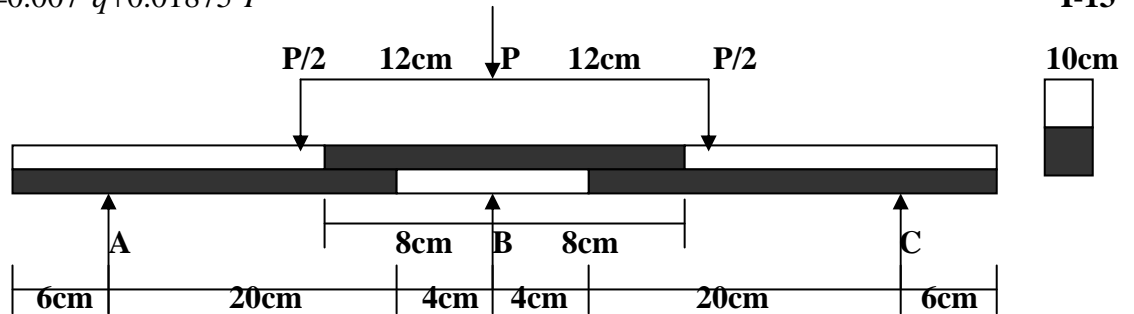


fig. I-4 poutre en flexion à cinq points renforcée en zones tendues

Conformément aux règles du B.A.E.L. la contrainte maximum de compression par flexion est calculée comme suit :

$$\sigma_{cf} * b * \frac{0.259^2 * h^2}{6} = M_u$$

d'où :

$$\sigma_{cf} = \frac{6 * M_u}{0.067081 * b * h^2}$$

Soit $b = 100 \text{ mm}$, et $h = 150 \text{ mm}$; et M_u en $\text{kN} * \text{m}$

$$\sigma_{cf} = 39.753 * M_u \text{ MPa} \quad [9] [15] [16] [21]$$

CHAPITRE II

Caractérisation des matériaux

« BETON – FIBRES – BETON DE FIBRES »

« origine – propriétés – composition – comportement »

2.1.0. Béton – Mortier

Deux matrices à base de ciment ; composées de ciment, granulats «sable-gravier », et eau en proportions convenables. A leurs états frais ont une plasticité satisfaisante favorise une mise en œuvre correcte permettant l'obtention d'un matériau de très bonnes propriétés physiques et mécaniques.

Les propriétés des deux matrices sont fonctions des propriétés physiques, mécaniques, tailles et formes des granulats, ainsi la fabrication, proportions, modes préparatoires du mélange, moyens de mise en œuvre, et conditions de conservation. (température humidité)

2.1.1. Propriétés des constituants :

1. Ciment

Matériau fin issu du broyage du clinker avec ou sans ajouts, mélangé à l'eau donne une patte plastique ; se durci dans des conditions de température et d'humidité.

Le clinker comme produit de la cuisson dans un four rotative à une température de 1500°C d'un mélange d'argile, calcaire, et matériaux minéraux possède une composition minéralogique complexe influence sur les qualités physiques et mécaniques du ciment.

Propriétés du ciment

- Consistance.
- Vitesse de prise et de durcissement.
- Résistance à la compression.
- Finesse de mouture (ou finesse de BLAINE exprimé en m^2/kg)
- Indice d'hydraulicité (ou indice de VICAT ou de basicité)

La consistance mesure le pourcentage massique de l'eau nécessaire pour l'hydratation du ciment et la formation d'une patte plastique. Mesurée à l'aide de l'appareil de VICAT avec utilisation d'une sonde.

La vitesse de prise et de durcissement mesure le temps que met un mélange eau-ciment en pourcentage massique déjà mesuré pour perdre complètement sa plasticité. Mesurée à l'aide de l'appareil de VICAT avec utilisation d'une aiguille.

A base des résultats des essais de prise la normalisation française « NF P 15-431 » donne le classement suivant aux ciments :

Qualification de prise	Temps de prise
Ciment à prise rapide	5 à 8 minutes
Ciment à prise demi-lente	8 à 30 minutes
Ciment à prise lente	30 minutes à 6 heures
Ciment à prise très lente	Plus de 6 heures

Tableau II-1 classification des ciments selon la vitesse de prise

Classe ou marque de ciment : caractérise la résistance à la compression mesurée sur un spécimen prismatique « 4*4*16cm³ » confectionné à partir d'un mélange « E : C : S » en proportions suivantes « 1 : 2 : 3 »

Le mode opératoire de l'essais est conformément à la norme « P 15-471 »

La classe de ciment utilisé dans le présent travail est le CPJ 45.

Finesse de mouture : définir la grandeur granulaire de ciment. Elle est caractérisée par la surface spécifique « m²/kg » ; mesuré en laboratoire à l'aide du perméabilimètre de BLAIN.

C'est un indice influant sur les qualités physiques et mécaniques de ciment (hydratation et résistance)

Indice de VICAT ou de basicité : par définition est le rapport massique entre les racines acides et les racines basiques des constituants d'un ciment ; noté I.

$$I = \frac{\%S_i O_2 + \%Al_2 O_3}{\%C_a O + \%M_g O_3}$$

Le système AFNOR a abandonné le classement de ciment à base de cet indice.

Pour les ciments au laitier les Soviétiques considèrent le laitier est alcalin si « I > 1 » ; et acide si « I < 1 »

2. Granulats

Matériaux inertes naturels ou artificiels forment environ 90% de la matrice à base de ciment ou de bitume. Les granulats naturels sont de provenance rocheuse soit par érosion « gravier roulé » ou, par traitement mécanique « concassage »

Les artificiels sont issus du concassage de laitier ; ils sont souvent utilisés en routes.

Principaux propriétés

- Masses volumiques
- Propreté
- Dureté
- Forme et angularité
- Taille et granularité

Masses volumiques

Selon leur masse volumique apparente les granulats sont classés-en :

1. Granulats légers ($450 < \rho \leq 800 \text{ kg/m}^3$) ; sont soumis aux recommandations de la norme « NF P 18-309 » ; et utilisés pour la confection du béton léger.
2. Granulats lourds ($800 < \rho \leq 1500 \text{ kg/m}^3$) ; sont utilisés pour la confection du béton lourd.

Propreté

La norme prohibe toutes les impuretés quel que soient leurs origines. Ils perturbent l'hydratation et la prise de ciment, et surtout nuire l'adhérence granulats-patte de ciment.

La catégorie du sable contient généralement un taux de fines dont leur diamètre est inférieur à « 0.5 mm » Ce taux mesure la propreté d'un sable ; il est mesuré en laboratoire par l'essai de l'équivalent de sable.

Le mode opératoire et les valeurs normatives sont fixés par la norme « NF P 18-598 »

Nous retenons les valeurs suivantes :

- $ESV \geq 80$ ramené à 75 pour le concassé.
- $ESP \geq 75$ ramené à 70 pour le concassé.

Dureté

Les qualités mécaniques des granulats sont essentiellement la dureté, et la friabilité du sable alluvionnaire.

La dureté d'un gravillon est la résistance à l'usure par abrasion ou attrition et choc. C'est un indice important surtout pour les granulats utilisés dans le revêtement des chaussées, bases aériennes, ouvrages maritimes, et la confection du BHP.

Elle est mesuré en laboratoire par l'essai soit de DEVAL « ou MICRO DEVAL » ou de LOS ANGLOS.

Le mode opératoire et les valeurs normative sont fixés par les textes suivants :

« NF P 18-572, 573, 574, et 576 »

Les valeurs de LA retenues pour un béton de $f_{c28} \geq 30$ MPa sont : $LA \leq 25$.

Forme et angularité

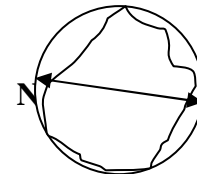
Selon les provenances du gravier les formes des grains d'un échantillon varient du cubique aux angles vifs et surfaces rigoureuses pour le concassé, à l'arrondi de surfaces lisse pour l'alluvionnaire. Entre les deux il y a les autres formes « aplati, allongé, aiguillette.. »

L'expérience a montré qu'avec l'utilisation d'un composé dont les grains ont l'un des formes « cubique ou arrondi » donnent des mélanges de très bonnes qualités physiques mécaniques et économiques.

En pratique la composition d'un échantillon contenant plusieurs formes ; seul le coefficient volumétrique moyen « c », et d'aplatissement feront la distinction.

La norme NF EN 933-3 et P 18-622.3 donnent :

$$c = \frac{v}{V} \quad \text{Ou } v = \text{volume absolu de l'échantillon ; et } V = \frac{\pi}{6} * \sum_{i=1}^{i=n} N_i^3$$



N est le diamètre de la sphère circonscrite la graine.

A partir des valeurs de rapport entre dimensions des grains «longueur L, largeur W, et épaisseur T ; ou $L > W > T$ »les grains sont classés comme suit :

$$\frac{W}{T} \geq 3 \quad \text{particules plates}$$

$$\frac{L}{W} \geq 3 \quad \text{particules allongées}$$

Le « LNTP » Algérien considère que la particule remplissant la condition : $L+W \leq 6T$

Est bonne pour l'utilisation en béton bitumineux.

La granularité

C'est l'opération qui permet la connaissance des tailles des grains et leurs pourcentages dans un échantillon de gravier. Cet opération se réalise mécaniquement à l'aide des tamis ou passoires.

La série des tamis ou passoires est voisine des termes d'une suite géométrique de raison

$$\sqrt[10]{10} \approx 1.259$$

Les deux systèmes de maillage sont convertibles entre eux : $D = \sqrt[10]{10} * C$

Ils sont remplacés par des modules « M » ou $M = \log D$; dont D est en μm .

A base de la norme XP P 18-540 les granulats sont classés en :

- Les fillers 0 / 0.08mm.
- Les sables 0.08 / 6.3mm.
- Les graves 0 / D dont $D > 6.3mm$.
- Les gravillons d / D dont $d \geq 1mm$; et $D \leq 125mm$.
- Ballast d / D dont $d \geq 25mm$; et $D \leq 50mm$.

Les sables sont caractérisés par un module de finesse « M_f » calculé comme suit :

$$M_f = \frac{\sum \%R_c(0.16;0.315;0.63;1.25;2.5;et5)}{100}$$

Les valeurs normalisées de M_f sont voisines de : $1.8 \leq M_f \leq 3.5$

La valeur optimum de M_f donnant une très bonne maniabilité, homogénéité, et résistance est de : 2.5 ± 0.35 [8] [14] [10]

2.1.2. Composition de béton

Les qualités de béton sont facteurs des qualités et quantités des composantes. Les quantités de ciment, sable, gravier, et eau pour une unité de volume de béton sont en fonction des rôles que joue chacun d'eux dans le mélange soit à son état frais ou durci. Les études expérimentales menues pour l'élaboration d'une méthode de formulation étaient toutes basées essentiellement sur les critères suivants :

1. C_g taille maximum des granulats.
2. La résistance à la compression.
3. L'ouvrabilité.
4. L'agressivité du milieu ambiant.

Ce sont les critères retenus par « NF P 18-305 »

Selon les recommandations du CEB la taille maximum « C_g » est prise comme suit :

Caractéristique de la pièce à bétonner	Valeur maximum de C_g
e espacement entre armatures principales	E
r rayon moyen des mailles de ferrailage	0.8r
R rayon moyen du moule	R
h_m épaisseur minimale de la pièce	$h_m/5$

Tableau II-2 donnant C_g maximum

La résistance caractéristique f_{c28} est calculée à partir de la résistance moyenne des résultats de contrôle « \bar{f}_{c28} » déduite de la valeur « k » fois l'écart type « s » en MPa sur l'ensemble des valeurs mesurées ; soit : $f_{c28} = \bar{f}_{c28} - k*s$

k facteur dépend de l'ordre du risque admis p% ; (p% pourcentage des valeurs risquant d'être inférieures à \bar{f}_{c28})

Les tableaux II-3 et II-4 donnent les valeurs de « k » et « s » selon le fascicule 65A

Ordre du risque p%	1	5	10	20	50
Valeurs de k	2.33	1.65	1.28	0.8	0

Tableau II-3 valeurs de k en fonction de p%

fabrication	Par lot	global
Très régulière et très bien contrôlée	< 3	< 5
Régulière et béton contrôlé	3 à 4	5 à 6
Irrégulière, contrôle inexistant ou inefficace	5 à 6	≥ 7

Tableau II-4 valeurs usuelles de l'écart type « s » en MPa pour un nombre n d'essais
La consistance de béton est une caractéristique définissant la facilité de mise en œuvre, mode de serrage, et moyens utilisés.

Elle est mesurée en laboratoire soit par l'affaissement du cône d'Abrahams ; ou par l'essai d'étalement « flow test » pour les bétons dont $C_g > 25\text{mm}$; ou par l'appareil VEBE.

La norme NF P 18-451 classe les bétons frais selon leur consistance comme suit :

Consistance de béton	Affaissement au cône en cm	Mode de serrage
Très ferme « TF »	≤ 2	Vibration puissante
Ferme « F »	3 à 5	Bonne vibration
Plastique « P »	6 à 9	Vibration normale
Très plastique « TP »	10 à 15	Simple piquage
Fluide « Fl »	>16	Léger piquage

Tableau II-5 : mode de serrage en fonction de la consistance de béton

2.1.3. Méthodes de composition

les différentes méthodes de composition peuvent être classées en deux familles :

1. Méthodes graphiques basées sur la comparaison des courbes de granulométries des composantes à une courbe optimale du mélange à sec.

« BOLOMEY ; FAURY ; DREUX ; DREUX-GORRIS..... »

2. Méthodes numériques basées sur des paramètres définis expérimentalement.

« ABRAHMS ; VALETTE ; JOISEL ; BARON-LESAGE ; BOLOMEY-SKRAMTAEIV.. »

Les méthodes graphiques sont généralement à granularité continue.

Quel que soit la méthode utilisée les résultats obtenus feront l'objet des corrections successives basées sur les contrôles de convenances. L'optimisation de ces méthodes se fait à partir d'un établissement d'un modèle mathématique testé « testes de statistique » et validé avec la méthode des plans d'expériences.

Dans le présent travail la formulation de béton est réalisée par la méthode de

BOLOMEY-SKRAMATAEIV. La taille granulaire maximum $C_g = h_m/5$.

Les éprouvettes utilisées sont de forme prismatique de dimensions : $7*7*28\text{cm}^3$; et $10*15*60\text{cm}^3$ ce qui conduit à utiliser deux catégories granulaires de taille maximum de 15mm, et 25mm.

Le béton préparé est régulier, et bien contrôlé sa résistance caractéristique $f_{c28} = 27\text{MPa}$ avec un risque de 20% d'avoir des valeurs inférieures ; L'écart type est donc 5MPa.

Ciment CPJ 45 ; avec dosage de $350 \text{ kg} / \text{m}^3$.

La résistance vraie de ciment est donc : $C_E = 45 + k*s = 45 + 0.8*5 = 49\text{MPa}$ (soit 50MPa)

La résistance moyenne du béton \bar{f}_{c28} est donnée comme suit :

$$\bar{f}_{c28} = f_{c28} + k*s = 27 + 5*0.8 = 31 \text{ MPa.}$$

Par application de la formule de BOLOMEY suivante :

$$f_{c28} = G * C_E * \left(\frac{C}{W} - 0.5 \right)$$

où :

C_E = la résistance vraie de ciment.

C et W sont le dosage de ciment, et la quantité d'eau en kg/m^3 .

G Coefficient granulaire varie de 0.45 à 0.65 dépend des provenances et qualités des granulats ; Il est évalué expérimentalement ; ou par la formule suivante :

$$G = 0.045 \sqrt[3]{10 R_G \frac{\varpi^2}{M_a}} + 0.126$$

où :

ϖ Masse spécifique des grains des granulats secs.

M_a Masse volumique apparente en vrac des granulats.

R_G Est la pression en MPa atteinte au maximum lors de l'enfoncement de 20mm en 135s, d'un piston dans un cylindre de 100cm^2 de section et 10cm de hauteur. (varie de 4 à 7MPa.)

Les valeurs de G pour un béton de plasticité courante (affaissement de 4 à 8 cm), et différentes dimensions maximums C_g sont données au tableau II-6.

Qualité des granulats	Fins $C_g \leq 16\text{mm}$	Moy $20\text{mm} \leq C_g \leq 40\text{mm}$	Gros $C_g \geq 50\text{mm}$
Excellent	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau II-6 donnant le facteur granulaire G

Le rapport $\frac{C}{W}$ est donné comme suit :

$$\frac{C}{W} = \frac{f_{c28}}{G^* C_E} + 0.5$$

Pour une qualité courante des granulats et : $20\text{mm} \leq C_g \leq 40\text{mm}$; $G=0.5$. [10]

2.2.0.FIBRES

1. Origine :

Les fibres sont soit d'origine naturelle ou artificielle.

Les fibres naturelles sont d'origine :

- Animales (poils, soies, laines, crins)
- Végétales (chanvre, coton, jute, lin)

Les fibres artificielles sont d'origine :

- Organique (aramide « kevlar », carbone, polypropylène, polyamide « nylon »...)
- Minéralogique (amiante, verre, carbone, métallique, fonte amorphe)

2. Forme

Les fibres sont présentés sous différentes formes selon l'objectif et domaine d'utilisation.

Nous faisons la distinction entre les fibres de renforts pour les matériaux composites et ceux utilisés avec béton et mortier.

Les fibres employées en composites ont une forme filament «tissus en quatre directions » allant de la particule allongée à la fibre continue ; la teneur en volume des fibres est de 20% à 80%.

Les fibres utilisées avec les matrices à base de ciment sont soit en métallique « acier fonte amorphe », en amiante, en verre, en carbone, ou en polypropylènes. Elles sont coupées à des longueurs jusqu'à 60mm ; de section circulaire, carrée ou, rectangulaire ;

La teneur en volume est de 2% à 6%.

3. Propriétés

les principales caractéristiques physiques, et mécaniques des fibres les plus utilisées dans le domaine de génie civil et travaux publics sont résumées au tableau II-7 :

Nature de fibre	Φ en μm	ρ en $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$	E en 10^3MPa	Résistance à la traction MPa	Allongement à la rupture en %
Amiante	0.02 à 20	2.55	165	3 à 4.5	2 à 3
Verre	9 à 15	2.6	70 à 80	2 à 4	2 à 3.5
Graphite	8 à 9	1.9	240 à 415	1.5 à 2.1	0.5 à 1
Acier	5 à 500	7.84	200	1 à 3	3 à 4
Polypropylène	20 à 200	0.91	5 à 7	0.5 à 0.75	20
Aramide	10	1.45	65 à 133	3.6	2.1 à 4

Tableau II-7 caractéristiques principales des fibres de renforcement du béton et mortier

4. Critères de choix des types de fibres :

La nature, la forme, et les propriétés chimiques, physiques, et mécaniques des fibres choisis dépend de :

- La qualité a conférée à la matrice cimentaire.
- La compatibilité avec les composantes de la matrice « ciment-granulats »
- Une bonne adhérence avec la matrice cimentaire.
- Conservation de leurs propriétés dans le temps.

Les fibres en amiante utilisées avec le ciment ont prouvées la bonne tenue, et la durabilité du composite dans le temps ; Par contre les fibres de verre leur performance mécanique chute par la réaction de ciment sur le verre (effet des alcalins) Malgré que ce problème est solutionné en partie par une mise au point d'un verre à haute teneur en zirconium l'utilisation des fibres de verre est toujours limitée au mortier de ciment non taloché.

Les fibres de nylon et polypropylène sont instables devant l'action des rayons ultraviolets ils doivent être protégés.

La technologie du béton armé a montré que l'acier a une très bonne compatibilité avec le béton :

- **Protection par le ciment.**
- **Bonne adhérence.**
- **Coefficient de dilatation est presque le même.**
- **Grande résistance.**

Par leurs propriétés et qualités les fibres métalliques sont les plus adaptables et les plus utilisées avec la matrice de béton.

5. Fibres métalliques

Les fibres métalliques ils sont soit en acier ou, en fonte amorphe ; utilisées comme renforts au béton soit sous formes de bâtons droit de section circulaire, carrée ou,, rectangulaire avec une surface lisse ou fraisée ; soit sous formes non linéaires avec des emboutis aux extrémités. « Figure II-1 »

Les fibres tréfilées ont été utilisées pour l'évaluation de l'indice de toughness « effet de l'action répété de flexion et torsion »

6. Propriétés des fibres métalliques

1. Géométriques

- La longueur est comprise entre 6 et 60 mm.
- les sections des fibres métalliques sont :
 1. Circulaire « $\phi=0.15\text{ à }1.2\text{mm}$ »
 2. Carrée ou, rectangulaire (0.5*0.5mm à 1*1mm)
 3. Pour les fibres fraisées le diamètre équivalent est $\sqrt{\frac{4*\text{section}}{\pi}}$ de 0.5mm à 1mm.

2. Physiques

L'adhérence fibre-béton est la propriété physique la plus essentielle ; elle est assurée par les qualités physiques de la fibre « fibres droites » ou, par utilisation des fibres possédantes des emboutis aux extrémités « crochets ou formes de tête d'hameçon », et ceux de formes ondulées ou fraisées.

3. Mécaniques

Selon la nature de l'acier la résistance à la traction varie entre 340 à 2400 N/mm². Par contre « les fibres métalliques ont un module d'élasticité élevé qui est de l'ordre de dix fois celui du béton. Il est donc possible de mobiliser la résistance à la traction des fibres et d'améliorer ainsi la ductilité du béton, on augmentant la déformation à la rupture..»

Les files d'attaches utilisés dans le présent travail ont :

$$\sigma_{en}=2.12\frac{kN}{mm^2}$$

$$\sigma_r=2.17\frac{kN}{mm^2}$$

$E=$ Module de YOUNG.

2.2.7. Rôles des F.M dans la matrice

Les propriétés conférées au béton, et au mortier sont généralement :

- Augmentation de la résistance à la compression ou la résistance à la flexion « résultats limités »
- Contrôle la fissuration du béton en état de service par réduction de leurs ouvertures.
- Déférent ou retardent et contrôlent le développement des micros fissures dues aux retraits, température, gel dégel....etc.
- Assure la couture des fissures par la transmission des efforts entre ses lèvres au lieu de s'infléchir autour. Voir figure II-2
- Amélioration de la résistance au choc.
- Bonne ténacité, endurance, et durabilité.

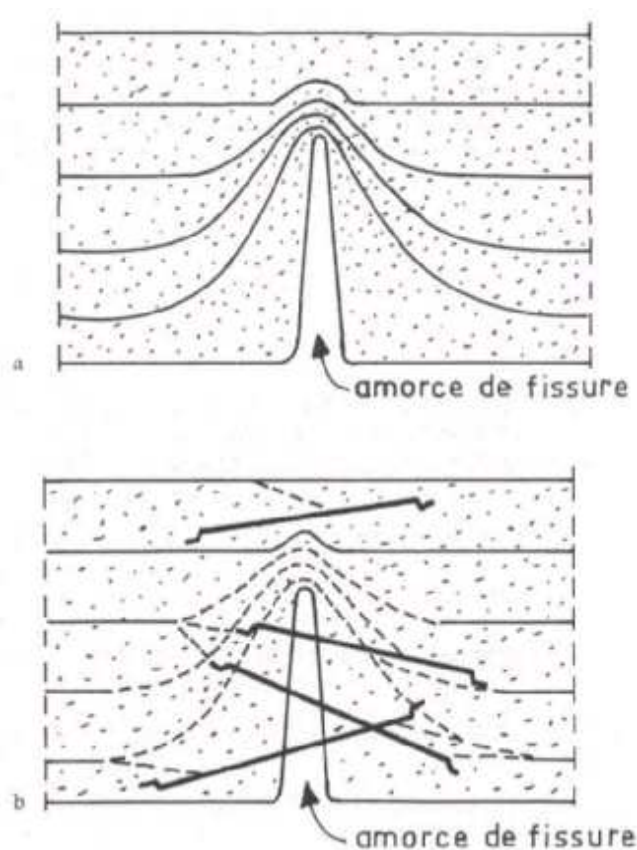


figure II-3 fonction des fibres d'acier

[1] [4] [5] [6] [7] [11] [12] [17]

2.3.0. Béton de fibres métalliques « BFM »

- Propriétés et comportement.
- Composition.
- Mise en œuvre.
- Domaines d'utilisation.
- Durabilité du BFM

A travers la bibliographie les propriétés du BFM sont liées directement à son ouvrabilité et moyens de mise en œuvre. Cet ouvrabilité est facteur de : La teneur en volume, l'élanement ($\frac{l}{d}$), la géométrie, et la surface des fibres.

« à maniabilité fixée on peut soit introduire un dosage important de fibres courtes, soit un dosage faible de fibres longues»

En effet pour la même valeur (ou voisine) du rapport ($\frac{l}{d}$) le nombre de fibres courtes augmente et leur surface spécifique aussi ; ce qui développe un frottement important entre matrice-fibres mais avec une probabilité élevée que les fibres se contactent entre eux.

L'ouvrabilité du BFM de teneur en volume inférieur à « 30 kg /m³ » peut se mesurer avec

l'affaissement du cône d'Abrahams « slump test »

Pour une teneur supérieur l'ouvrabilité se mesure à l'aide des instruments qui font appel à la vibration « maniabilimètre LCL, flow test, VEBE »

Les moyens de mise en œuvre de BFM influent beaucoup sur :

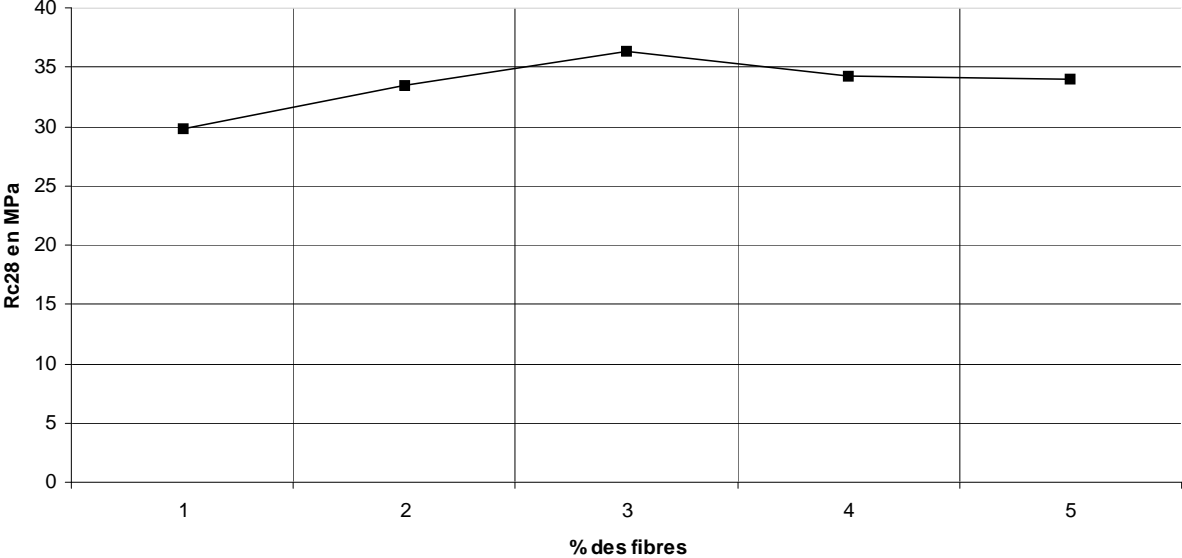
1. L'orientation des fibres dans le sens préférentiel.
2. évitement de tout effets nuisibles «effets de voûte, de cheminé, ségrégation...etc.»

Il est donc nécessaire de choisir ces moyens selon les dimensions et types des structures.

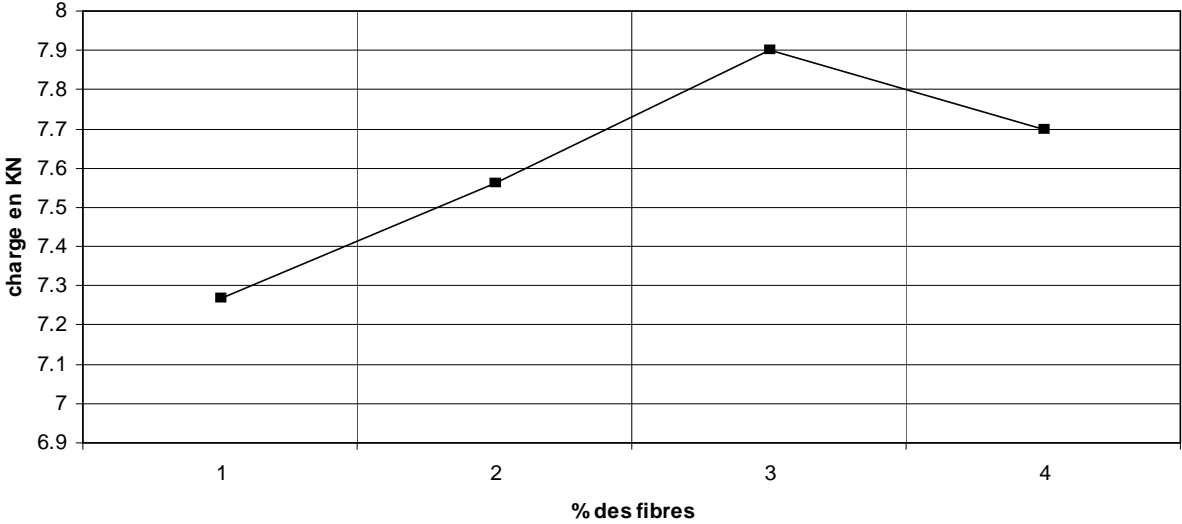
L'introduction des fibres métallique avec la matrice du béton n'améliore pas d'une façon sensible les propriétés mécaniques « résistance à la compression, et à la traction axiale ou par flexion » du béton.

Les graphes 1 et 2 résument les résultats de l'étude d'identification d'un béton renforcé en FM « fil d'attache »

influence du % des fibres sur la résistance à la compression



influences du % de fibres sur la résistance à la flexion



Graphe II-1 et 2: influence du % des fibres sur la résistance à la compression et à la flexion

En effet les propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion) du BFM sont légèrement élevées en comparaison à ceux d'un béton normal (sans fibres)

La présence e des fibres donnent « une meilleure répartition des micro-fissures et une résistance résiduelle qui dépend du taux de fibres, son élancement, et l'adhérence au béton »

Le comportement du BFM à l'effort tranchant par flexion (contrainte principales de traction) est nettement amélioré.

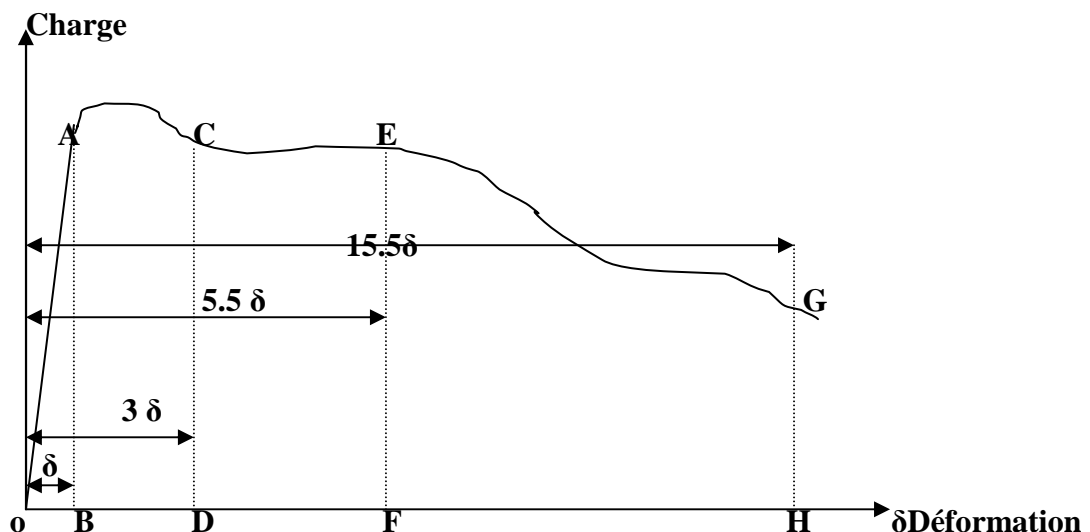
Les fibres contrôlent la fissuration en état de service, et reprennent en partie le rôle des étriers. Son comportement à la rupture devient ductile avec « le maintien d'une résistance à la traction après la fissuration...matériau à fissuration contrôlée »

Le comportement ductile d'un matériau est sa capacité de se montrer sous charges à peu près constantes des déformations excédant largement la limite élastique. Il est caractérisé par un palier de ductilité.

Ce comportement élasto-plastique est caractérisé par la ténacité.

L'indice de ductilité est le rapport de l'énergie absorbé pour atteindre une déformation(x) à l'énergie absorbée jusque l'apparition de la première fissure. « ASTM C1018-85 »

La ténacité mesure l'énergie nécessaire pour provoquer la rupture d'un spécimen de dimensions bien définies. Graphe II-3



Graphe II-3 schéma de calcul de l'indice de ténacité

[4] [11] [12] [18] [20]

1. Composition du BFM

La présence des fibres dans la matrice de béton influent beaucoup sur son ouvrabilité; plus les valeurs élevées du taux de fibres, de C_g , et de l'élancement l'ouvrabilité est moins bonne.

Il est donc nécessaire de prendre les précautions suivantes lors de la formulation du BFM :

- Limitation du rapport « $\frac{S}{S+G}$ » à 0.5 maximum.
- Limitation de C_g
- Eviter l'utilisation des aiguilles vibrantes « utilisation des règles vibrantes », et le talochage afin d'éviter l'apparition des fibres en surface.

Les méthodes de composition de la matrice sont ceux connues en MC ; quant au taux en volume maximum des fibres est calculé expérimentalement.

L'une des formules donnant le taux maximum p est la suivante :

$$p \frac{l}{d} < C_m$$

p dosage en volume.

C_m facteur d'interaction fibres/granulats déterminé comme suit :

$$C_m = \sum_1^n (P_g)_n * (C_g)_n$$

$(P_g)_n$ Est le dosage du granulat n «ciment non comprise » $\sum_1^n (P_g)_n = 1$

$(C_g)_n$ Coefficient d'interaction. [11] [12]

2. Mise en œuvre du BFM

Les travaux des recherches menés étaient tous axés sur l'utilisation des moyens de mise en œuvre permettant la disposition, le maintien des fibres dans le sens préférentiel, et la préparation d'un gâché à ouvrabilité convenable à la non-utilisation de moyens de serrage « affaissement de 4 à 8cm »

L'utilisation des vibreurs est toujours suivie de certains effets indésirables « effet de voûte, de cheminé, de ségrégation, et appauvrissement des fibres »

L'orientation préférentielle des fibres est généralement liée à :

- Techniques de mise en œuvre adoptées.
- Les effets d'écoulement du BFM.

Les techniques de mise en œuvre sont :

- Béton coulé « en pompe, une benne ou, godet à manchon »
- Béton projeté.
- Béton placé à l'aide d'une pelle ou d'une fourche.

C'est le béton s'écoule facilement dans le coffrage soit par gravité ou, sous l'effet de vibration les fibres s'orientent au sens de l'écoulement.

3. Domaine d'utilisation du BFM

Les applications du BFM sont multiples ; on cite les principales :

- Dallages industriels armés ou non.
- Chaussées, pistes d'atterrissage des aéroports sans joints, dalles des ponts mixtes, parking.
- Assises de machines.
- Bétons projetés.
- Bétons de sécurité civils ou militaires.
- Bâtiments et préfabrication en particulier :
 1. Eléments porteurs ou non, y compris alléges, acrotères, gardes corps.
 2. Eléments de partition, cloisons, voiles de remplissages.
 3. Eléments de structures à 3D, garages, Bungalows.
 4. Tuyaux.

- Certains pieux forés.
- En dehors du génie civil :
 1. Fossés toutes eaux.
 2. Les caveaux funéraires monoblocs.
 3. les séparateurs d'hydrocarbure.....etc. [12] [19]

CHAPITRE III

ETUDE EXPERIMENTALE

3.0.0. Formulation de béton

Dans le présent travail on utilise la méthode des volumes absolus pour la composition d'un béton à partir des matériaux locaux à savoir :

- Sable 0/3 de Boussaâda ;
- Gravier concassés de la carrière d'Elaache ;
- Ciment CPJ 45 de Ain Kebira ;
- Fibres métalliques « fil d'attache »

3.1.0. Spécifications des matériaux

3.1.1. Granulats

La composition granulaire du mélange à sec des constituants doit être continue et s'inscrit dans un fuseau normalisé ; une étude de formulation de ce mélange est donc nécessaire. Les études d'identification des matériaux réalisaient au laboratoire conformément aux prescriptions de la normalisation Française « AFNOR » à savoir :

- P 18-551 relatif au prélèvement sur stocks ;
- P 18-552 relatif à la préparation pour essais ;
- P 18-555 relatif à la mesure de « ρ , ρ_0 , σ , ε »
- P 18-573 relatif à l'essai de dureté « Los Angeles »
- P 18-598 relatif à l'essai de propreté « équivalent de sable »
- NF EN 933-1, 2 et 3 relatif aux granularité, angularité, et formes des granulats.

Ont données les résultats suivants.

1. Sable

- Mesure de ρ et ρ_0
- ρ masse volumique apparente = 1.63 T/ m³
- ρ_0 masse volumique absolue = 2.608 T/m³

calcul de la compacité « σ » et la porosité « ε »

$$\sigma = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{1.63}{2.608} = 0.625$$

$$\varepsilon = 1 - \sigma = 1 - 0.625 = 0.375$$

• **Mesure de propreté**

ESV = 78 %

ESP = 72%

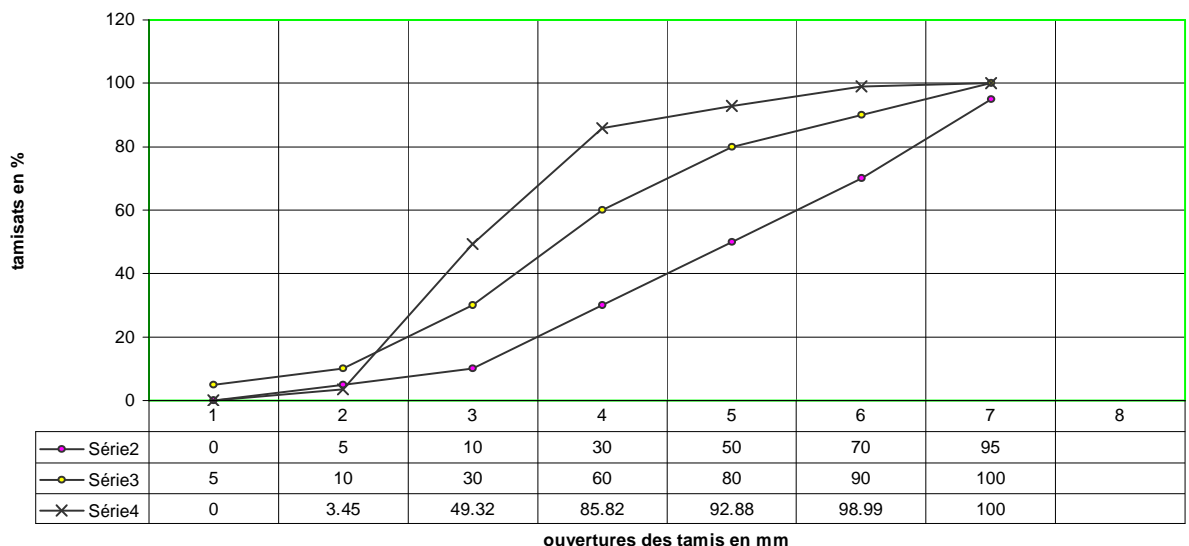
Dont : $ES = \frac{78+72}{2} = 75\%$

C'est un sable propre convenable au béton de qualité.

• **Granularité**

une analyse de granulométrie d'un échantillon pris et réalisé conformément aux normes citées en haut donne les résultats représentés en graphe III-1 :

courbe granulométrique du sable venant de bousaada [4]



Graphe III-1 granularité du sable utilisé avec le fuseau de spécification

A travers le graphe le sable utilisé est très fin ; la courbe est hors fuseau.

Le module de finesse est le suivant :

$$M_f = \frac{1.94+9.55+17.3+49.05+76.1+98.8}{100} = 2.53$$

c'est une valeur située à l'intérieur de la fourchette de normalisation à savoir :

$$1.8 \leq M_f \leq 3.5$$

2. Graviers

- **Taille maximum C_g du gravier**

Les essais expérimentaux seront opérés sur deux types d'éprouvettes prismatiques $15*10*60 \text{ cm}^3$ et $7*7*28 \text{ cm}^3$.

La valeur de C_g des granulats dépend d'un ensemble de facteurs y compris la longueur des fibres ; elle est prise conformément aux recommandations du CEB portées au tableau II-2 soit : $C_g \leq \frac{h}{5}$.

Deux mélanges de gravier utilisés « 3/8 + 8/15 » et « 3/8 + 8/15 + 15/25 » ; les mélanges à sec de l'ensemble des granulats « S + G » doivent s'inscrire à l'intérieur des fuseaux de normalisation.

- **Dureté des granulats**

Par manque de moyen cet essai n'a pas été effectué ; mais une étude bibliographique de l'ensemble des travaux de recherches réalisés au laboratoire du GC de l'université de MSILA montre que le LOS ANGLES des granulats venant de la carrière d'Elaach est inférieur à 35 ; Valeur recommandée par la NF.

- **Mesure de ρ et ρ_0**

le tableau III-1 résume les résultats des essais :

Classe du granulat	ρ T/m ³	ρ_0 T/m ³	σ %	ε %
3/8	1.38	2.61	53	47
8/15	1.3	2.67	49	51
15/25	1.31	2.632	50	50

Tableau III-1 : résultats d'identification des graviers

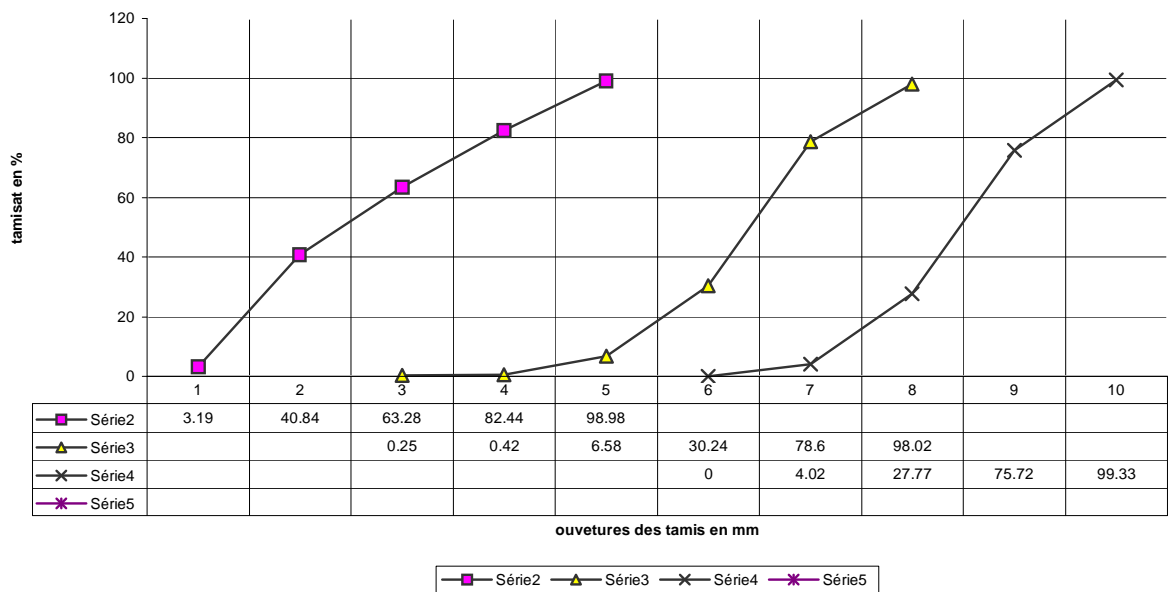
• Granularité

Le gravier utilisé pour la composition de béton est de granularité continue ; ce qui conduit à l'utilisation d'un mélange de trois ou deux classes granulaires à savoir :

« 3/8 + 8/15 + 15/25 » et « 3/8 + 8/15 »

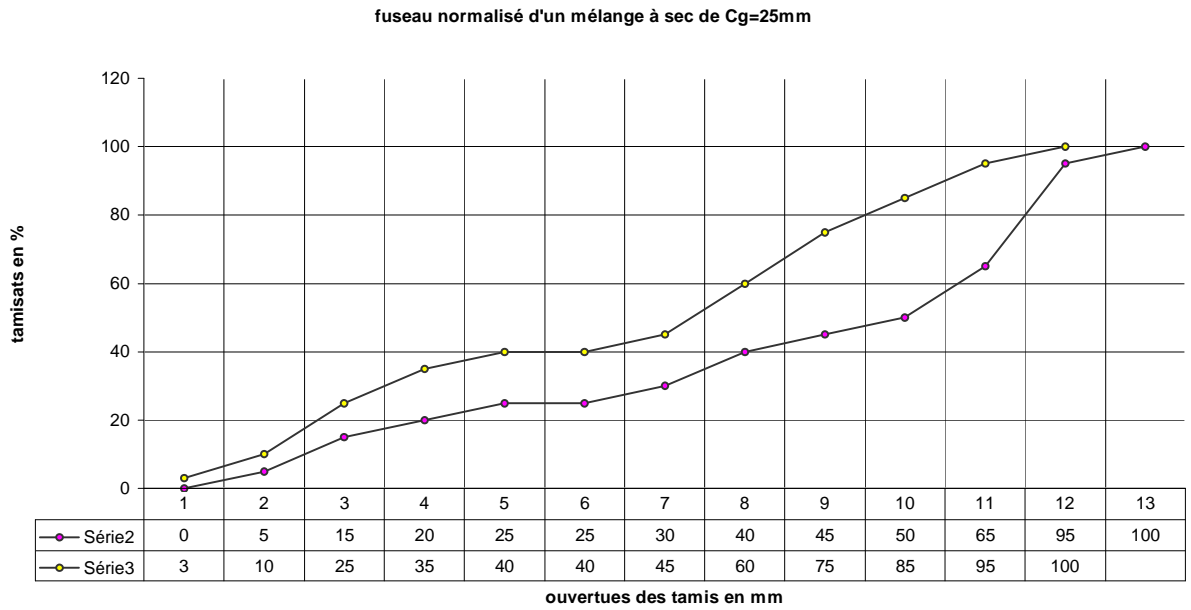
Les résultats de l'analyse de granulométrie sont représentés en graphe III-2.

courbes de granulométries du 3/8;8/15;15/25

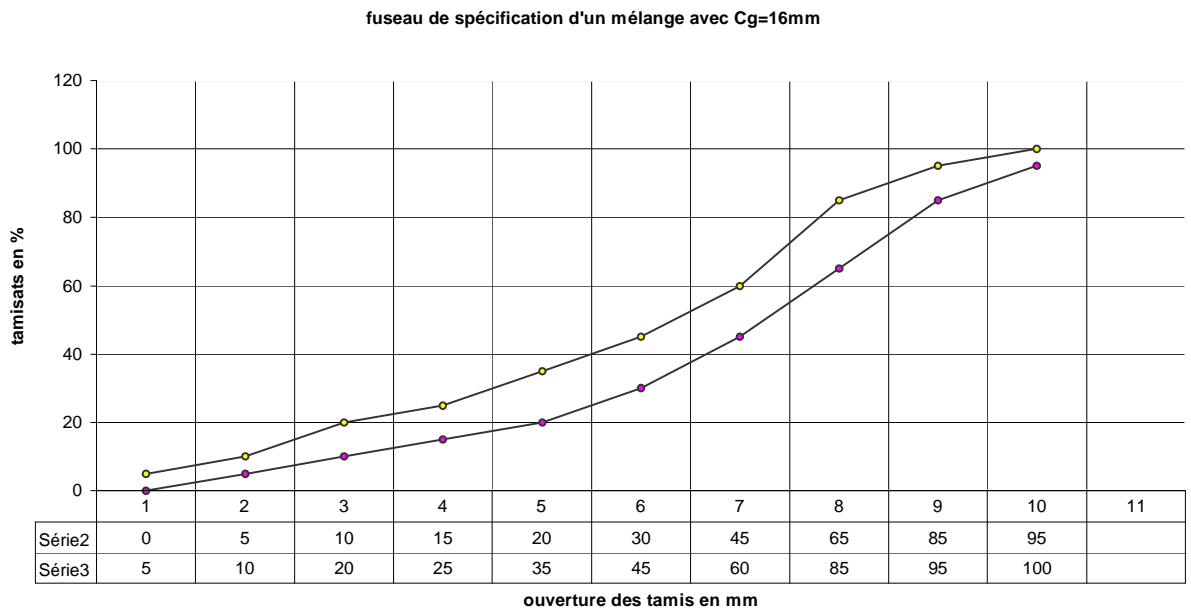


Graphe III-2 : courbes de granulométries du 3/8 ; 8/15 ; et 15/25

La détermination du % de chacun sera effectuée de façon à ce que la courbe du mélange doit s'inscrire à l'intérieur des fuseaux normalisés suivants :



Grphe III-3 : fuseau normalisé d'un mélange à sec dont $C_g=25\text{mm}$



Grphe III-4 : fuseau normalisé du mélange à sec dont $C_g=16\text{mm}$

3. Ciment

Le ciment utilisé est le CPJ 45 produite par la cimenterie d'Ain Kebira. Sa masse volumique absolue est prise à 3.1 T/m³.

La résistance vraie « C_E » du ciment est calculée à partir de la formule suivante :

$$\sigma_{c28} = C_E - k * s$$

σ_{c28} est la résistance caractéristique du ciment = 45 MPa

k est un facteur dépend de l'ordre du risque d'avoir des valeurs inférieures à C_E ;

k=1.64 pour un risque de 1%

s est l'écart type pris 5 MPa

$$C_E = 45 + 5 * 1.64 = 53.2 \text{ MPa}$$

3.2.0. Calcul des pourcentages des constituants

3.2.1. Calcul du rapport $\frac{C}{E}$

A partir de la formule de BOLOMEY :

$$\bar{f}_{c28} = G * C_E * \left(\frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

D'où : $\bar{f}_{c28} = f_{c28} + k * s$

f_{c28} Est la résistance caractéristique du béton prise à 27 MPa.

k = 0.8 pour un risque de l'ordre de 20 % ; et s = 5 MPa

$$\bar{f}_{c28} = 27 + 0.8 * 5 = 31 \text{ MPa}$$

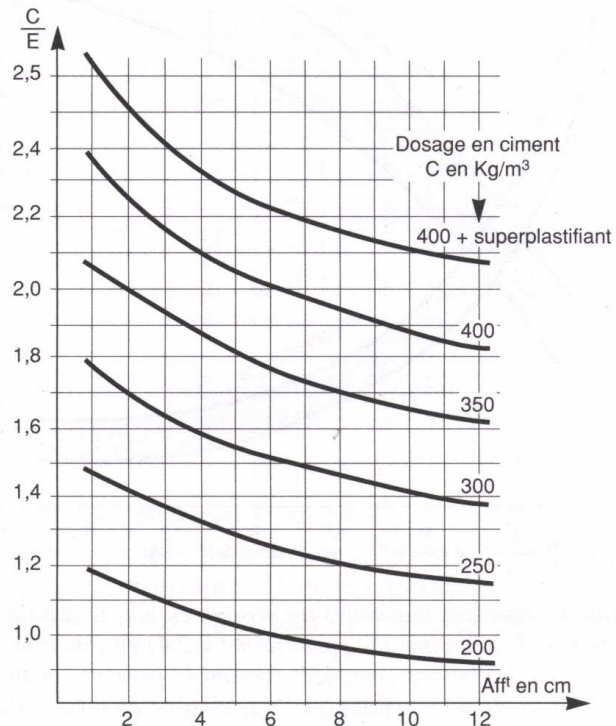
G coefficient granulaire pris à 0.5 « tableau II-2 »

De la formule de BOLOMEY $\frac{C}{E}$ est égal à :

$$\frac{C}{E} = \frac{\bar{f}_{c28}}{G * C_E} + 0.5 = \frac{31}{0.5 * 53.2} + 0.5 = 1.76$$

Calcul de la quantité de ciment

La quantité de ciment est facteur de $\frac{C}{E}$ et l'affaissement A désiré ; elle est calculée à partir de l'abaque du graphe III-5



Graph III-5 : abaque donnant le dosage de ciment en fonction de $\frac{C}{E}$ et l'affaissement A

Selon $\frac{C}{E}=1.67$ et un affaissement désiré de « 6cm \pm 1 » le dosage de ciment est de :

350kg /m³.

La quantité d'eau est donc : $E = \frac{C}{1.76} = \frac{350}{1.76} = 200 \text{ litres}$

3.2.2. Calcul des quantités des granulats

La somme des volumes absolus de l'eau E, du ciment C, du sable S, et du gravier G égale à 1m³ ou 1000 litres.

$$E + \frac{C}{\rho_{0c}} + \frac{S}{\rho_{0s}} + \frac{G}{\rho_{0g}} = 1000l$$

$$200 + \frac{350}{3.100} + \frac{S}{2.608} + \frac{G}{\rho_{0g}} = 1000l \tag{III-1}$$

Le volume des vides gré entre les grains du gravier avec un certain écartement sera occupé par le mortier :

$$200 + 113 + \frac{S}{2.608} = \frac{\epsilon_g * \alpha * G}{\rho_{0g}} \tag{III-2}$$

ρ_{0g} et ε_g représentent les valeurs équivalentes de la masse volumique absolue et la porosité d'un mélange des classes de gravier 3/8 ; 8/15 ; 15/25. ils sont calculés comme suit :

$$\varepsilon_g = \frac{0.47*2.61 + .51*2.67 + 0.5*2.632}{2.61 + 2.67 + 2.632} = 0.493$$

ρ_{0g} moyen arithmétique égal à :

$$\rho_{0g} = \frac{2.61 + 2.67 + 2.632}{3} = 2.64 T/m^3$$

α Coefficient d'écartement des grains de gravier, sa valeur est en fonction de qualité de ciment, et le rapport. Il varie entre 1.05 et 1.10 pour un mélange sec ; et entre 1.2 à 1.4 pour les mélanges fluides. Le tableau III-2 donne les valeurs de α .

Dosage en ciment	E/C=0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
250			1.26	1.32	1.38
300		1.30	1.36	1.42	
350	1.32	1.38	1.44		
400	1.4	1.46			

Tableau III-2 : valeurs de α

$$\frac{E}{C} = 0.6 \text{ d'ou, } \alpha = 1.44$$

l'équation III-2 devient :

$$200 + 113 + \frac{S}{2.608} = \frac{0.493 * 1.44 * G}{1.33} = 0.537 * G \quad \text{III-3}$$

La solution des deux équations III-1 et III-3 donne :

$$G = 1092 \text{ kg/m}^3$$

$$S = 713 \text{ kg/m}^3$$

Les pourcentages des constituants granulaires y compris le ciment sont donc :

$$S\% = \frac{S}{S+G+C} * 100 = \frac{713}{713+1092+350} * 100 = 33.1\%$$

$$G\% = \frac{G}{S+G+C} * 100 = 50.7\%$$

$$C\% = 16.2\%$$

$$\text{Vérification du rapport } \frac{S}{S+G} = 0.4 \leq 0.5$$

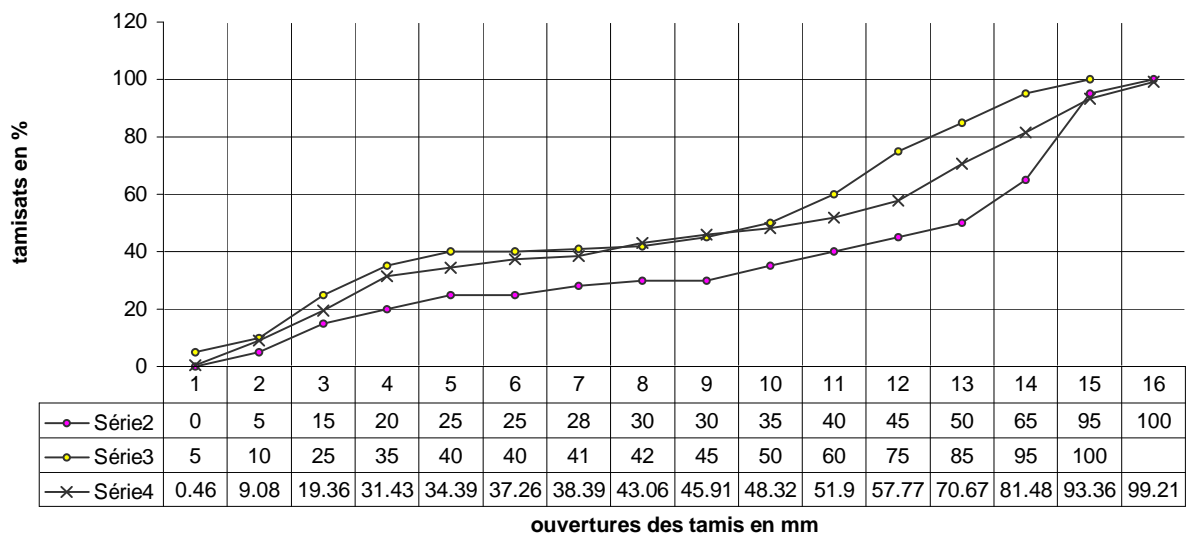
1. Composition des mélanges granulaires employés

Les mélange des granulats S+G « 0/3 + 3/8 +8/15 +15/25 » où « 0/3 + 3/8 +8/15 » doivent s'inscrire à l'intérieur des fuseaux de spécifications représentés en graphe III-3-4.

- mélange avec $C_g \leq 25\text{mm}$

Une proposition d'un mélange de gravier 3/8 : 8/15 : 15/25 de 20% : 40% : 40% donne une courbe de granulométrie du mélange « S+G= 39.5%+12.1%+24.2%+24.2% » située à l'intérieur du fuseau de spécification. Graphe III-6

fuseau de spécification d'un mélange des granulats sec de $C_g=25\text{mm}$



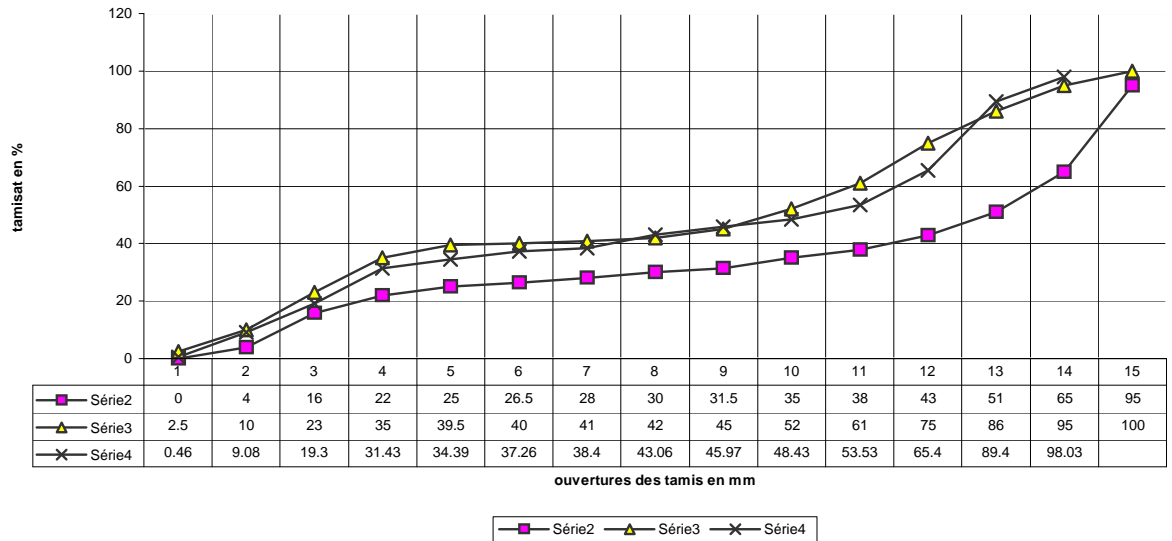
Graph III-6: courbe de granulométrie d'un mélange «0/3+3/8+8/15+15/25 »avec le fuseau

- mélange avec $C_g \leq 16\text{ mm}$

Pour que ce mélange s'inscrit à l'intérieur du fuseau plusieurs mélanges de graviers 3/8 : 8/15 examinés ; Le mélange qui répond au critère cité est de: « 40% : 60% »

Le mélange à sec S+G₁+G₂ proposé est représenté sur le graphe III-7.

mélange d'un composé de granulats 0/5;3/8;8/15



Graphe III-7 : courbe de granulométrie d'un mélange « 0/3+3/8+8/15 » avec le fuseau

2. Pourcentage massique des constituants

la masse volumique apparente théorique d'un m³ de béton frais est :

$$350 + 200 + 1805 = 2355 \text{ kg/m}^3$$

les pourcentages des matériaux ramenés à 1 m³ de béton frais sont :

- **Composition granulaire 0/3 : 3/8 : 8/15 : 15/25**

$$C\% = 14.86$$

$$S\% = 30.30$$

$$G_1\% = 9.26$$

$$G_2\% = 18.54$$

$$G_3\% = 18.54$$

$$E\% = 8.5$$

- **Composition granulaire 0/3 : 3/8 : 8/15**

$$C\% = 14.86$$

$$S\% = 30.30$$

$$G_1\% = 9.26$$

$$G_2\% = 37.08$$

$$E\% = 8.5$$

3. Poids des matériaux pour chaque gâché

- Spécimen de dimensions « $10*15*60 \text{ cm}^3$ »

Le volume du moule est : $0.009\text{m}^3 = 9\text{litres}$; soit donc 27 litres pour 3 éprouvettes.

Les masses des matériaux pour un gâché de 27 L sont :

$$C = 9.45 \text{ kg}$$

$$E = 5.9\text{kg}$$

$$S = 19.25 \text{ kg}$$

$$G_1 = 5.89 \text{ kg}$$

$$G_2 = 11.8 \text{ kg}$$

$$G_3 = 11.8 \text{ kg}$$

Le taux en volume des fibres est de: 2.5%

La masse des fibres pour un gâché est : 1.575 kg

- Eprouvette de dimensions « $7*7*28 \text{ cm}^3$ »

Le volume du moule est : 0.0014 m^3

Chaque gâché sert pour la confection de 6 éprouvettes ; soit donc 0.0084m^3

Les masses des constituants sont :

$$C = 2.27\text{kg}$$

$$E = 1.68 \text{ kg}$$

$$S = 6 \text{ kg}$$

$$G_1 = 1.83 \text{ kg}$$

$$G_2 = 7.34\text{kg}$$

La masse des fibres pour un gâché est de : 0.478 kg

Ces valeurs sont majorées de 15 à 20 % pour tenir compte des volumes des matériaux à l'état lâche.

N.B : les gâchés préparés ont donnés des affaissements de 4 à 6cm.

3.3.0. Confection des éprouvettes

1. Fabrication de béton

Pour chaque type de gâché les quantités des matériaux (sable, graviers, ciment) calculé au paragraphe 3.2.2.3. sont introduits dans le malaxeur ; une introduction par partie des fibres durant le malaxage à sec qui dure de 3 à 5 minutes s'avère nécessaire pour une bonne homogénéisation du mélange.

La quantité de l'eau de gâchage calculé est ajoutée au fur et a mesure des résultats des contrôles de la plasticité du béton (affaissement du cône d'Abrahms) ; Ce qui permet la correction de cette quantité.

2. Le moulage du béton

3. Moule de 7*7*28

Les éprouvettes renforcées uniquement en zones tendues sont divisées en deux dans le sens longitudinal par une plaque de tôle mince. Le remplissage des deux parties se fait par une truelle, et le serrage de béton par la table vibrante après l'enlèvement de la plaque.

L'arasement et le surfacage est réalisé par une règle métallique.

L'éprouvette sera démoulée après 24 heures et immergé à l'eau jusqu'au jours de l'essai. (Après 21 et 28 jours)

4. Moule de 10*15*60

Du coté de la dimension du 15 cm le moule sera divisé longitudinalement par une plaque en tôle mince en deux parties ; et à l'aide des plaques en tôle de largeur de 7.5 cm et hauteur Xcm les deux compartiments seront divisés en parties suivant le schéma de la figure I-4.

Les autres opérations (remplissage, serrage, rasage, surfacage) seront réalisées comme pour le moule de 7*7*28.

Le poids et les dimensions importantes de l'éprouvette rendent difficile le démoulage à 24 heures. En effet certains éprouvettes démoulées se sont cassé au moment de la mise à eau, et d'autres ont subis des déformations « fissures » remarquées qu'au jour de l'essai.

Les éprouvettes étaient arrosées chaque jour et couverts avec un sac en toile mouillé durant 7 jours. Au 7^{iem} jour les éprouvettes démoulées sont immergées à l'eau jusqu'à la date de l'essai.

3.4.0. Essais

Avant de procéder à l'essai de flexion les éprouvettes sont soumises à un essai non destructif « l'ultrason »

3.4.1. Essai ultrason

Les éprouvettes retirées du bassin de conservation sont laissées à l'air libre pendant (01) heure ; pesées et soumises à l'essai d'ultrason en trois points pour les éprouvettes de 7*7*28 et en cinq points pour les éprouvettes de 10*15*60. "fig III-1"

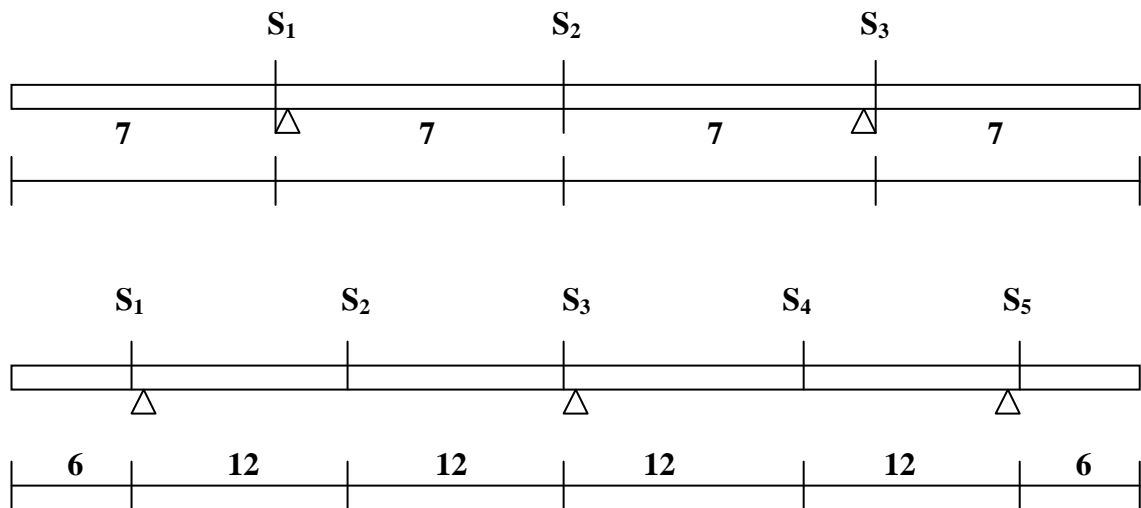


Fig. III-1 : schéma représente les sections de l'essai d'ultrason

L'essai est réalisé conformément au spécification de la norme NF P 18-418.

Il y a une relation entre la vitesse de propagation du son et la résistance du béton. Il existe plusieurs formules empiriques dont on propose celle ci :

$$\bar{f}_c = 16.7 \exp \frac{E_d}{122500}$$

E_d est le module d'élasticité dynamique qui est fonction de la vitesse du son :

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

avec :

V Vitesse de son calculé comme suit : $V = \frac{d}{t}$; dont « d » est la dimension sur laquelle

le son se propage en mètre ; t est le temps de propagation en seconde. « t mesuré est en micro-seconde ; $1\mu s = 10^{-6}$ seconde »

ϖ densité du béton,

g pesanteur prise 9.81m/s^2 ,

ν Coefficient de poisson dynamique souvent compris entre 0.22 et 0.28.

La vitesse de propagation du son est généralement fonction de la nature des granulats employés et la compacité du béton ; elle varie entre 4000 m/s dans le béton léger, et 4600 m/s pour le béton traditionnel. La présence des renforts fait accroître V .

3.4.2. Essais de flexion

1. Flexion à trois points

Avec une presse hydraulique standard équipée de trois points d'appuis ; dont deux sont servi comme points de supports et le troisième pour l'application de la charge.

L'appareil muni d'un cadran de trois échelles de $12\text{ kN} \pm 0.02$; $60\text{ kN} \pm 0.2$; et $120\text{ kN} \pm 0.2$. la vitesse de chargement est de 1.6 kN/s

Pour mesurer la flèche à mi-travée de la poutre « point d'application de la charge » un comparateur de précision 0.01mm a été placé au point d'application de la charge. voir fig. III-2

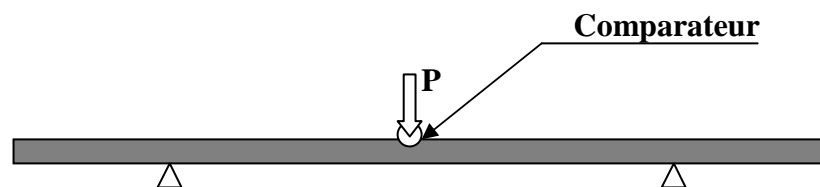


Fig III-2 : schéma de l'essai de flexion à trois points

2. Flexion à cinq points

Par insuffisance de gabarit le système d'appuis de l'appareil a été remplacé par deux plaques suffisamment rigides ; sur la plaque d'assise trois tubes round pleins ont été soudés suivant un entre axes de 24 cm, quant à la plaque supérieure on a soudé uniquement deux tubes round distant de 24 cm.

Pour mesurer la flèche au point d'application de la charge le même comparateur a été placé au point de transmission de la charge à la poutre. voir fig. III-3

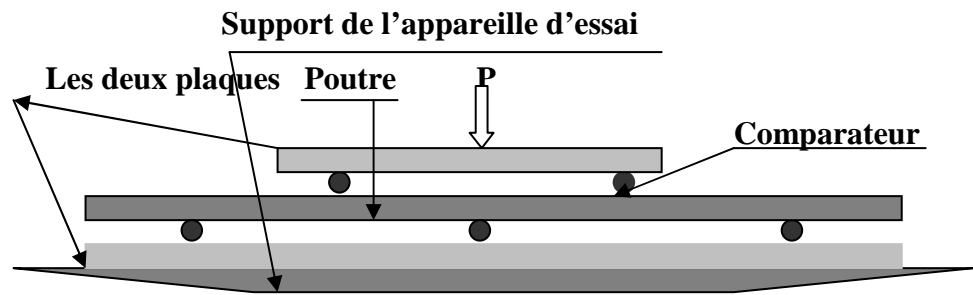


Fig III-3 : schéma de l'essai de flexion à cinq points

Comme tout travaux de laboratoires sont entachés d'erreur il est donc nécessaire de faire une analyse statistique des résultats. Cet analyse aurai été appréciable si le nombre d'essais serai supérieur à 30 pour chaque type et age.

3.5.0. Analyse statistique

3.5.1. Fonctions statistiques

1. Tendances centrale

C'est la moyenne arithmétique de l'ensemble des résultats des mesures obtenus ; noté

\bar{X} est calculé comme suit :

\bar{X} = somme des valeurs mesurées divisées par le nombre d'échantillon ou de population.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_i}{n}$$

2. Ecart type

C'est le rayon de giration de l'air en dessous de la courbe théorique des probabilités autour du centre pour lequel la courbe change d'allure ; noté s .

Il permet la caractérisation de la dispersion des résultats ; une valeur faible de s explique que les résultats sont groupés autour de la moyenne, et indique avec une grande précision entre quelles valeurs varie une variable statistique.

Il est calculé comme suit :

1-cas d'une population « $n \geq 30$ »

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

2-cas d'un échantillon « $n < 30$ »

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

3. Coefficient de variation

Par définition est le rapport en% entre l'écart type et la tendance centrale ; noté C_V .

Il permet d'apprécier la représentativité de la moyenne arithmétique par rapport à l'ensemble des données « degré de dispersion »

$$C_V \% = \frac{S}{\bar{X}} * 100$$

Le tableau III-3 donne les valeurs standards de C_V pour le type de contrôle de béton.

Classement des opérations	Contrôle excellent	Bon	Moyen	mauvais
1.1 sur toutes les variations dans la construction en général	Plus bas que 10.0	10.0 à 15.0	15.0 à 20.0	Supérieur à 20.0
2.1 contrôle en laboratoire	Plus bas que 5.0	5.0 à 7.0	7.0 à 10.0	Supérieur à 10.0
1.2 variations entre essais sur le contrôle des méthodes des essais	Plus bas que 4.0	4.0 à 5.0	5.0 à 6.0	Supérieur à 6.0
2.2 contrôle en laboratoire	Plus bas que 3.0	3.0 à 4.0	4.0 à 5.0	Supérieur à 5.0

Tableau III-3 : valeurs standards de C_V

- 1.1- Qualité de béton produit sur chantier, essais de convenance et de contrôle.
- 1.2- Variation entre essais pour l'appréciation des méthodes des essais « béton produit sur chantier »
- 2.1- Qualité de contrôle sur le béton produit au laboratoire pour des essais d'étude et d'expérimentation.
- 2.2- Variation entre essais pour ce qui concerne les essais expérimentaux.

4. Etendue

C'est la différence entre la valeur maximum et la valeur minimum mesurées. Il est employé dans le calcul de l'écart types entre les essais.

5. Variation entre essais

le coefficient de variation entre les essais est donné par la formule suivante :

$$V_1 = \frac{s_1}{\bar{X}} * 100$$

d'où :

$$s_1 = \frac{1}{d_2} * \bar{R}$$

\bar{R} Est l'étendue moyenne de l'ensemble des séries d'éprouvettes.

d_2 Constante dépend du nombre d'éprouvettes dans la série. Voir tableau III-4

Nombre d'éprouvettes	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d_2	1.128	1.693	2.059	2.326	2.534	2.704	2.847	2.970	3.078

Tableau III-4 : valeur de la constante d_2

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

4.0.0. Résultats expérimentaux

4.1.0. Essais de flexion

4.1.1. Eprouvettes prismatique de 7*7*28 cm³

1. Age de 21 jours

- Béton témoin

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T ₀₁	34.5	25.145	8.26	16.5	0.289	3.033
T ₀₂	34.5	25.145	8.2	17	0.287	3.012
T ₀₃	34	24.781	8.48	18.67	0.297	3.117
Moyenne	34.33	24.357	8.31	17.39	0.291	3.05

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.05)^2 + (0.11)^2 + (0.17)^2}{2}} = 0.15$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.15}{8.31} * 100 = 1.81$$

$$Etendue = 2.8$$

- Béton renforcé totalement en fibres

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T _{F04}	35.5	25.875	9.8	8.5	0.343	3.6
T _{F05}	35.5	25.875	9.8	8.8	0.343	3.6
T _{F06}	35.5	24.875	10.2	8.37	0.357	3.747
Moyenne	35.5	25.875	9.93	8.56	0.348	3.65

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.05)^2 * 2 + (0.27)^2}{2}} = 0.197$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.197}{9.93} * 100 = 1.987$$

$$Etendue = 0.4$$

- Béton renforcé en zone tendue

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « μs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T _{M01}	34.4	25.072	7.9	9.83	0.277	2.907
T _{M02}	34.8	25.364	8.2	8.6	0.287	3.012
T _{M03}	34.5	25.145	9	10.03	0.315	3.306
Moyenne	34.57	25.194	8.37	9.49	0.293	3.08

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.37)^2 + (0.17)^2 + (0.63)^2}{2}} = 0.53$$

$$C_v = \frac{s}{X} * 100 = \frac{0.53}{8.37} * 100 = 6.34$$

$$Etendue = 1.1$$

2. Age de 28 jours

- Béton témoin

série 1

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} Mpa
T ₀₁₁	36.06	26.28	9.9	20.2	0.347	3.64
T ₀₂₁	35.96	26.21	9.2	21.25	0.322	3.38
T ₀₃₁	35.65	25.98	9.3	19.03	0.326	3.421
Moyenne	35.89	26.16	9.47	20.16	0.332	3.48

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.43)^2 + (0.27)^2 + (0.17)^2}{2}} = 0.38$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.38}{9.47} * 100 = 4$$

$$Etendue = 0.7$$

série 2

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} Mpa
T ₀₁₂	34.5	25.145	9	11.96	0.315	3.306
T ₀₂₂	34.5	25.145	9.2	14.83	0.322	3.38
T ₀₃₂	34.5	24.145	9.2	11.7	0.322	3.38
Moyenne	34.5	25.145	9.13	12.83	0.319	3.35

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.13)^2 + (0.07)^2 * 2}{2}} = 0.12$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.12}{9.13} * 100 = 1.31$$

$$Etendue = 0.2$$

$$\bar{R} = 0.45$$

$$s_1 = \frac{0.45}{2.534} = 0.178$$

$$V_1 = \frac{0.178}{9.3} * 100 = 1.91$$

• Béton renforcé totalement en fibres

série 1

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} Mpa
T_{F011}	35.1	25.583	10.7	6.066	0.375	3.936
T_{F021}	35	25.510	10	7.7	0.350	3.673
T_{F031}	35	25.510	10.6	7.83	0.371	3.894
Moyenne	35.03	25.534	10.43	7.19	0.365	3.83

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.010)^2 + (0.015)^2 + (0.006)^2}{2}} = 0.013$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.013}{10.43} * 100 = 0.13$$

$$Etendue = 0.7$$

série 2

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T_{F012}	35.89	26.16	10.3	15.97	0.361	3.789
T_{F022}	36.12	26.33	10.1	17.33	0.354	3.715
T_{F032}	36.17	26.36	10.7	18.67	0.375	3.936
Moyenne	36.06	26.28	10.37	17.32	0.363	3.81

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.07)^2 + (0.27)^2 + (0.33)^2}{2}} = 0.31$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.31}{10.37} * 100 = 2.95$$

$$Etendue = 0.6$$

$$\bar{R} = 0.65$$

$$s_1 = \frac{0.65}{2.534} = 0.26$$

$$V_1 = \frac{0.26}{10.4} * 100 = 2.5$$

• Béton renforcé en zones tendues

série 1

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T _{M011}	35	25.51	10.8	6.43	0.378	3.967
T _{M021}	35	25.51	10.4	7.27	0.364	3.820
T _{M031}	35	24.51	9	9.53	0.315	3.306
Moyenne	35	25.51	10.07	7.73	0.352	3.69

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.73)^2 + (0.33)^2 + (1.07)^2}{2}} = 0.945$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.945}{10.07} * 100 = 9.38$$

$$Etendue = 1.8$$

série 2

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	M.Ultarson t « µs »	Moment « kN*m »	σ_{ft} MPa
T _{M012}	34.5	25.145	10	11.97	0.35	3.673
T _{M022}	34.5	25.145	10.5	12.53	0.368	3.62
T _{M032}	34	24.781	10.3	11.97	0.361	3.789
Moyenne	34.33	25.024	10.26	12.5	0.36	3.78

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.26)^2 + (0.24)^2 + (0.04)^2}{3-1}} = 0.252$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.252}{10.26} * 100 = 2.46$$

$$Etendue = 0.5$$

$$\bar{R} = 1.115$$

$$s_1 = \frac{1.15}{2.534} = 0.454$$

$$V_1 = \frac{0.454}{10.165} * 100 = 4.46$$

4.1.2. Eprouvettes prismatique de 10*15*60

1. Age de 21 jours

- Béton témoin

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultr-son V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T ₀₁	216	24	30.350	0.36	4545.45	0.683	0.57	27.15
T ₀₂	218.50	24.277	30.9	0.364	4504.50	0.695	0.58	27.63
T ₀₃	216	24	29	0.36	4575.96	0.653	0.54	25.95
Moyenne	216.833	24.092	30.083	0.361	4541.97	0.677	0.564	26.91

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.092)^2 * 2 + (0.185)^2}{2}} = 0.16$$

$$C_v \% = \frac{s_p}{\bar{X}} * 100 = \frac{0.16}{30.083} * 100 = 0.53$$

$$Etendue = 1.350$$

- Béton renforcé totalement en fibres

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultr-son V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T _{F01}	219	24.333	34	0.365	4584.35	0.765	0.638	30.41
T _{F02}	217	24.111	34	0.362	4609.71	0.765	0.638	30.41
T _{F03}	224	24.889	34.4	0.373	4604.05	0.774	0.645	30.74
Moyenne	220	24.444	34.13	0.361	4599.4	0.768	0.640	30.53

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.13)^2 * 2 + (0.27)^2}{2}} = 0.231$$

$$C_v \% = \frac{s_p}{\bar{X}} * 100 = 0.676 \quad Etendue = 0.4$$

- Béton renforcé en zones tendues

référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T_{M01}	225.0	25.0	45.5	0.375	7331.38	1.027	0.856	40.83
T_{M02}	224.0	24.888	40.5	0.373	7331.38	0.914	0.762	36.33
T_{M03}	fissurée	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	222.33	24.703	43.0	0.370	7331.38	0.971	0.809	38.6

$$s_p = \sqrt{\frac{(2.5)^2 * 2}{2}} = 2.5$$

$$C_v \% = \frac{s_p}{\bar{X}} * 100 = \frac{2.5}{43} * 100 = 5.81$$

Etendue=5

2. Age de 28 jours

• Béton témoin

(série 1)

Référence	Poids « N »	M.Vapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T ₀₄₁	219.0	24.333	33.4	0.365	5891.6	0.752	0.626	29.89
T ₀₅₁	211.0	23.444	33.2	0.363	5831.43	0.747	0.623	29.7
T ₀₆₁	222.0	24.666	33.2	0.363	6224.07	0.747	0.623	29.7
Moyenne	217.33	24.148	33.27	0.364	5982.37	0.749	0.624	29.77

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.13)^2 + (0.07)^2 * 2}{2}} = 0.116$$

$$C_v \% = \frac{s_p}{X} * 100 = \frac{0.116}{33.27} * 100 = 0.35\%$$

$$Etendue = 0.2$$

(série 2)

Référence	Poids « N »	M.Vapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T ₀₄₂	217.0	24.111	29	0.362	6643.46	0.656	0.546	26.08
T ₀₅₂	219.0	24.333	33	0.365	6224.07	0.746	0.621	29.66
T ₀₆₂	fissuré	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	218	24.222	31	0.364	6426.74	0.701	0.584	27.87

$$s_p = \sqrt{(2)^2 * 2} = 2 * 1.414 = 2.828$$

$$C_v \% = \frac{2.828}{31} * 100 = 9.12\%$$

$$Etendue = 4$$

$$\bar{R} = 2.1$$

$$s_1 = \frac{2.1}{2.326} = 0.9$$

$$V_1 = \frac{0.9}{32.135} * 100 = 2.8\%$$

• Béton renforcé totalement en fibres

(série 1)

Référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T _{F041}	226.5	25.17	38.6	0.378	6596.31	0.871	0.724	34.62
T _{F051}	217.50	24.166	38.2	0.363	6643.05	0.860	0.716	34.19
T _{F061}	220.3	24.48	38.8	0.36	7149.7	0.873	0.728	34.70
Moyenne	221.43	24.61	38.53	0.367	6787.33	0.868	0.722	34.51

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.07)^2 + (0.33)^2 + (0.27)^2}{2}} = 0.31$$

$$C_v \% = \frac{0.31}{38.53} * 100 = 0.8\%$$

$$Etendue = 0.6$$

(série 2)

Référence	Poids « N »	M.Vapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T _{F042}	222	24.666	38	0.37	7149.6	0.858	0.715	34.11
T _{F052}	224	24.889	39.2	0.373	5891.6	0.885	0.738	35.2
T _{F062}	fissuré	*	*	*	*	*	*	*
Moyenne	223	24.778	38.6	0.372	6640	0.872	0.727	34.66

$$s_p = \sqrt{(0.6)^2 * 2} = 0.6 * 1.414 = 0.85$$

$$C_v \% = \frac{0.85}{38.6} * 100 = 2.2\%$$

$$Etendue = 1.2$$

$$\bar{R} = 0.9$$

$$s_1 = \frac{0.9}{2.326} = 0.39$$

$$V_1 = \frac{0.39}{38.57} * 100 = 1.01\%$$

• Béton renforcé en zones tendues

(série 1)

Référence	Poids « N »	MVapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _B « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T _{M041}	fissuré	*	*	*	*	*	*	*
T _{M051}	217	24.11	39.4	0.362	5643.34	0.89	0.741	35.38
T _{M061}	219.5	24.39	44.0	0.366	5712.12	0.993	0.828	39.47
Moyenne	218.25	24.25	41.7	0.364	5666.8	0.942	0.785	37.45

$$s_p = \sqrt{\frac{(2.3)^2 \cdot 2}{2}} = 2.3$$

$$C_v \% = \frac{2.3}{41.7} * 100 = 5.52\%$$

$$Etendue = 4.6$$

(série 2)

Référence	Poids « N »	M.Vapp « kN/m ³ »	Charge P « kN »	q « kN/ml »	Ultrason V « m / s »	M _A « kN*m »	M _T « kN*m »	σ _{fc} MPa
T _{M042}	216	24	41.7	0.36	5891.6	0.941	0.784	37.41
T _{M052}	218	24.222	39.4	0.363	5831.43	0.89	0.741	35.38
T _{M062}	220	24.444	43	0.366	6224.07	0.971	0.809	38.6
Moyenne	217.33	24.222	41.37	0.363	5982.37	0.934	0.778	37.13

$$s_p = \sqrt{\frac{(0.33)^2 + (1.97)^2 + (2.37)^2}{2}} = 2.19$$

$$C_v \% = \frac{2.19}{41.3} * 100 = 5.31\%$$

$$Etendue = 3.6$$

$$\bar{R} = 4.1$$

$$s_1 = \frac{4.1}{2.326} = 1.76$$

$$V_1 \% = \frac{1.76}{41.535} * 100 = 4.24\%$$

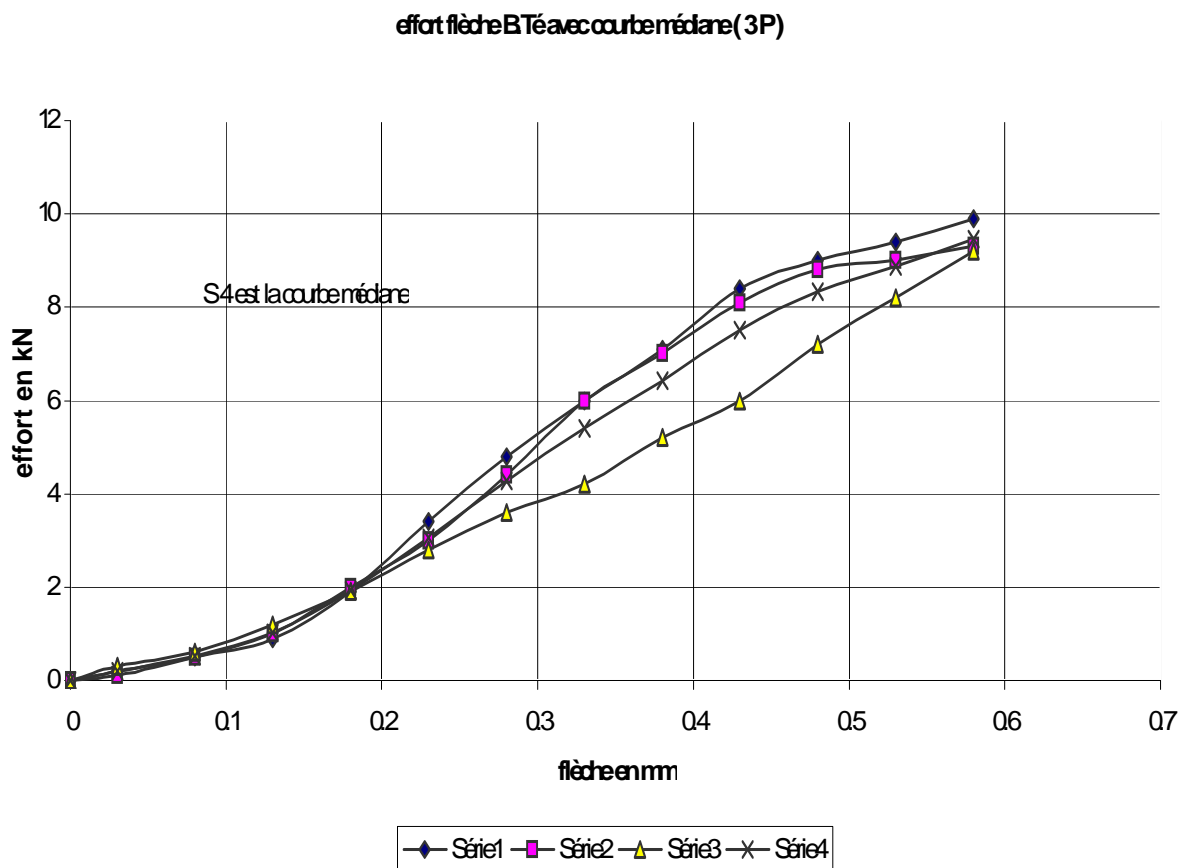
4.2.0. Comportement

Les résultats des mesures effort-flèche réalisaient uniquement à l'âge de 28 jours pour les deux formes de spécimens sont présentés en graphes suivantes.

Les éprouvettes 7*7*28 les mesures réalisaient sont uniquement pour la 1^{er} série.

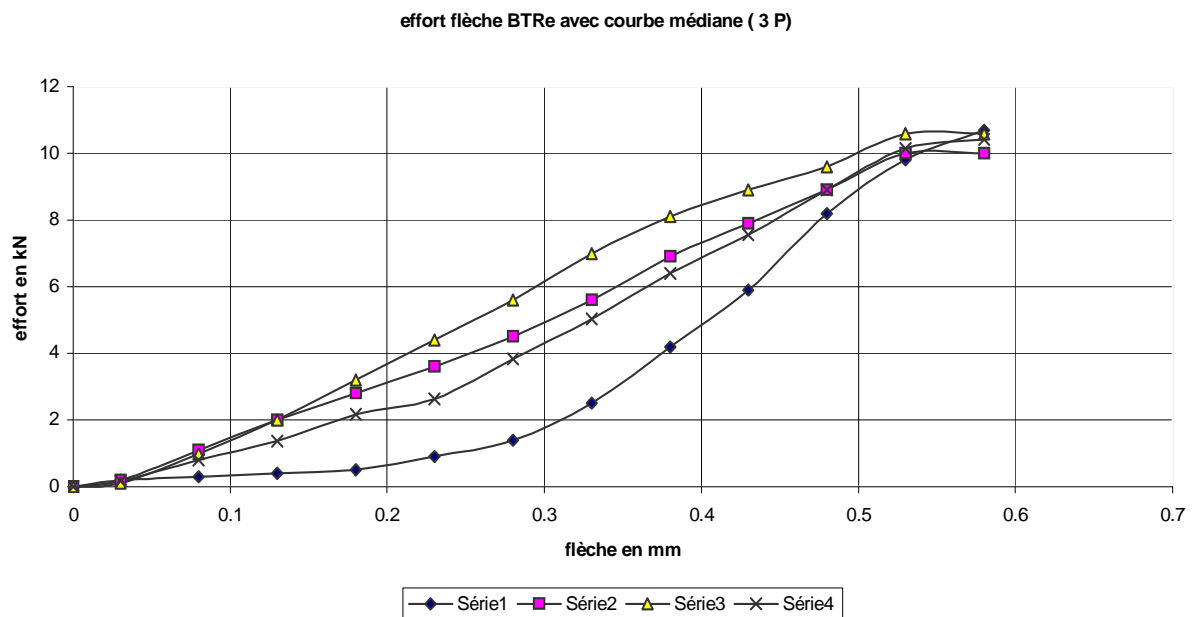
4.2.1. Epreuves prismatiques 7*7*28

- Béton témoin



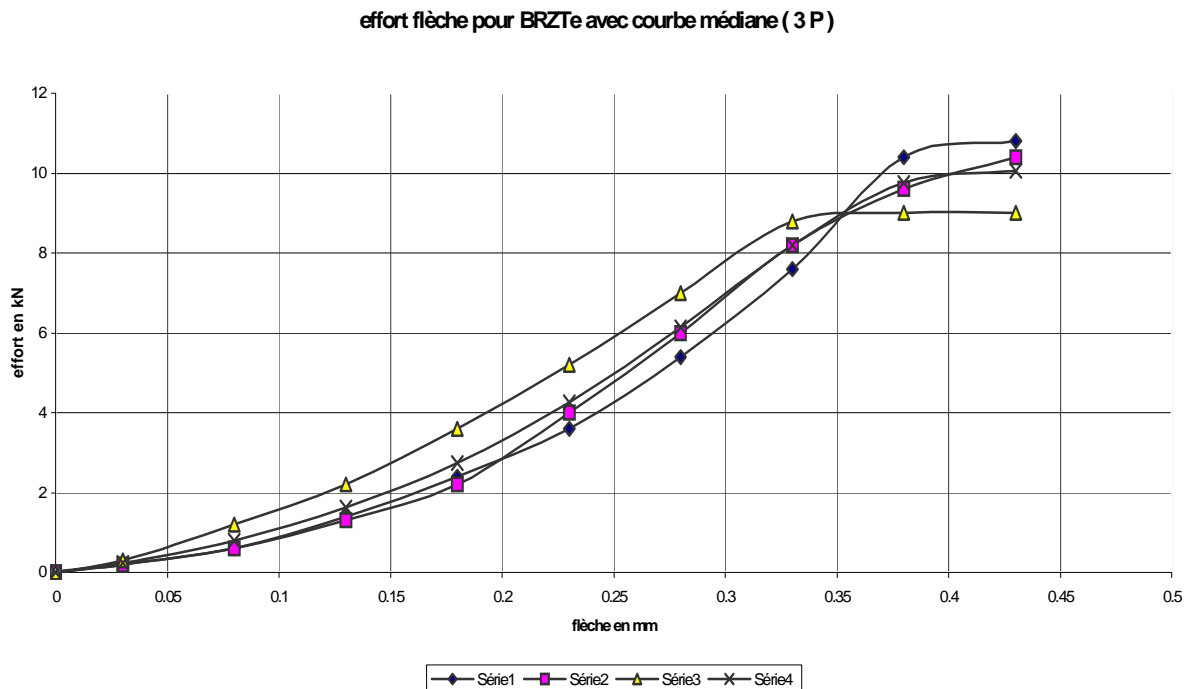
Graphe IV-1-courbes effort-flèche pour B Témoin avec la courbe médiane (S₄)

• Béton renforcé totalement en fibres



Graph IV-2-courbes effort-flèche «béton renforcé totalement avec courbe médiane S₄ »

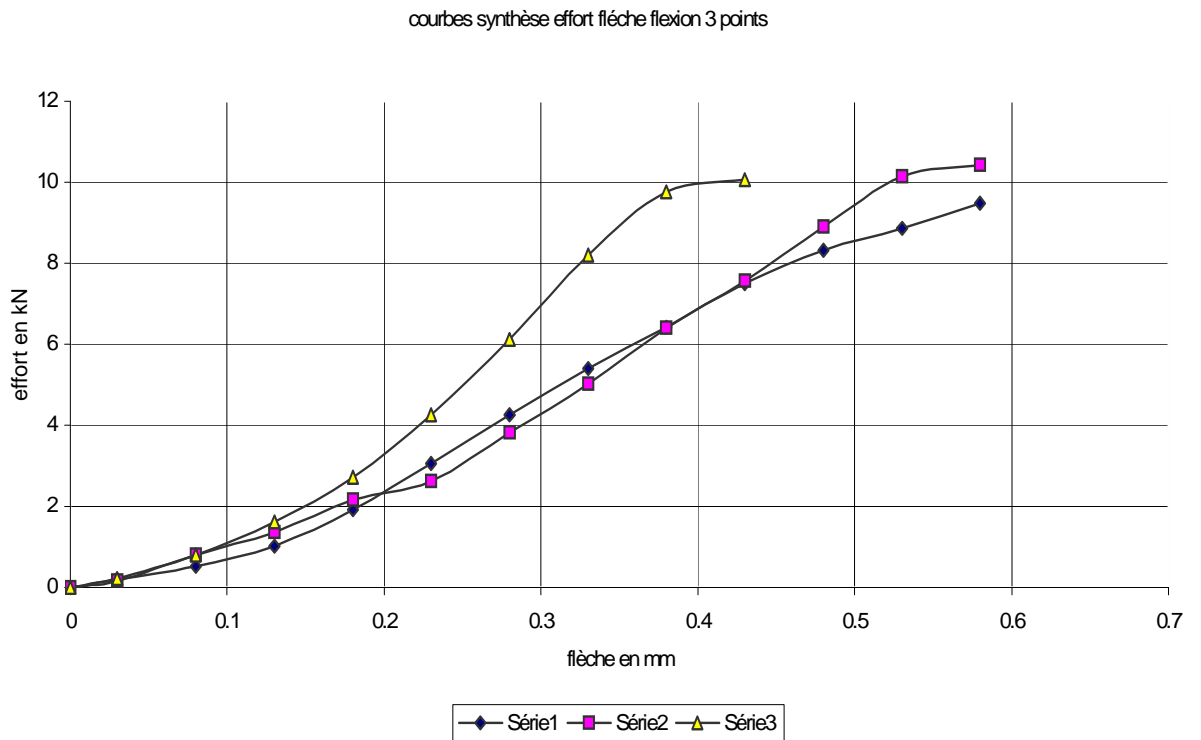
• Béton renforcé en zone tendue



Graph IV-3- courbes effort-flèche pour béton renforcé en zones tendues (S₄)

• Courbes synthèses

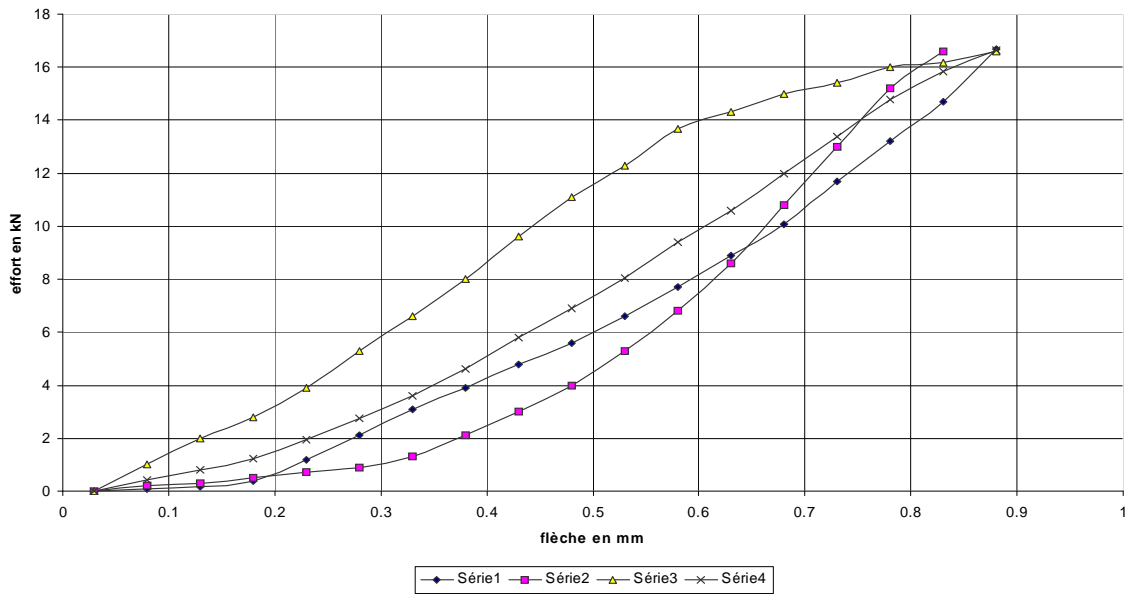
Courbes synthèses effort-flèche des éprouvettes prismatiques de 7*7*28 confectionnées à partir des trois types de béton (S₂ témoin ; S3 renforcé totalement en fibres ; S₄ renforcé en zones tendues seulement)



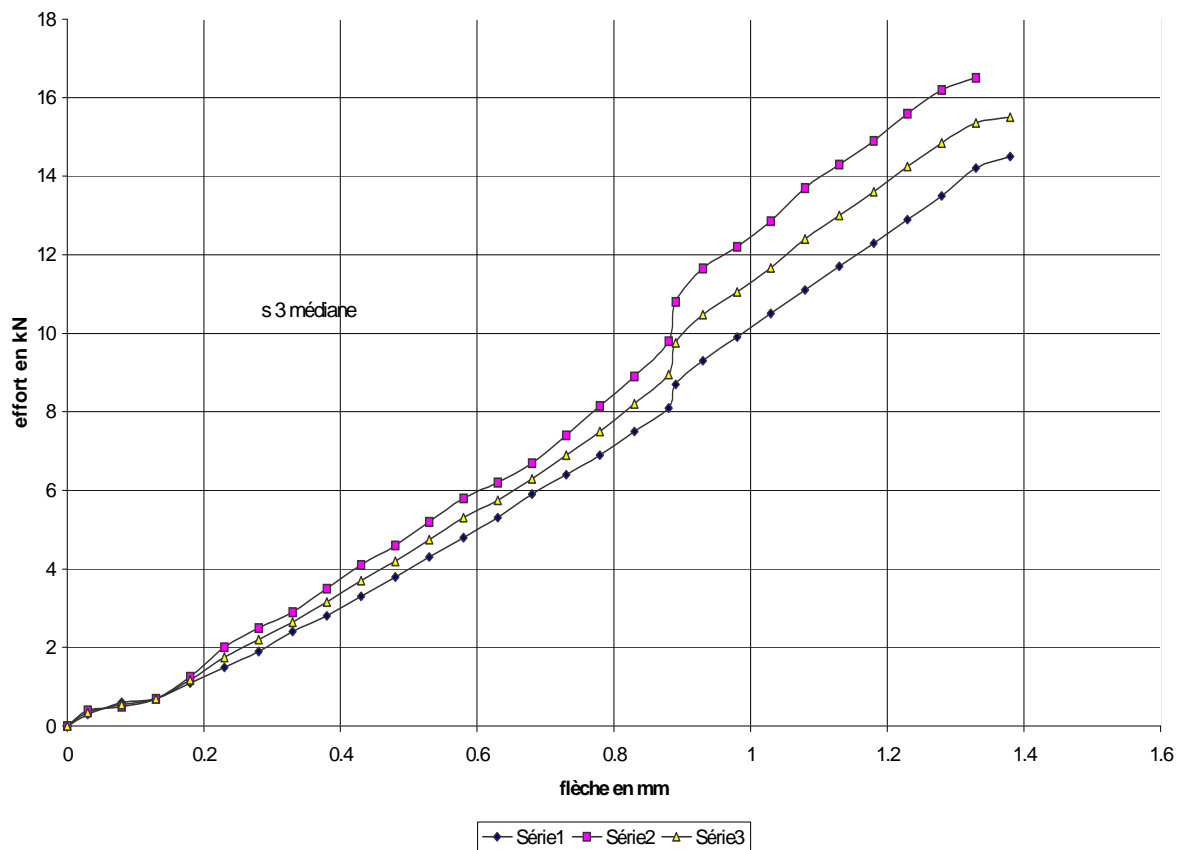
4.2.2. Eprouvettes prismatiques 10*15*60

- Béton témoin

effort flèche BTé avec courbe médiane S1 (5 P)

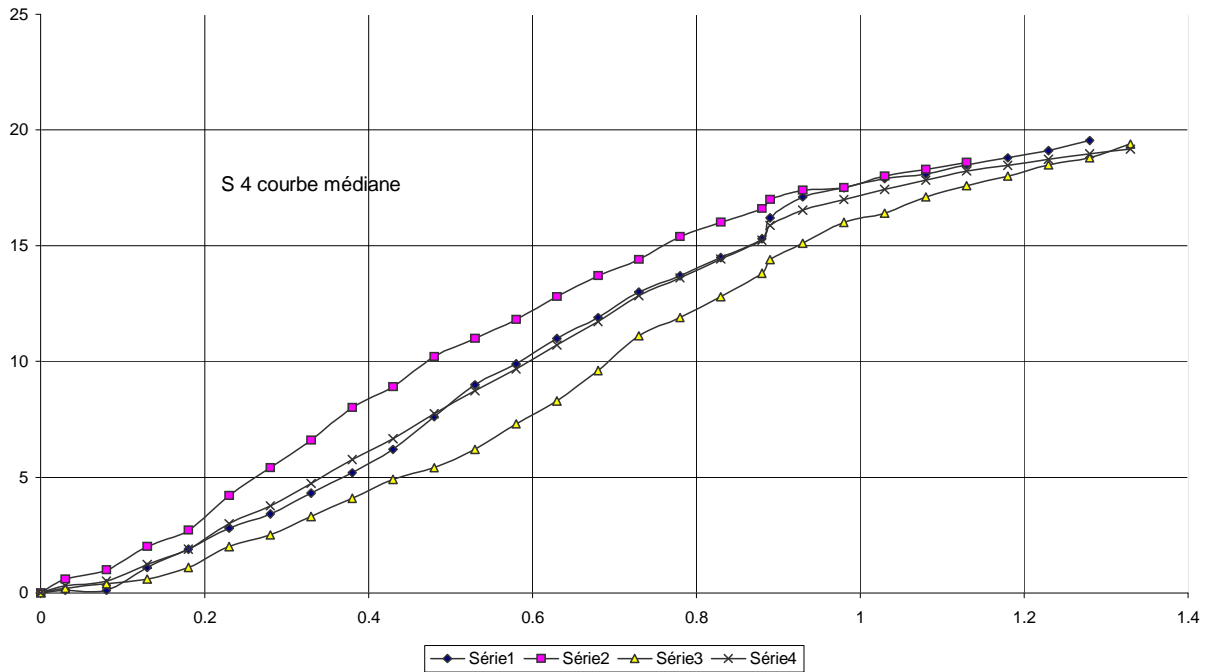


effort flèche BTé S2 avec courbe médiane (5 P)

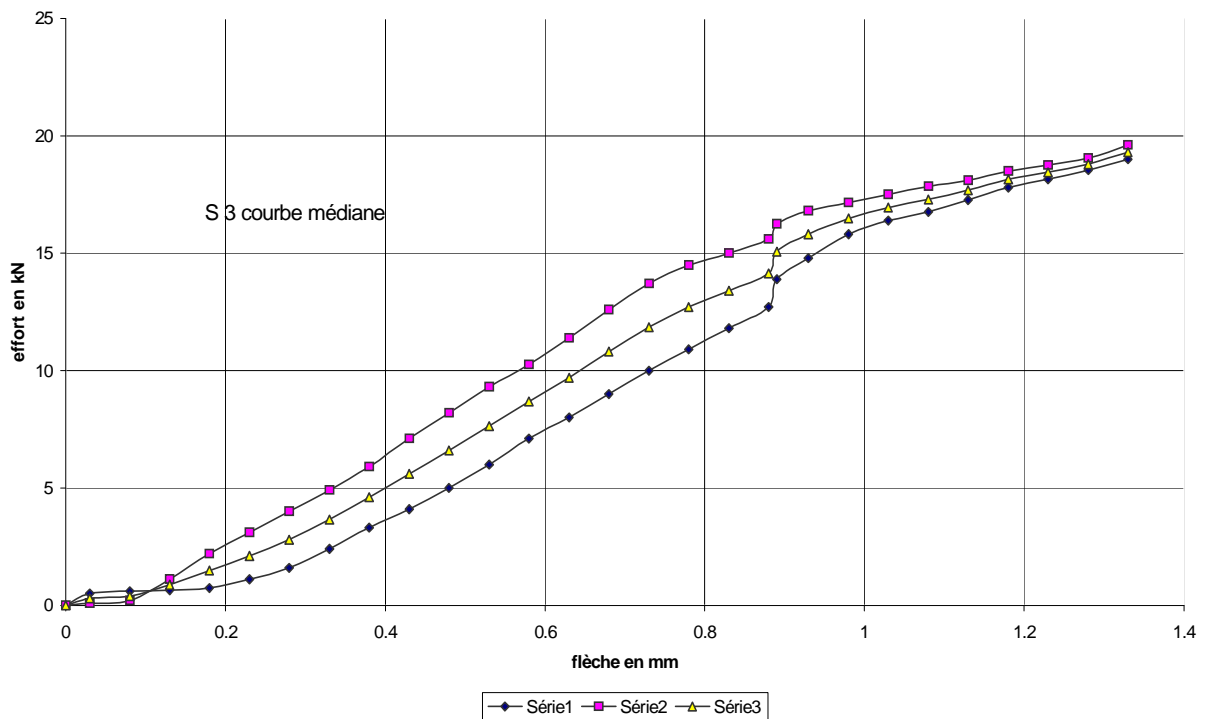


• Béton totalement renforcé

effort flèche B.T.R avec courbe médiane S1(5P)

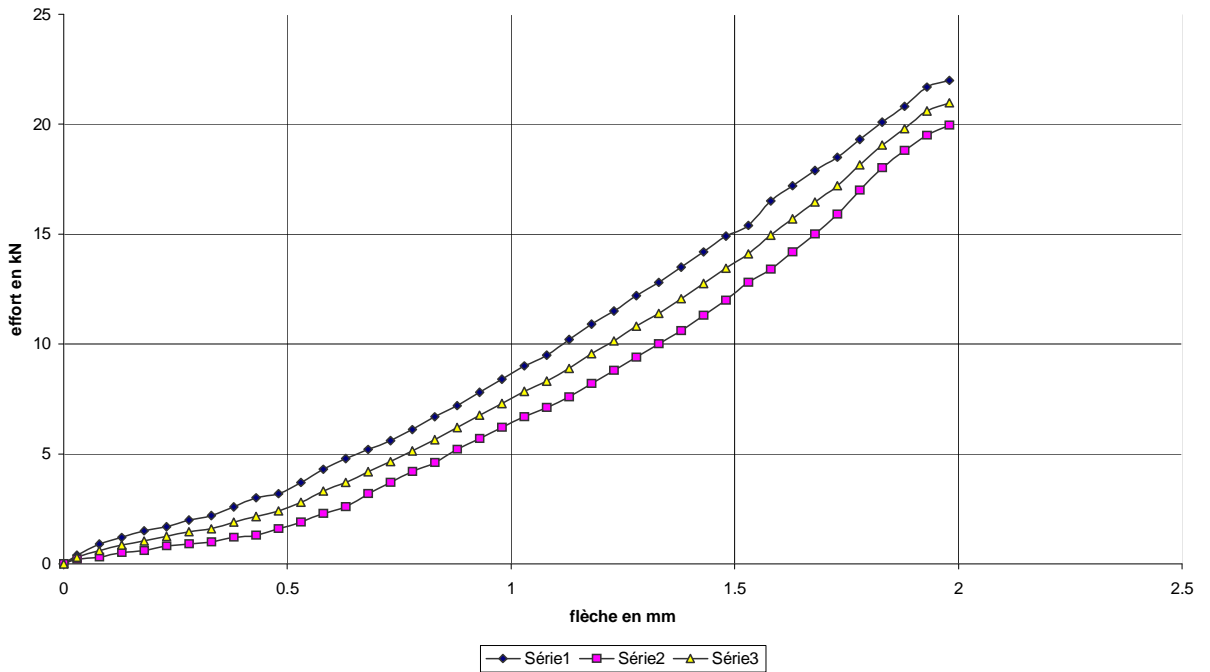


effort flèche B.T.R avec courbe médiane S2 (5 P)

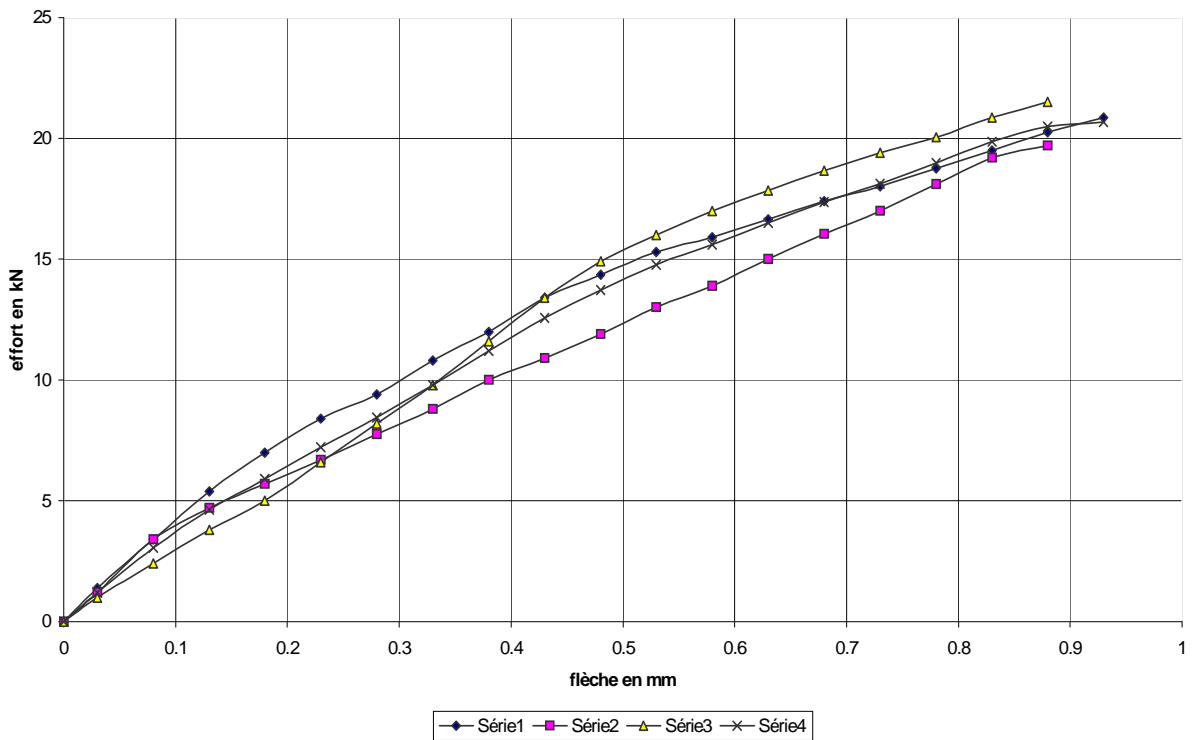


• Béton renforcé en zones tendues

effort flèche B.R.Z.Te avec courbe médiane S1 (5 P)



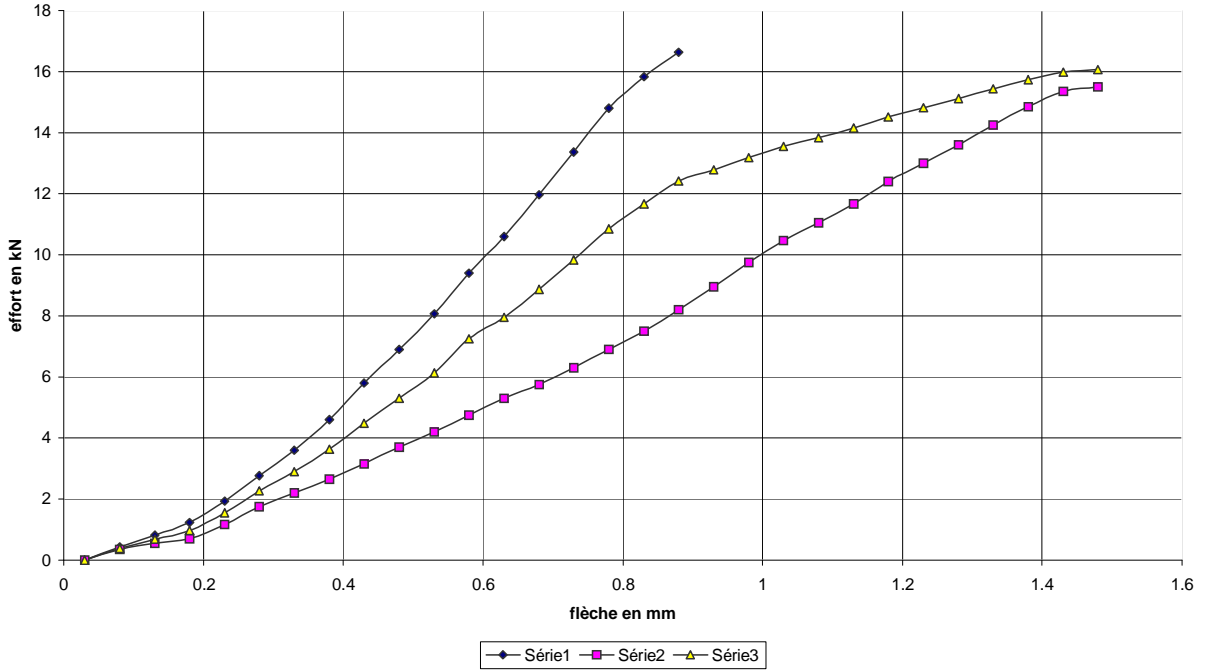
effort flèche B.R.Z.Te avec courbe médiane S2 (5P)



4.2.3. Courbes synthèses

1. Béton témoin «courbes synthèse(S₁+S₂)+courbe médiane »

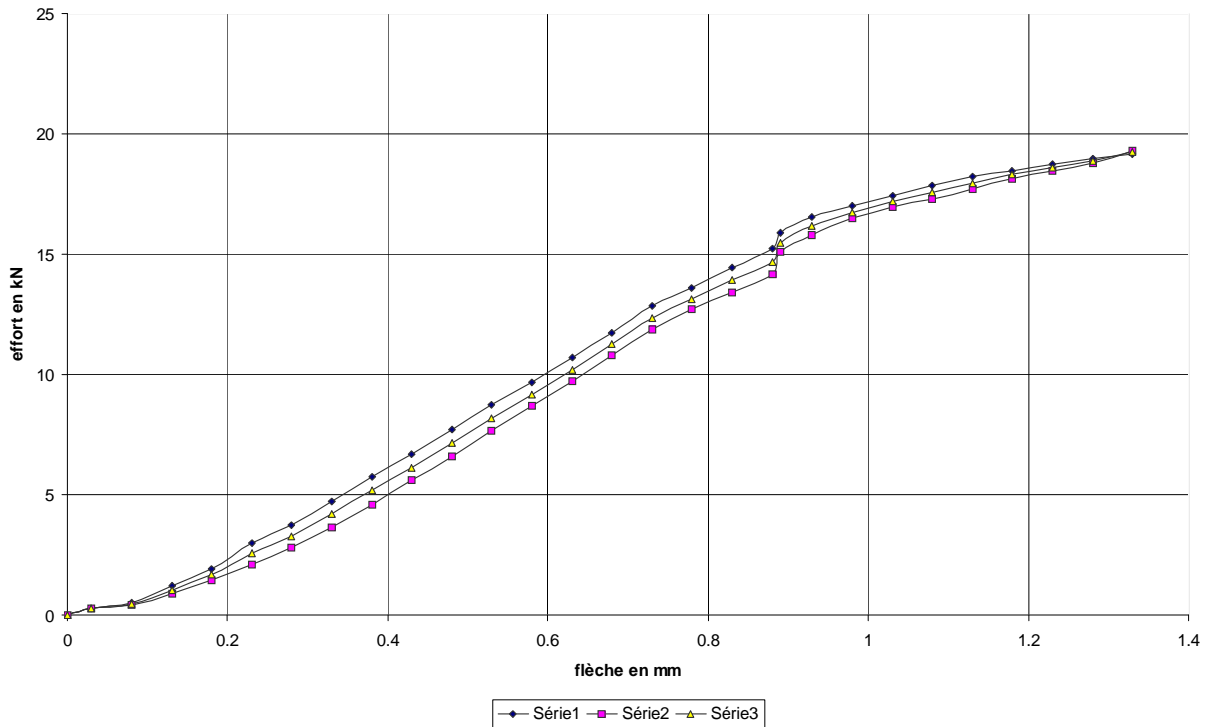
effort flèche (S1+S2) B,Té avec courbe médiane(5 P)



2. Béton totalement renforcé

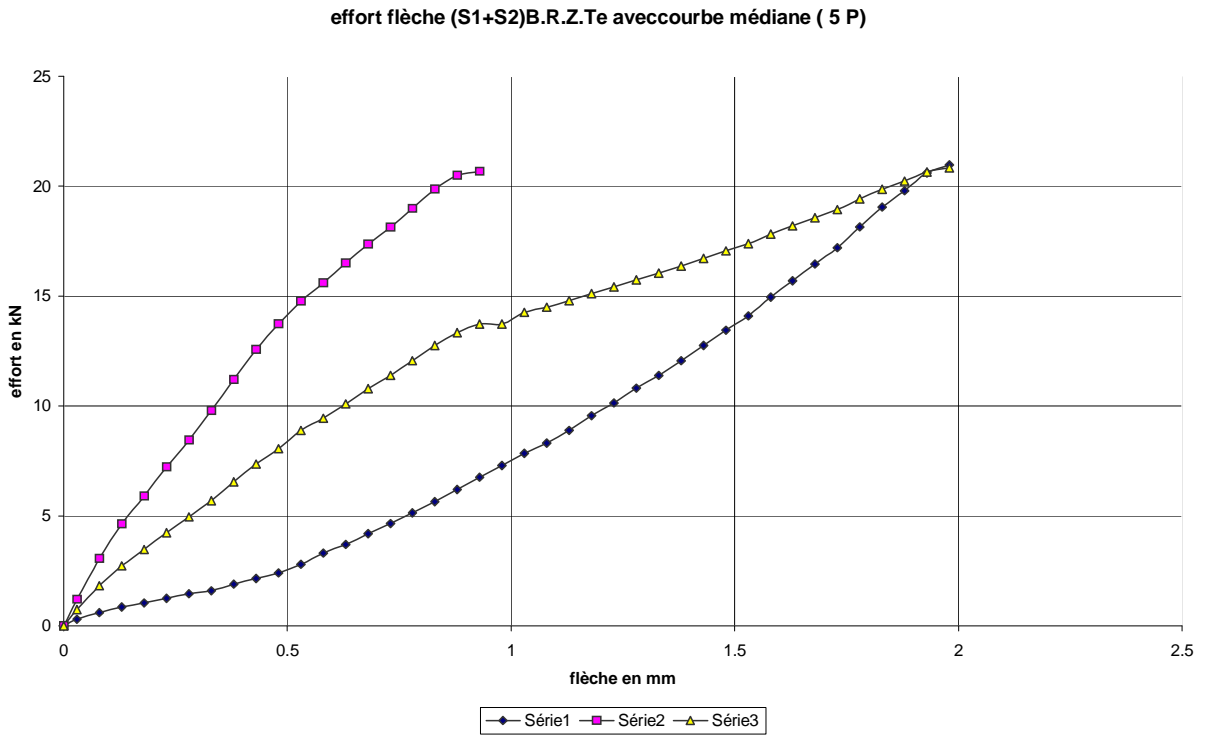
«courbes synthèse(S₁+S₂)+courbe médiane »

effort flèche (S1+S2) BRT avec courbe médiane (5 P)

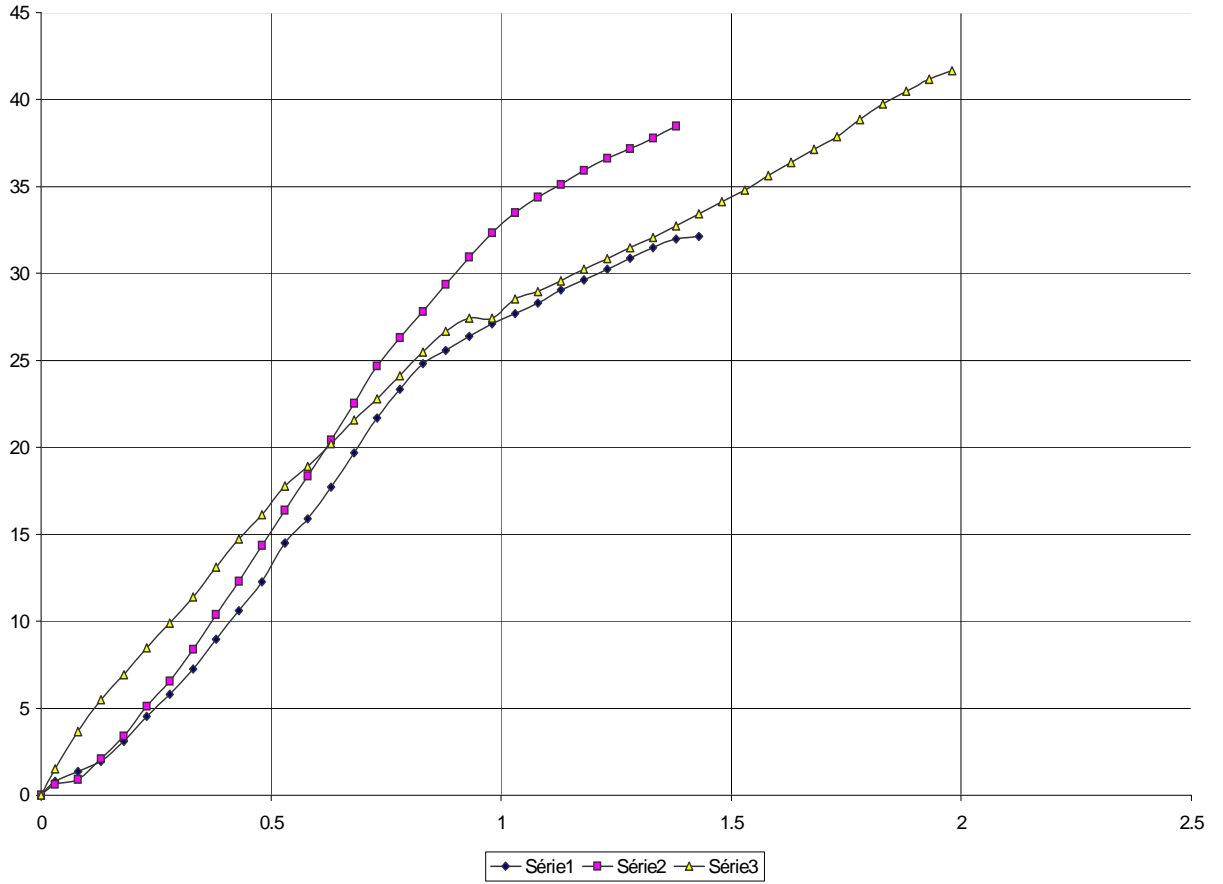


3. Béton renforcé en zones tendues

«courbes synthèse(S_1+S_2)+courbe médiane »

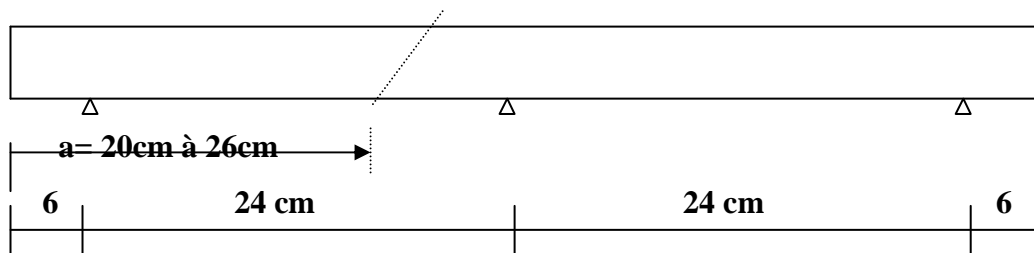


4.2.4. Courbes synthèses « flexion à cinq points »



Analyse des résultats :

- Les sections de ruptures pour la 1^{er} série des poutres continues situent entre l'appui intermédiaire et la travée « beaucoup plus proches de l'appui et presque au droit de la section du béton non renforcé » avec une inclinaison sur l'horizontal.



- L'adhérence matrice-fibre est faible « rupture de la matrice et arrachement des fibres » ce qui laisse à supposer si les fibres avaient une géométrie non linéaire avec des emboutis aux extrémités la capacité portante serait plus grande, et le rôle post-fissuration des fibres serait atteint. « transmission de l'effort du part et d'autre des lèvres des fissures et l'assurance du rôle de couture des fissures »
- Pour la 2^{iem} série « zone inférieure renforcée tout au long de la poutre » la position de la section de rupture se trouve presque inchangé.
- Les éprouvettes en béton témoin se rompent une fois l'effort atteint son maximum « comportement fragile » par contre les autres se maintiennent unis « comportement ductile »
- Le temps de la propagation du son dans les éprouvettes en fibres est un peu grand cela est peut être lié à la présence des fibres qui obligent les ondes à parcourir un chemin plus long.
- L'étendue et le coefficient de variation des résultats de la flexion à 5 points sont un peu élevé ; cela est peut être due à la position « sens » aléatoire des fibres qui ne sont pas dans le sens préférentiel.
- La flèche mesurée pour la poutre continue réalisée en béton renforcé uniquement en zones tendues est plus grande à celle totalement en béton renforcé pour presque la même charge de rupture.
- La flèche des éprouvettes en béton totalement et partiellement renforcé examinées en flexion à 3 points est la même.

Analyse des résultats :

- La pente de la courbe « effort- flèche » du béton témoin est plus grandes que celles des deux autres. « flexion à 3 points »
- L'orientation des fibres est aléatoire ce qu'il y a lieu d'utiliser ce mode de renfort avec le ferrailage traditionnel pour reprendre les actions secondaires.
«température, retrait, fluage ,effet de gel-dégel ...»
- Pour la même charge il est donc possible soit de diminuer la section de la poutre, ou d'augmenter sa portée, ou de diminuer le taux de ferrailage traditionnel.
- L'utilisation des BFM uniquement en zones tendues permet la réduction de la quantité des fibres « coût élevé des fibres » et pose des difficultés de mise en œuvre ; « coffrage spécial et durée longues de coulage » Ce type de construction est possible dans la préfabrication et surtout en ponts routiers.
- Rapport entre quantités des fibres consommées est : « 0 : 1 : 0.63 » par contre le rapport entre les efforts de rupture enregistrer est de : « 1 : 1.2 : 1.29 » ;cela montre que la réduction de la quantité des fibres (37% à 44%) par rapport au spécimen totalement en fibres n'engendre pas une baisse d e la capacité portante de l'élément au contraire on enregistre une légère hausse « 7% de plus ».

Conclusion :

La valorisation des matériaux locaux, la récupération des déchets des chantiers « chutes de fil d'attaches » ou industrielles « tôle cisailée, les spires de fraiseuses etc.», pour la fabrication du BFM, et l'utilisation des moyens technologiques de préparation et de mise en œuvre disponibles s'imposent de facto devant le coût élevé des fibres commercialisées.

Les résultats des études d'identification du BFM « renforts fil d'attaches et tôle cisailée ou fraisée.. » menées à M'sila ou ailleurs étaient encourageantes ; et devant l'impossibilité d'avoir la quantité suffisante dont on est besoin en déchets, les difficultés de leurs préparation « équipement spécifique et temps », et le coût élevé des fibres fabriqués ; les résultats du présent travail permettent de réduire presque à moitié la consommation des renforts avec une nette amélioration de la résistance et de comportement.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Technique d'ingénieur C2-210-12. édition 19
- [2] MAURACHEV – SIGALOV- BAIKOV « Construction en béton armé» édition
MIR –MOSCO 1971 « paragraphe 2-6 page 114 »
- [3] البيتون المسلح-الدكتور محمود نوفل-جامعة دمشق.
- [4] L'influence des FM sur le comportement mécanique du béton- thèse de magistère de
Mr : A.BENYAHIA encadré par M. : M.BIBI « mars 2001.
- [5] Pierre ROSSI « Les Bétons de Fibres Métalliques» édition presses de l'école
Nationale des TP –France.
- [6] Le béton de fibres métallique état actuel des connaissances « annales de l'institut
Technique de BTP №515 du juillet- août 1993 ».
- [7] MAURICE RAYENE « Technologie des composites » édition HERMES 1995.
- [8] A.KOMAR « Matériaux et éléments de construction» éditions MIR 1978.
- [9] F. GORISSE « Essais et Contrôle des Bétons » édition EYROLLES Paris 1978.
- [10] G.DREUX et J.FESTA « nouveau guide du béton et de ses constituants » 8^{iem} édition
Eyrolles 1998.
- [11] M. BEN CHEIKH – M. BEDDAR- G. DEBICKI- P. CLASTRES, URGC, INSA de
Lyon France « effet de l'incorporation des fibres, issues de déchets industrielles locaux,
sur le comportement du béton » séminaire du Géométraux- MSILA 16-17/11/97
- [12] NADIA BAHLOULI « matériaux composites » site internet.
- [13] Nemkumar Banathia and Jean-François Trottier «Concrete reinforced with
deformed steel fibers » ACI MATERIALS JOURNAL mars –avril 95 .
- [14] Cours de matériaux de constructions « polycopie » « Ex : Ecole Nationale des TP –
ALGERIE.
- [15] Chu-Kia WANG « statically indeterminate structures » RDM – student edition.

BIBLIOGRAPHIE

- [16] Jean-Pierre Mougín « Cours de béton armé B.A.E.L.91 » -- Berti Editions.
- [17] BENYEZZA et GOUFFI – PFE PROMOTION 95/96 –page 27.
- [18] M. BEN CHEIKH – M. BEDDAR « contribution a l'étude de la ténacité des BF »
séminaire du Géométraux- MSILA 16-17/11/97.
- [19] Y.BOUAFIA – B. FOURE – M.S. KACIII « Proposition d'une relation contrainte-
déformation pour le Béton de Fibres en Acier»séminaire Géométraux-MSILA16-17/11/97.
- [20] K. AIT-TAHAR - A. MEDDAHI « étude d'une poutre continue combinée en béton
de fibres » science et technologie numéro spécial-C// décembre 2001.
- [21] R. DUPAIN – R. LANCHON – J. C. SAINT ARROMAN
«Granulats, Sols, Ciments et Bétons »
- [22] GERALD BAILLARGEON « introduction à la statistique descriptive T₁ »
édition SMG-Québc 1981.
- [23] K. AIT-TAHAR - A. MEDDAHI « calcul probabiliste de la résistance d'une
matrice composite » revue Algérie équipements- juillet 2001.