

République Algérienne Démocratique et Populaire

تلا قرأوعلیظا ملابلاو یحعلنا تلمی

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir
El Ibrahimi –Bordj Bou Arreridj
Faculté des Sciences et de technologie
Département Génie Civil

جأةما محمدجیریر عوب جرب « ی میهار بلا ریشبلا »
ایجولونکتلاو مولعلا تیلک
تیندما تسدنهلما مسق



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : (Master)

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux

THÈME :
**COMPORTEMENT MECANIQUE EN MODE CISAILLEMENT
DES POUTRES COURTES EN BETON ARME.**

Préparé par : SILEM KHALIL
GUESSOUM ABDERRAHMEN

Soutenu le : 22-06-2016

Devant le jury :

Président : MESSAOUDENE IBRAHIM.

Rapporteur : LOGZIT NACER.

Examineur : DEBOUCHA SADEK.

Examineur : ABDE MEZIANE NABIL.

MCA Université de BBA

MAA Université de BBA

MCB Université de BBA

MAA Université de BBA

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Au terme de ce travail nous tenons à remercier en premier lieu " الله " qui nous a donné la force d'achever cette étude.

Nous tenons à remercier **Mr. Logzit Nacer**, enseignant et chef de département de génie civil pour l'encadrement de ce travail, les conseils, la gentillesse . Aussi pour sa disponibilité, sa sensibilité.

Nous remercions également **Mr. Bouglada. Mr Noui** et **Mr. Raaouche** pour leurs aides, leurs conseils et leurs encouragements.

Nous adressons également nos remerciements aux membres de Jury **Mr. DEBOUCHA** et **Mr. Abdamezian** et le président **Dr MESSAOUDENE I.** qui ont bien voulu examiner le contenu de ce travail. Leurs conseils et remarques intéressantes qui nous a permis d'améliorer significativement ce mémoire.

Nous remercions aussi tous les enseignants de l'équipe de formation du département de génie civil qui ont assuré nos formation le long de notre cursus.

Et nous remercions aussi l'équipe du laboratoire de génie civil pour leurs aides pendant la période de réalisation pratique de notre travail.

Guessoum .A

Silem. K

Je dédie ce mémoire à :

Mes très chers parents

Mes frères et sœurs

Toute la famille

*Tout mes amis waliiiiid Benchina , ycine, abdou, farid ,
Brahim Hichem et Nasro*

*Et mes colegues d'étude : salma, siham, Taous , yacmine
kanza*

Mon cher binôme et mon ami proche « Abderrahmene »

Tous ceux qui m'aiment

Tout les etudiant de la promo 2016

Silem Khalil



Je dédie ce mémoire à :

Mes très chers parents

Mes frères et sœurs

Toute la famille

*Tout mes amis Mohamed Laib, Dris Abdelmonaim, Ali,
Farhat, Lahcen, Imed, Hichem et Walid*

*Et mes collègues d'étude : salma, siham, Taous, yacmine
kanza*

Mon cher binôme et mon ami proche « Khalil »

Tous ceux qui m'aiment

Tout les étudiants de la promo Génie civil 2016

A. Guessoum

Résumé :

Dans ce travail, on s'intéresse à l'étude du comportement mécanique des poutres courtes en béton armé en mode de cisaillement en tenant compte des déformations, de la fissuration et des modes de rupture dus à l'effort tranchant. Les dimensions des poutres étudiées sont: $L = 960$ mm, avec une section transversale de 80×150 mm.

La partie expérimentale sur des poutres courtes en béton armé a été concrétisée, plusieurs poutres courtes ont subies un essai de chargement, les paramètres de notre étude sont : d'apprécier l'influence de variation d'espacement et d'inclinaison des armatures transversales et la résistance du béton à l'effort tranchant.

L'influence des paramètres de l'étude sur la capacité portante des poutres en mode cisaillement est estimé de 06 à 14 %.

Les résultats obtenus dans cette étude sont très satisfaisants, et ils contribuent efficacement à une connaissance plus claire au moins au niveau du mode de rupture et des poutres étudiées.

Mots clés : Poutres courtes, béton armé, comportement mécanique, effort tranchant.

Abstract:

In this work, we are interested by studying of the mechanical behavior of concrete short beams, we are taking a mode into account the deformation, cracking and failure modes due to the shear force. Studied beams of dimensions: $L = 960$ mm, with a cross section of 80×150 mm.

The experimental part of working reinforced concrete beams has been realized, of several short beams and have undergone a load test; the parameters of our study are to assess the influence of variation in spacing and inclination transverse reinforcement and the strength of the concrete shear.

The influence of parameters of the study on the bearing capacity of shear mode beams is estimated 06-14%.

The results obtained in this study are very satisfactory, and effectively contribute to a clearer knowledge at least at the failure mode and studied beams.

Key words: Coulters beams, reinforced concrete, mechanical behavior, shear

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE

PARTIE 01 : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : COMPORTEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES POUTRES EN BETON ARME

I.1 Introduction.....	1
I.2 Comportement mécanique des poutres courtes.....	1
I.2.1 Flexion simple.....	1
I.2.2 Test de flexion trois points.....	1
I.3 Effort tranchant.....	2
I.4 Aperçu sur le comportement vis-à-vis de l'effort tranchant des structures en béton armé.....	4
I.4.1 Mode de Fissuration et Rupture par effort Tranchant.....	4
I.4.2 Rupture par cisaillement et flexion.....	4
I.4.3 Rupture par cisaillement et compression.....	5
I.4.4 Rupture par cisaillement avec glissement.....	5
I.4.5 Rupture par coupure.....	6
I.5 Paramètres influençant le comportement d'une poutre en béton armé vis-à-vis de l'effort Tranchant.....	6
I.6 Effet des armatures d'effort tranchant (étriers) sur le type de ruine.....	7
I.7 Mécanismes de rupture d'une poutre en Béton Armé (BA).....	7
I.8 Résistance du béton armé au cisaillement avec armatures d'effort tranchant (étriers).....	10
I.8.1 Analogie de Mörsch.....	10
I.8.2 Utilisation de l'analogie.....	11
I.9 Comportement des poutres courtes en mode de flexion.....	12
I.10 L'effet des armatures transversales rectangulaires spiral.....	12
I.11 Résistance à l'effort tranchant des poutres sans armatures transversal.....	12
I.12 Conclusion.....	13

Chapitre II: GENERALITES SUR LES MATERIAUX UTILISES

II.1 Introduction.....	14
II.2 Le Béton.....	14
II.2.1 Définition de béton.....	14
II.2.2 Composants.....	14
II.2.2.1 Granulats.....	14
II.2.2.2 Ciment.....	15
II.2.2.3 Eau.....	15
II.3 Les aciers.....	15
II.3.1 Présentation.....	15
II.3.2 Caractéristiques mécaniques.....	16
II.3.3 Classification des aciers pour le béton armé.....	16
II.4 Caractéristiques des matériaux.....	16
II.4.1 Le béton.....	16
II.4.1 les aciers.....	17

PARTIE 02 : ETUDE EXPERIMENTALE

Chapitre I : MATERIELS ET MATERIAUX UTILISES

I.1. Introduction.....	18
I.2 Caractéristiques des matériaux.....	18
I.2.1 Caractéristiques du gravier.....	18
I.2.1.1 Masse volumique.....	18
I.2.2 Caractéristique du sable.....	20
I.2.2.1 Masse volumique.....	20
I.2.3 Caractéristiques des aciers.....	22

I.3 Matériels et essais.....	22
I.3.1 Les essais sur le béton à l'état frais	22
I.3.2 Les essais sur le béton durci.....	24
I.3.3 Détermination de la résistance par les essais destructifs.....	25
I.3.4 Essai d'écrasement.....	25
I.3.5 Matériels de l'essai de flexion des poutres	26
I.3.5.1 La machine de flexion.....	26
I.4 Conclusion.....	27
Chapitre II : FORMULATION DU BETON ET CALCUL DE FIRAILLAGE	
II. Formulation du béton avec $R_b = 30$ MPa	
II.1 Introduction	28
II.2 Formulations des bétons étudiés	28
II.2.1 Calcul de la composition du béton.....	28
II.2.2 Présentation de la méthode.....	29
II.2.3 Formulation du béton avec $R_b = 25$ MPa.....	34
II.4 Calcul de la section de ferrailage	35
Chapitre III: CONFECTION DES POUTRES EN BETON ARME ET DEROULEMENT DES ESSAIS DEFLEXION	
III.1 Introduction.....	37
III.2 Procédure des poutres en béton armé	37
III.2.1 Structure des poutres	37
III.2.2 Composants du béton armé.....	38
III.2.3 Fabrication des poutres en Béton Armé.....	39
III.2.3.1 Ferrailage.....	39
III.2.3.2 Coffrage.....	40
III.2.3.3 Bétonnage.....	41
III.2.3.4 Murissement.....	41
III.3 Configuration des essais de flexion.....	42
III.4 CONCLUSION.....	42
PARTIE 03 : RESULTATS ET INTERPRETATION	
Chapitre I : RESULTATS	
I.1 Introduction	43
I.2 Résultats des essais effectués.....	43
I.2.1 Effet de la variation de la résistance de béton sur la charge de ruine.....	43
I.2.2 Effet de l'espacement d'armatures transversal sur la charge de ruine avec un angle 90° et 45°	43
I.2.2 Effet de l'angle d'inclinaison des armatures transversale sur la charge de ruine.....	44
I.3 Analyse des fissures.....	45
Chapitre II : INTERPRETATIONS	
II.1 Introduction.....	46
II.2 Analyse des graphes.....	46
II.2.1 Résistance du béton	46
II.2.2 Influence de l'espacement des armatures transversales.....	47
II.2.3 influence de l'angle d'inclinaison des armatures transversale	48
II.3 Analyse des fissures	49
II.3.1 Angle α	49
II.3.2 L'espacement	49
II.4 Allure des fissures	50
CONCLUSION GENERALE	
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.I.1 : Flexion de 3 points d'une poutre.....	2
Figure 2.I.1 : Localisation des fissurations dans une poutre.....	3
Figure 3.I.1 : Rupture par cisaillement et flexion.....	4
Figure 4.I.1 : Rupture par cisaillement et compression.....	5
Figure 5.I.1: Rupture par cisaillement avec glissement.....	6
Figure 6.I.1 : Rupture par coupure.....	6
Figure7.I.1: deux poutres isostatiques dont la première ne comporte pas d'armatures transversales.....	7
Figure 8.I.1: Représentation des zones des contraintes élevées d'une poutre chargée en flexion 3 ou 4 points.....	8
Figure 9.I.1: Représentation graphique de la contrainte (σ) en fonction de la déformation (ϵ) d'un élément en béton armé.....	8
Figure10.I.1: Représentation de la fissuration initiale et intermédiaire par flexion d'une poutre en béton armé (BA).....	9
Figure 11.I.1 : fonctionnement d'une poutre en béton armé à celui d'une poutre fictive en treillis.....	10
Figure 12.I.1 : Modèle des treillis incliné et perpendiculaire	11
Figure 13.I.1 : Représentations des charges dans les nœuds inférieurs.....	11
Figure 1.II.1 : Loi de comportement de béton.....	16
Figure 2. II.1: Loi de comportement de l'acier.....	17
Figure 1.I.2: Malaxage.....	22
Figure 2.I.2: Malaxeur.....	22
Figure3.I.2 : Mesure de l'affaissement.....	23
Figure 4 I.2 : Vibration de l'éprouvette.....	24
Figure5.I.2 : Conservation de l'éprouvette	24
Figure6.I.2: Presse hydraulique capacité 3000 KN	25
Figure7.I.2 : Machine de flexion (laboratoire de génie civil université de BBA)	27
Figure1.III.2 : illustration des détails des poutres étudiées.....	37

LISTE DES FIGURES

Figure 2.III.2: Façonnage des armatures.....	39
Figure 3.III.2 : Cadre.....	40
Figure 4.III.2 : Couture d'armature.....	40
Figure 5.III.2 : Ferrailage finale de la poutre.....	40
Figure 6.III.2: Coffrage des poutres.....	43
Figure 7.III.2 : Bétonnage des poutres.....	41
Figure 8.III.2: Murissement des poutres.....	41
Figure 9.III.2: poutre après 28 jours dans l'eau.....	41
Figure 10.III.2: configuration de l'essai de flexion à trois points.....	42
Figure 11.III.2: Essai de flexion type sur une poutre en béton armé.....	42
Figure 1.II.3 : charge de rupture des poutres en fonction de la résistance du béton.....	46
Figure 2.II.3 : la charge de rupture des poutres en fonction de l'espacement transversal des armatures ($\alpha = 90^\circ$).....	47
Figure 3.II.3 : la charge de rupture des poutres en fonction de l'espacement transversal des armatures ($\alpha = 45^\circ$).....	48
Figure 4.II.3 : la charge de rupture des poutres en fonction de l'angle d'orientation des armatures transversales.....	48
Figure 5.II.3 : Allure des fissures et différentes distances étudiées.....	50
Figure 6.II.3 : X_3 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).....	50
Figure 7.II.3 : X_3 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 45^\circ$).....	51
Figure 8.II.3 : X_2 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).....	52
Figure 9.II.3 : X_2 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 45^\circ$).....	53
Figure 10.II.3 : Y_1 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).....	53
Figure 11.II.3 : Y_1 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 45^\circ$).....	54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau1.I.2 : masse volumique apparentes du gravier concassé (3/8), (8/16).....	19
Tableau 2.I.2 : masse volumique absolue du gravier concassé (3/8), (8/16).....	20
Tableau3.I.2 : Masse volumique absolue de sable.....	21
Tableau4.I.2 : Masse volumique apparente à l'état lâche.....	22
Tableau1.II.2: Valeurs des coefficients A et A.....	29
Tableau2.II.2: quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.....	30
Tableau 3.II.2: Valeurs du coefficient « α » en fonction du E/C et dosage en cm.....	31
Tableau 4.II.2: Composition pour un mètre cube de béton (1 m ³) à 30MPa.....	33
Tableau 5.II.2: Composition du mélange pour 03 éprouvette cylindrique (16x32) cm ³ + la majoration.....	33
Tableau 6.II.2: Composition pour un mètre cube de béton (1 m ³) à 25MPa.....	35
Tableau 1.III.2: Caractéristiques des poutres	38
Tableau 1.I.3 : Influence de la résistance de béton sur la charge de ruine.....	43
Tableau 2.I.3 : Effet de l'espacement d'armatures transversal sur la charge de ruine avec un angle 90°	44
Tableau 3.I.3 : Effet de l'espacement d'armatures transversal sur la charge de ruine avec un angle 45°	44
Tableau 4.I.3 : Effet de l'angle d'inclinaison des armatures transversale sur la charge de ruine.....	44
Tableau 5.I.3 : modulation des fissures et différents distances de la fissure.....	45

LISTE DES NOTATIONS

A_{sc} : Aire de la section d'aciers comprimés

A_{st} : Aire de la section d'aciers tendus

b : largeur de la section

d : la hauteur utile de la section

d' : l'enrobage des armatures tendues.

h : hauteur de la section

R_b : résistance du béton à 28 jours

M_u : le moment fléchissant aux états limites ultime

α : Position de l'axe neutre

z : Bras de levier

P : charge appliqué

τ_u : contrainte de cisaillement

μ_u : moment réduit

M_r : moment résiduel

M_R : moment résistant

M_u : moment sollicitant

T_u : effort tranchant:

INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Le béton possède une grande résistance à la compression et une faible résistance à la traction. C'est pourquoi son utilisation comme matériau de construction, ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé. Actuellement le béton armé est le matériau le plus utilisé dans le domaine du bâtiment et du génie civil.

Les éléments des structures en béton armé présentent généralement, un comportement ductile vis-à-vis des sollicitations de flexion.

Cependant, lorsqu'ils sont soumis simultanément à la flexion et à l'effort tranchant, leurs comportements et modes de fissuration deviennent plus Complexes et dépendent de plusieurs paramètres tels que l'élançement, le type de la densité du Ferrailage longitudinal et transversal, la forme de la section transversale etc.....

La poutre en génie civil constitue un élément essentiel formant la structure en béton armé, la connaissance réelle de son comportement en cisaillement va nous servir de base à la maîtrise du comportement mécanique de la structure globale d'un ouvrage en béton armé.

Cette étude est consacrée à l'étude de comportement mécanique des poutres courtes en béton armé sous différentes charges de cisaillement, le dispositif utilisé au laboratoire pour cette étude consistera d'appliquer une charge statique sur plusieurs types de poutres courtes, la finalité est de rechercher le modèle numérique représentant le comportement mécanique des différent cas de poutres en fonction des paramètres variables de l'étude.

Cette étude complètera les résultats obtenus l'année 2013/2014[2] sur le mode de flexion, les connaissances acquises en ce sujet seront donc approfondies pour avoir une idée plus complète sur le comportement globale des poutres courtes.

Dans le cadre de cette étude on s'intéresse à l'étude de comportement mécanique des poutres courtes en béton armé en mode cisaillement jusqu'à la rupture, à partir de la variation de l'espacement, l'angle d'inclinaison des armatures transversales des poutres, ainsi que la variation de la résistance du béton utilisé.

Notre travail expérimental comporte la confection des poutres courtes de longueur 96cm, et de section transversal 8×15 cm, les paramètres suivants sont pris en charge :

- l'espacement de l'armature transversale : 7,10 et 13 cm.

- l'angle d'inclinaison des armatures transversales : 90° et 45°.
- La résistance de béton à 28 jours : 30 MPa , 25 MPa.

Après 28 jours, on applique des essais de flexion en trois points pour étudier :

- Le développement de la charge maximale de rupture.
- La modélisation des fissures de cisaillement.

Notre étude comporte les parties suivantes :

La première partie : Etude théorique. Elle est subdivisée en deux chapitres :

- Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur l'effort tranchant, et des travaux réalisés sur le comportement des poutres à l'effort tranchant.
- Le deuxième chapitre présente des généralités sur les matériaux utilisés (béton, acier).

La deuxième partie : Expérimentale, elle est composée de trois chapitres :

- Le premier chapitre présente les caractéristiques des différents matériaux et matériel utilisées, avec la formulation du béton des éprouvettes de (16 x 32).
- Le deuxième chapitre présente la formulation du béton.
- Le troisième chapitre présente la procédure de confection et de fabrication des poutres en béton armé, le ferrailage, bétonnage, coffrage, avec le type de murissement adopté. La configuration de l'essai de flexion trois points est également présentée.

La troisième partie : Résultats et interprétation, elle se compose en de deux chapitres :

- Le premier chapitre décrit les résultats de l'essai de flexion.
- Dans le deuxième chapitre on présente un développement graphique des résultats, avec l'analyse et l'interprétation des résultats. Une étude détaillée des fissures obtenues (longueur, l'intervalle de la fissuration) a été menée, la relation entre la charge maximale de rupture des poutres avec la variation des paramètres suivants : l'espacement et l'angle d'inclinaison des armatures transversales et la résistance de béton a été concrétisée, des courbes et des relations mathématiques ont été développées.

A travers le contenu de ce mémoire et la problématique déclarée, on s'intéresse aux objectifs suivants :

1. Cibler les points forts et les points faibles concernant la capacité portante des poutres courtes en béton armé, à travers le cheminement correcte des efforts.
2. Connaitre le comportement mécanique des poutres courtes en béton armé en mode cisaillement.
3. Préciser l'effet de l'effort tranchant sur le mode de rupture des poutres courtes.
4. Définir la contribution mécanique des matériaux dans la capacité portante des poutres.

PARTIE 01

Etude Bibliographique

CHAPITRE I

Comportement Et Endommagement Des Poutres En Béton Armé

I COMPORTEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES POUTRES EN BETON ARME

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudier le mode de cisaillement comme Comportement mécanique des poutres en béton armé, et le comportement géométrique, les mécanismes d'endommagement du béton, les différents types des fissures et la rupture. Il décrit également les mécanismes des poutres en béton armé.

I.2 Comportement mécanique des poutres courtes :

Les comportements mécaniques des poutres sont : la compression, la traction, et la flexion. Pour cette étude nous allons décrire l'effort tranchant à partir d'essai de la flexion simple en trois points.

I.2.1 Flexion simple:

La flexion est la déformation d'un objet qui se traduit par une courbure. Dans le cas d'une poutre, elle tend à rapprocher les deux extrémités de la poutre. Dans le cas d'une plaque, elle tend à rapprocher deux points diamétralement opposés sous l'action.

L'essai de flexion d'une poutre est un essai mécanique utilisé pour tester la résistance en traction. On utilise la flexion de « trois points » et la flexion de « quatre points ».

I.2.2 Test de flexion trois points:

Dans ce test, un échantillon avec ronde, rectangulaire ou une section transversale plane est placée sur deux axes de support parallèles. La force de chargement est appliqué dans le milieu par le biais de chargement broche.

Le soutien et les broches de chargement sont montés d'une manière permettant leur libre rotation autour de: axe parallèle à l'axe de broche; axe parallèle à l'axe de l'éprouvette.

Cette configuration permet un chargement uniforme de l'échantillon et empêche le frottement entre l'échantillon et les axes de support.

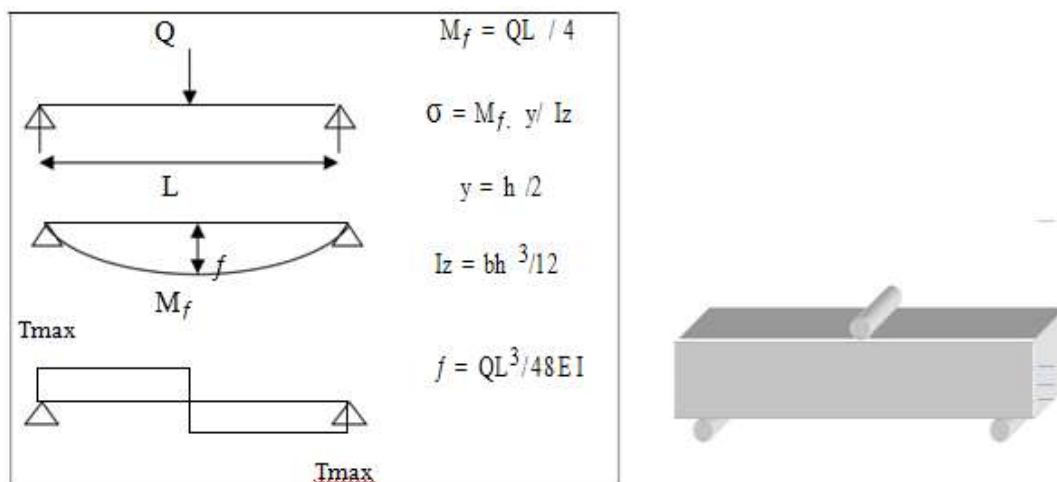


Figure 1.I.1: Flexion de 3 points d'une poutre [2].

I.3 Effort tranchant :

Le plus souvent sont retrouvés des efforts de flexion, de torsion, de traction et de cisaillement.[3] Pour une poutre sollicitée en flexion simple ou composée ,les efforts dans une section se décomposent en un moment fléchissant M ,un effort normal N et un effort tranchant V qui présente la variation du moment fléchissant le long de la poutre ($V=dM/dx$)[11] .

Le moment fléchissant engendre des contraintes normales et l'effort tranchant des contraintes tangentes [11]. L'effort tranchant fait glisser les uns par a apport aux autres, les plans perpendiculaires au plan moyen et les plan parallèles au plan moyen, comme le montre les figures suivantes .des contraintes tangentes τ apparaissent dans ces plans pour s'opposer à ces glissements [11].

L'effort tranchant varie dans la hauteur de la section ,le cas d'une poutre de section rectangulaire sa variation est parabolique avec un maximum au niveau de centre de gravité [4].

Dans les sections transversales de la zone de cisaillement, pour éléments de constructions tels que les poutres, les contraintes principales σ_1 sont positives (tensions) sur toute la hauteur de la section. Ceci indique que les axes neutres de la flexion et du cisaillement ne se confondent pas.

Dans une poutre non fissurée en béton armé, le système des lignes de force des contraintes principales est presque le même que celui d'une poutre homogène.

Par contre, à partir de l'apparition des fissures l'état de contrainte dans une poutre en béton armé est entièrement différent et dépend du type et du nombre des fissures inclinées [5]. L'apparition des fissures dans le béton correspond le plus souvent à son caractère de matériau fragile, et la direction des fissures est perpendiculaire à la direction des contraintes de tension [5].

Le ferrailage d'une poutre soumise à l'effort tranchant est généralement comme suit :

- Des armatures longitudinales (barres) pour les contraintes normales de tractions.
- Des armatures transversales (généralement treillis) pour empêcher les efforts tranchants.

Dans une poutre continue en béton sur appuis simple, chargée comme indiqué sur la figure 2.I.1, la fissuration à l'allure suivante (d'après Emmons [3]):

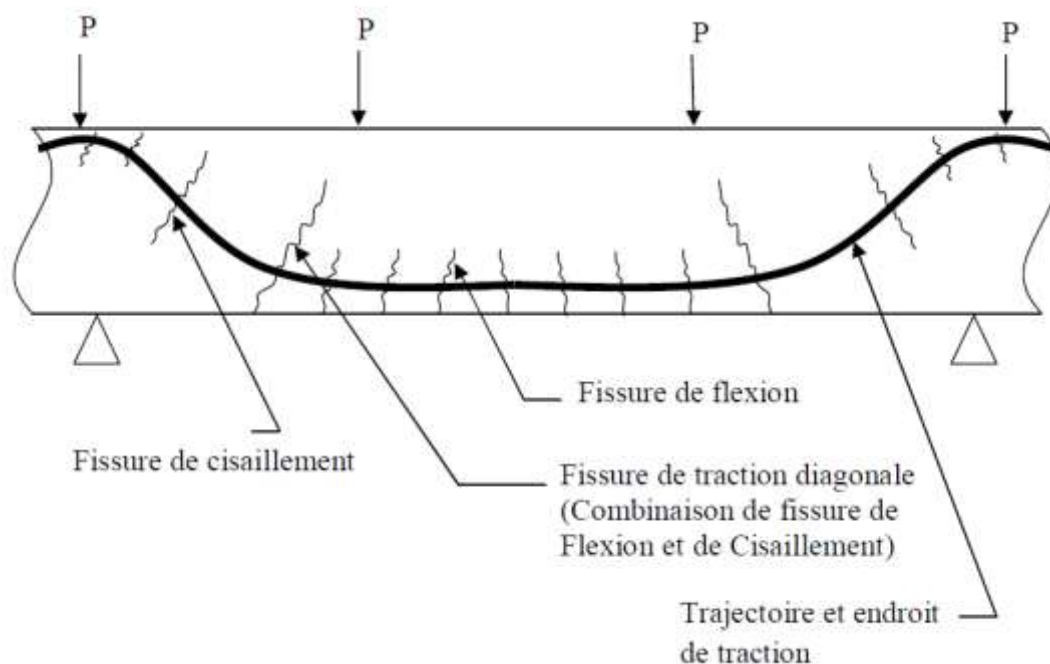


Figure 2.I.1 : Localisation des fissurations dans une poutre [3].

Généralement, dans une poutre en béton armé, les fissures dues aux efforts de cisaillement se forment aux endroits où la contrainte de cisaillement dépasse la résistance du béton en traction. Un effort tranchant crée de la traction oblique et en cas d'insuffisance de l'armature transversale, les fissures se développent.

Dans le cas d'une poutre à portée simple, elles se forment dans le tiers de la portée voisine aux appuis et sont inclinées grossièrement à un angle θ généralement admis égal à 45° dans les normes (Figure. 2. I.1). L'apparition de ce type de fissure démontre un problème lié à des efforts tranchants [3].

I.4 Aperçue sur le comportement vis-à-vis de l'effort tranchant des structures en béton armé :

I.4.1 Mode de Fissuration et Rupture par effort Tranchant :

Pour ce qui concerne les modes de rupture, plusieurs possibilités sont envisageables, en fonction de la quantité d'armatures longitudinale et transversale, de la forme de la section, de l'adhérence des armatures au béton et du mode d'ancrage des barres au-dessus des appuis, en fonction de la géométrie de la poutre le rapport l/h est généralement utilisé pour distinguer les différents types de poutre en béton armé, où l est la distance entre l'appui et le point d'application de la charge et h la hauteur effective de la section de la poutre. Ainsi, les poutres sont classées comme suit :

- Poutre très profondes $L/h \leq 1$.
- Poutres profondes $1 < L/h \leq 2,5$.
- Poutres élancées $2,5 < L/h \leq 6$.
- Poutres très élancées $L/h > 6$.

Nous distinguons comme suite quelques types de ruptures de la zone de cisaillement :

I.4.2 Rupture par cisaillement et flexion :

Ce type de rupture se caractérise par la disposition des fissures représentées sur la figure (3.I.1) . Il peut apparaître quand la poutre est relativement ramassée et n'est pas suffisamment armée à la flexion sur toute sa longueur.

Dans le cas de réduction d'armature en fonction du diagramme des moments, la limite d'écoulement de l'acier de l'armature principale est atteinte en dehors du centre de la poutre, dans la zone de l'action simultanée de l'effort tranchant et du moment fléchissant (T et M).

Ceci conduit à un cheminement excessif de la fissure oblique et finalement à la rupture qui se traduit par l'écrasement du béton dans la zone au-dessus de cette fissure.

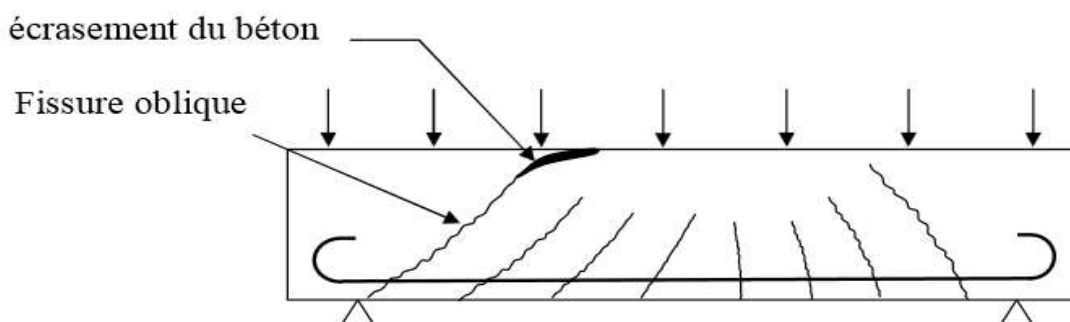


Figure 3.I.1 : Rupture par cisaillement et flexion.

I.4.3 Rupture par cisaillement et compression :

Ce mode de rupture peut intervenir dans les poutres dont l'armature principale est relativement importante et l'armature transversale faible ou même inexistante.

La cause de la rupture est la destruction du béton par séparation et glissement dans la zone de compression au-dessus de l'extrémité de la fissure oblique. A cet endroit, une pseudo d'articulation se forme, autour de laquelle a lieu une rotation des deux parties de la poutre séparées par la fissure oblique (figure 4.I.1), avec un glissement tangentiel simultané.

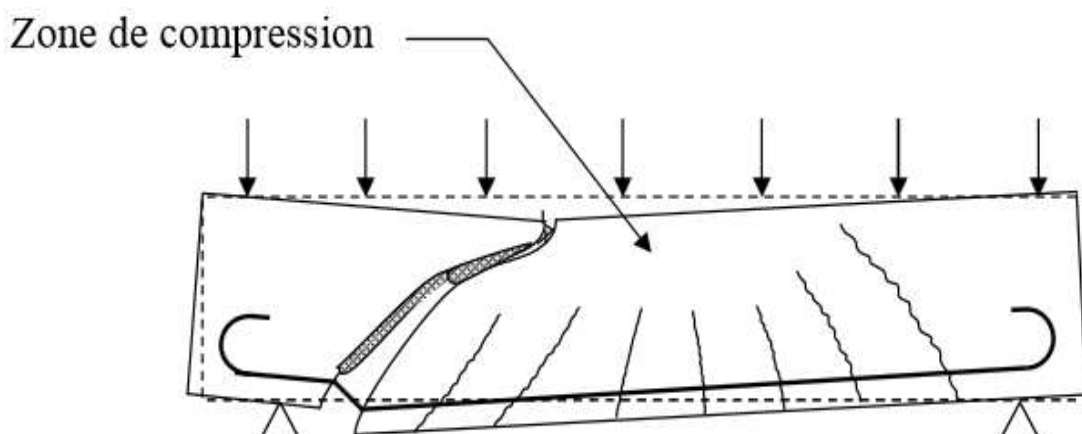


Figure 4.I.1 Rupture par cisaillement et compression [6].

I.4.4 Rupture par cisaillement avec glissement :

Après l'apparition des premières fissures obliques, l'ouverture de l'une d'elles augmente avec la charge et de nombreuses petites fissures inclinées s'ouvrent au niveau de l'armature principale (figure 5.I.1), l'adhérence de l'acier au béton disparaît graduellement. Finalement, l'épuisement de la capacité portante de l'élément est causé par le glissement des armatures principales dans l'encrage au-dessus de l'appui. Dans ce cas, les crochets des barres lisses provoquent des éclatements visibles sur les faces frontales de la poutre si l'armature locale transversale n'est pas convenablement prévue.

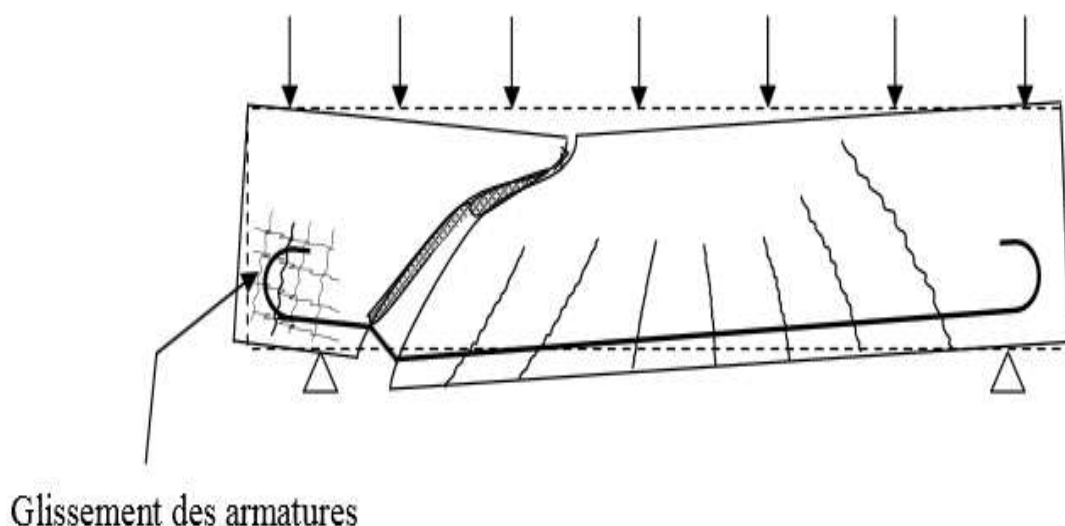


Figure 5.I.1: Rupture par cisaillement avec glissement [6].

I.4.5 Rupture par coupure :

La rupture par coupure ne peut intervenir que dans le cas d'un effort transversal très important avec un faible moment fléchissant sur des poutres minces, donc surtout quand une force concentrée est appliquée près de l'appui.

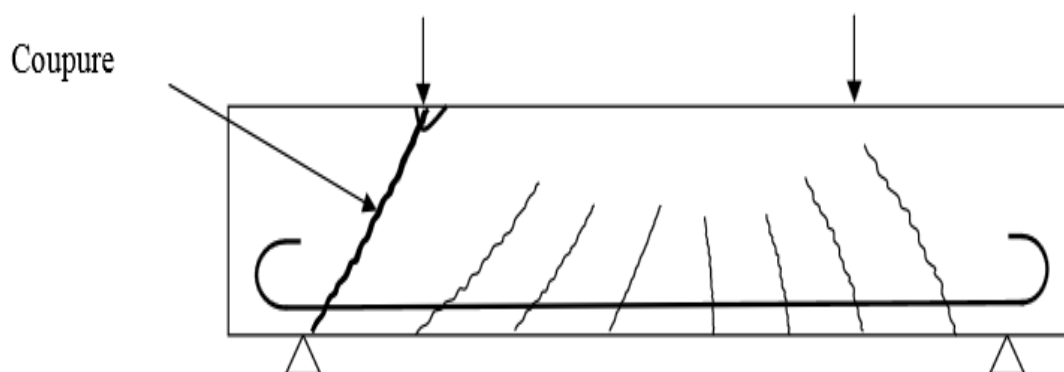


Figure 6.I.1 : Rupture par coupure [6].

I.5 Paramètres influençant le comportement d'une poutre en béton armé vis-à-vis de l'effort Tranchant :

De nombreux facteurs influencent le comportement des éléments en béton armé vis-à-vis de l'effort tranchant, qui le rend complexe car la rupture varie en fonction de la charge appliquée, de la présence ou non d'armature transversale, des dimensions et géométrie de la poutre, de l'adhérence acier/béton, de la résistance du béton ainsi que de celle de l'acier [18].

I.6 Effet des armatures d'effort tranchant (étriers) sur le type de ruine:

La figure (7.I.1) montre deux poutres isostatiques semblables mais dont la première ne comporte pas d'armatures d'effort tranchant.

Ces deux poutres ont été soumises à un chargement identique constitué de deux charges concentrées aux $1/3$ et $2/3$ de la portée.

On a remarqué, pendant l'essai, que la première poutre s'est ruinée prématurément par fissuration diagonale et décollement du béton situé au-dessus de l'armature de flexion [7].

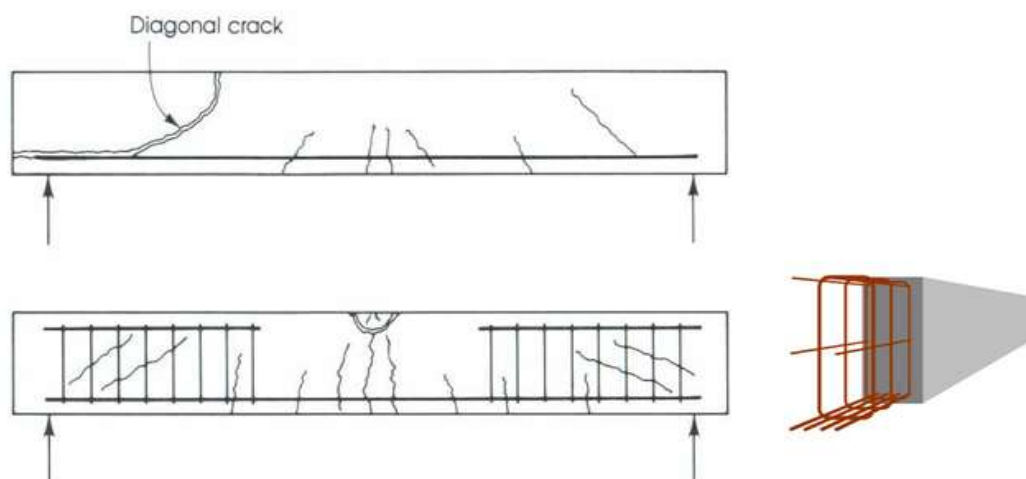


Figure 7.I.1: Deux poutres isostatiques dont la première ne comporte pas d'armatures transversale [7].

I.7 Mécanismes de rupture d'une poutre en Béton Armé (BA) :

Les mécanismes de rupture qui sont décrits en détail dans ce chapitre correspondent aux situations étudiées dans le cadre de ce travail.

Le comportement global, d'une poutre en béton armé soumise à un essai de flexion trois Points ou quatre points est composé de 3 phases [8].

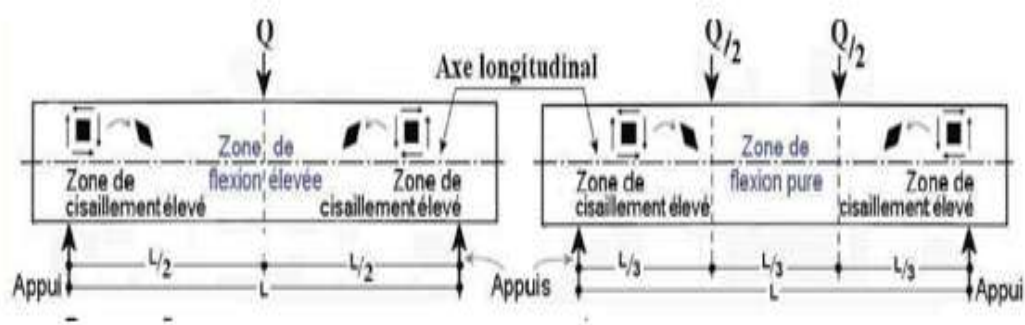


Figure 8.I.1: Représentation des zones des contraintes élevées d'une poutre chargée en flexion 3 ou 4 points.[9]

La Figure 9.I.1 illustre graphiquement les 3 phases qui se produisent pendant un chargement de flexion.

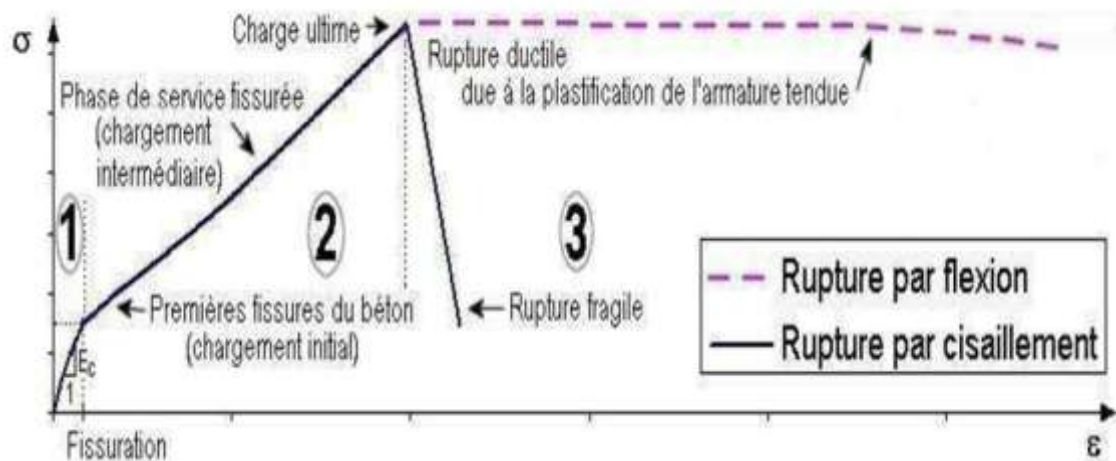


Figure 9.I.1: Représentation graphique de la contrainte (σ) en fonction de la déformation (ϵ) d'un élément en béton armé. [9]

La **1re phase** linéaire correspond au comportement élastique de service des poutres non fissurées.

La **2ème phase** linéaire correspond au comportement de service mais lorsque la poutre est fissurée.

Pendant cette phase, il n'existe pas de différence notable du développement de la fissuration initiale que la poutre ait été endommagée par cisaillement ou par flexion. De toutes les façons, la fissuration commence avec l'apparition de fissures due à la flexion dans la partie inférieure centrale de la poutre.

Ensuite, ces premières fissures dites de flexion se propagent vers le haut de la poutre (Figure 10.I.1). Les fissures dans les zones de cisaillement élevé se propagent dues à la contrainte principale oblique. Ces dernières fissures sont appelées fissures de cisaillement par flexion.

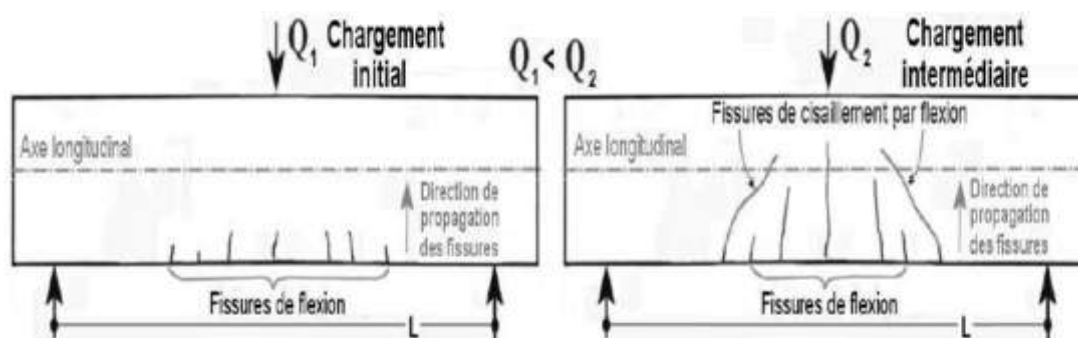


Figure 10.I.1: Représentation de la fissuration initiale et intermédiaire par flexion d'une poutre en béton armé (BA) [8].

La principale différence, entre l'endommagement par cisaillement et celui par flexion, se constate à la rupture de la poutre :

3ème phase du comportement. Deux mécanismes principaux de rupture existent : rupture par flexion (F) ou rupture par cisaillement. La rupture par flexion peut se produire :

Par la plastification de l'armature tendue ou par compression du béton associée à la plastification de l'armature tendue. La rupture par cisaillement est due soit à : i) la contrainte principale oblique (CO), ii) la compression par cisaillement (CC) ou iii) l'adhérence par cisaillement (AC). Ces quatre mécanismes de rupture sont présentés dans les paragraphes suivants :

Ces mécanismes de rupture dépendent de la résistance des matériaux, des dimensions de la structure et du type de chargement. La résistance à la flexion d'une poutre en béton armé est apportée principalement par l'armature tendue et les propriétés du béton.

La résistance aux efforts tranchants est assurée par l'armature transversale (cadres) et les caractéristiques du béton. Les calculs des résistances à la flexion et aux efforts tranchants sont, respectivement, expliqués dans les sections.

I.8 Résistance du béton armé au cisaillement avec armatures d'effort tranchant (étriers) :

I.8.1 Analogie de Morsch :

Lorsque $V_{Ed} > V_{Rd,c}$, des armatures transversales deviennent nécessaires pour assurer la reprise des efforts de traction dus à l'effort tranchant.

Pour établir les équations d'équilibre, on se base sur l'analogie de Morsch qui consiste à comparer le fonctionnement d'une poutre en béton armé à celui d'une poutre fictive en treillis

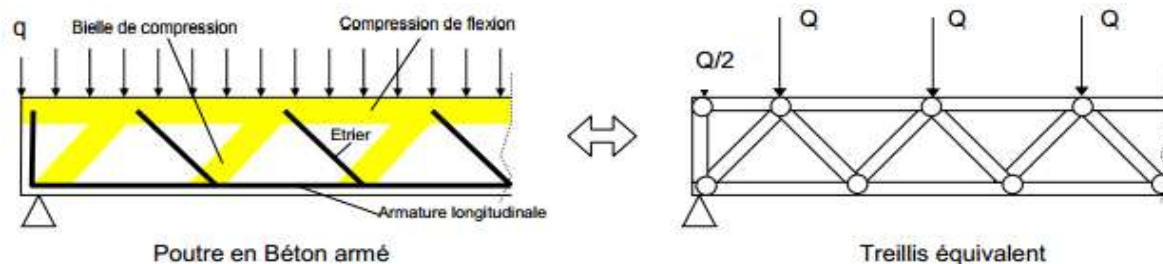


Figure 11.I.1 Fonctionnement d'une poutre en béton armé à celui d'une poutre fictive en treillis [7].

La membrure supérieure de la poutre fictive correspond à la zone de compression dans le béton tandis que la membrure inférieure correspond à l'armature tendue.

Les diagonales comprimées du treillis correspondent aux "bielles" de compression dans l'âme de la poutre en béton et les diagonales tendues correspondent aux armatures d'effort tranchant, appelées « étriers ».

Cette modélisation à partir d'un treillis simple isostatique est sécuritaire pour l'évaluation de la résistance des éléments de structure car elle se fonde sur le théorème statique de la théorie de la plasticité:

"L'existence d'une distribution interne imaginaire de forces en équilibre avec les forces extérieures donne la certitude que la pièce considérée est capable de supporter des forces supérieures, ou au minimum égales aux forces extérieures considérées."

Partant de ce théorème, il n'existe pas un treillis unique auquel on doit se référer mais bien une infinité de modèles dépendant de la dimension des diagonales de béton et d'acier, de leur inclinaison, de leur degré d'encastrement ... L'analogie de Morsch se complète notamment par un modèle de treillis en N dont la correspondance de disposition verticale des étriers dans une poutre en béton est plus conventionnelle et tout aussi acceptable pour reprendre l'effort tranchant au vu du théorème statique.

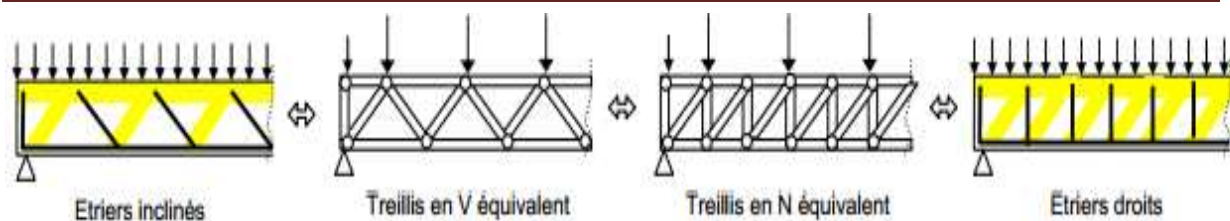


Figure 12.I.1 : Modèle des treillis incliné et perpendiculaire [7].

1.8.2 Utilisation de l'analogie :

La norme propose la méthode dite des "bielles d'inclinaison variable" : elle est basée sur le modèle simplifié du treillis, mais, s'inspirant de constatations expérimentales, permet de faire varier l'angle θ de la bielle comprimée dans des limites fixées entre $0,5 < \cot \theta < 2$. Ce qui correspond à des angles de $63^\circ > \theta > 27^\circ$.

L'inclinaison des étriers peut aussi varier entre $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$

La norme n'autorise pas de prendre en compte, dans cette approche la composante VRd,c (qui est implicitement exploitée par la variation possible de l'angle de la "bielle" de béton). Une limitation du pourcentage mécanique d'étrier est également ajoutée.

Sauf cas particulier, le bras de levier "z" entre les membrures peut être pris, par simplification, égal à 90% de la hauteur utile, soit: $z = 0,9.d$.

La modélisation de la poutre réelle en béton par un treillis, ne va pas sans poser quelques problèmes de représentation. Ainsi, l'effort externe réparti sur la longueur de la poutre doit être remplacé, dans le treillis, par des charges nodales Q appliquées aux nœuds.

En choisissant de charger les nœuds de la membrure inférieure du treillis, on amplifie légèrement l'effet de traction dans les diagonales tendues. Cette hypothèse est plus sécuritaire que celle qui consiste à charger les nœuds supérieurs [7].

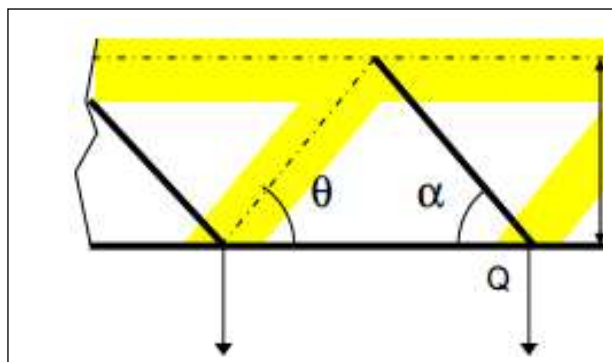


Figure 13.I.1 : Représentations des charges dans les nœuds inférieurs.

I.9 Comportement des poutres courtes en mode de flexion :

Une étude sur les poutres courtes de béton armé en mode flexion a été élaborée à notre université dans le laboratoire de génie civil pendant l'année universitaire 2013/2014 .l'objectif de cette étude est de faire la description qualitative et quantitative de comportement mécanique en étudiant la variation de taux d'armature longitudinale ,ils ont confectionné 12 poutres avec une variation de l'armature longitudinale supérieure et inférieure pour montrer l'influence de cette variation sur la contrainte maximale de rupture et les fissures résultantes des poutres [2] .

Dans le cadre de la présente étude nous présentons un complément de ce travail par l'étude en mode cisaillement.

I.10 L'effet des armatures transversales rectangulaires en spiral :

Les deux chercheurs [CHRIS .Karayannis et E.Chalioris] étudie Le comportement des poutres en béton armé en mode de cisaillement critiques avec une section d'armature transversale rectangulaire en spiral comme renfort transversal sous une charge monotone est expérimentalement étudiée. . Le programme expérimental comprend huit (8) poutres. Les résultats des tests indiquent clairement que l'utilisation du renforcement en spirale rectangulaire augmente la capacité portante et améliore des performances de cisaillement dans les poutres examinées. Des Poutres avec un espacement de renforcement en spirale à 120 mm et 80 mm présentent 14,9% et 14,7% d'augmentation de la capacité de cisaillement par rapport aux poutres correspondantes avec des étriers, respectivement. Des poutres avec des spirales avancées espacement à 120 mm et 80 mm présentaient 17,2% et 21,7% augmentation de la capacité de cisaillement par rapport aux poutres correspondantes avec des étriers, respectivement. En outre, les poutres avec des spirales avancées présentaient des valeurs de déformation ductilité 2,10 et 2,60, respectivement, démontrant ainsi l'amélioration de post-pic de déformation ductilité par rapport aux faisceaux avec une quantité égale d'étriers [13].

I.11 Résistance à l'effort tranchant des poutres sans armatures transversales :

Dans ce contexte [14], les auteurs ont mené une campagne expérimentale dont l'objectif se décline en trois points :

1- l'étude de l'influence des principaux facteurs affectant la résistance à l'effort tranchant (résistance à la compression du béton, portée relative de cisaillement, taux d'armature longitudinale),

2- l'étude des faciès de fissures et modes de rupture,

3- l'analyse comparative des règlements vis-à-vis de la contribution du béton à la résistance à l'effort tranchant. La discussion des résultats d'essais montre que la capacité portante à l'effort tranchant est peu sensible à la résistance en compression. En termes de rupture, les poutres en béton à hautes performances ont eu un comportement fragile avec une rupture localisée. On a observé un faciès de rupture diagonale relativement lisse. Les résultats d'essais sont aussi comparés avec les différentes prédictions théoriques de la contribution du béton à l'effort tranchant et, enfin, des conclusions sont tirées.

Ils ont conclu :

-Le passage d'une résistance à la compression de l'ordre de 44 MPa à 85 MPa augmente la capacité portante à l'effort tranchant d'une poutre de 7 à 14%. Il s'agit d'un petit avantage, étant donné que la résistance à la compression a été presque doublée.

- L'augmentation du taux d'armatures longitudinales augmente la capacité ultime de cisaillement et réduit la flèche à mi- portée ; une augmentation de 19 % a été enregistrée entre la poutre B80-2-1 ($\rho = 1.2 \%$) et la poutre B80-2-2 ($\rho = 2.4\%$).

- La charge ultime est sensiblement égale à la charge à laquelle la fissure diagonale s'est développée pour les poutres en béton ordinaire. Tandis que pour les poutres en béton à hautes performances, la charge de rupture est supérieure de 27 % par rapport à la charge causant la fissure diagonale.

- Les quatre règlements restent très sécuritaires par rapport aux résultats expérimentaux pour les poutres ayant $a/d = 1.5$ et 2.0 . La marge est en revanche faible pour $a/d = 3.0$ [14].

I.12 Conclusion :

Dans ce chapitre on a vu des différents types de mécanismes de rupture par cisaillement et quelques notions sur l'effort tranchant, ainsi que quelques travaux réalisés en ce terme.

CHAPITRE II

Généralités Sur Les Matériaux Utilises

II. GENERALITES SUR LES MATERIAUX UTILISES :

II.1 Introduction:

Ce chapitre présente une définition d'un béton, et leurs composants, tels que les granulats, le ciment, et l'eau. Ainsi décrit les caractéristiques d'acier et leur classification, puis apercevoir les caractéristiques des matériaux.

II.2 Le Béton :

II.2.1 Définition de 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 hydraté et le sable constituent 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 [10].

II. 2.2 Composants :

Une proportion précise des composants du béton est fondamentale pour obtenir les caractéristiques mécaniques visées pour la structure finale. Ces composants sont énoncés ci-dessous :

II. 2.2.1 Granulats :

Les granulats se caractérisent par les propriétés intrinsèques de la roche dont ils sont issus : coloration, caractéristiques mécaniques et physico-chimiques. Ils vont influencer directement les propriétés esthétiques, mécaniques et la durabilité du béton. Le granulat est généralement composé de sable, de gravier, de pierres concassées, de galets ou de cailloux.

Les granulats sont également traités mécaniquement pour adapter leur forme, leur granulométrie et leurs propriétés. Ces traitements influencent très fortement les caractéristiques comme la demande en eau, l'ouvrabilité et la résistance mécanique du béton. Composant du ciment ayant la forme d'un nodule cristallisé résultant de la cuisson, dans un four de calcination, d'un mélange dosé de calcaire et d'argile.

II. 2.2.2 Ciment:

Le ciment joue le rôle de liant dans le béton hydraulique. Il est lui-même composé de clinker, associé à des constituants secondaires tels que le laitier de haut fourneau :

Un résidu minéral issu de la préparation de la fonte à partir du minerai de fer et du coke métallurgique, de cendres volantes ou de fillers calcaires (granulats fins obtenus par broyage de roches).

Suivant la proportion de ces éléments, cinq types de ciment sont possibles : le ciment Portland, le ciment Portland composé, le ciment de haut fourneau, le ciment de haut-fourneau à haute teneur en laitier, le ciment aux laitiers et le ciment aux cendres. Le ciment Portland est utilisé dans la préparation des bétons armés. Le ciment Portland composé est, quant à lui, destiné aux travaux de dallage et aux routes. Les autres types de ciment sont réservés aux travaux ne nécessitant pas une résistance particulière à la chaleur. Ils sont tous indiqués pour les travaux souterrains et les ouvrages massifs en eaux agressives.

II. 2.2.3 Eau:

Il est important de respecter les proportions de tous les composants, spécialement de l'eau de gâchage. Par exemple, trop d'eau augmente la porosité du béton et modifie ses propriétés mécaniques et sa durabilité.

L'association ciment - eau génère des réactions extrêmement complexes. Silicates et aluminates se développent pendant la phase d'hydratation. Ils forment alors un gel cristallin qui marque le début du phénomène de "prise".

Au cours de la phase de durcissement, qui peut durer plusieurs mois, la multiplication des microcristaux augmentent les résistances mécaniques. Le béton se transforme, alors, en une véritable roche composite [2].

II.3 Les aciers :

II.3.1 Présentation :

Le matériau acier est un alliage fer et carbone en faible pourcentage

- les aciers utilisés en BA sont les aciers de nuance donc (0,15 à 0,25%) aciers de nuance mi-dure et dure (0,25 à 0,40 % de carbone).

II.3.2 Caractéristiques mécaniques : La caractéristique mécanique qui sert de base aux justifications est la limite d'élasticité garantie désignée par f_e . Elle varie en fonction du type d'acier. Le module d'élasticité longitudinale E_s est pratiquement constant quel que soit l'acier utilisé et est pris égal à : $E_s=200\ 000$ MPa, Le diagramme déformations-contraintes a l'allure suivante pour la traction, (le diagramme est symétrique pour la compression).

II.3.3 Classification des aciers pour le béton armé:

On utilise pour le béton armé, les ronds lisses, les armatures à haute adhérence et les treillis soudés. On considère pour l'acier un poids volumique de 78,5 KN/m³.

➤ Les ronds lisses (\emptyset) :

Ce sont des aciers doux, laminés à chaud et de surface lisse, ne présentant aucune aspérité. Les nuances utilisées sont les FeE215 et FeE235.

➤ Les armatures à hautes adhérences (HA) :

Elles sont obtenues par laminage à chaud d'un acier naturellement dur.

Ces armatures ont leur surface marquée par des crénelures de formes diverses de façon à assurer une meilleure adhérence avec le béton. Ces aciers existent dans les nuances FeE400 et FeE500 [2].

II.4 Caractéristiques des matériaux:

II.4.1 Le béton :

Aux états limite ultimes, le diagramme contraintes-déformations utilisé est le diagramme dit "parabole-rectangle" [1,15].

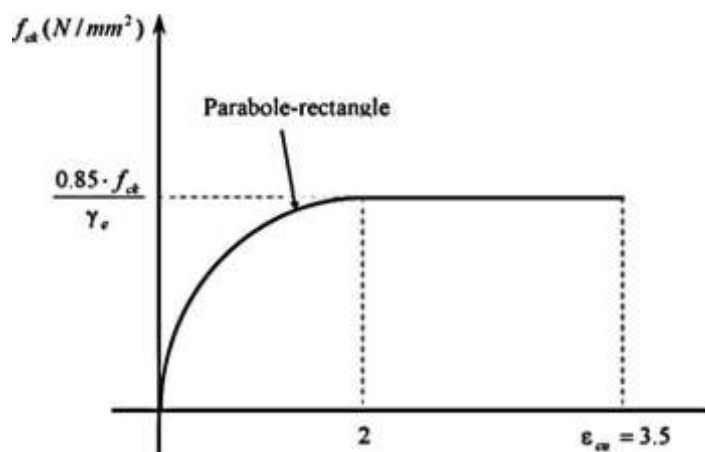


Figure 1.II.1: Loi de comportement de béton [1].

La résistance à la compression de calcul du béton est définie par une résistance caractéristique obtenue à partir de testes à la compression sur des cylindres f_{ck} . La résistance

caractéristique de calcul du béton, est déduite de la résistance caractéristique à la compression par application du coefficient de sécurité γ_c . La valeur de γ_c est généralement prise égale à 1,5.

II.4.2 Les aciers :

Le diagramme contraintes-déformations de l'acier est représenté ci-dessous. Son comportement est identique en traction et en compression. La courbe reste linéaire dans la phase élastique jusqu'à la contrainte limite d'écoulement $f_s = f_{yk}$; au delà de ce point la contrainte est constante avec un accroissement des déformations aux états limites ultimes, la loi du comportement de calcul se déduit par affinité oblique (pénalisation), d'un rapport γ_s , comme étant coefficient de sécurité. La valeur de γ_s est prise égale à 1,15. Dans la phase élastique, la relation entre les contraintes et ses déformations relatives est définie par la loi de "Hooke": $f_s = E_s \times \varepsilon_s$

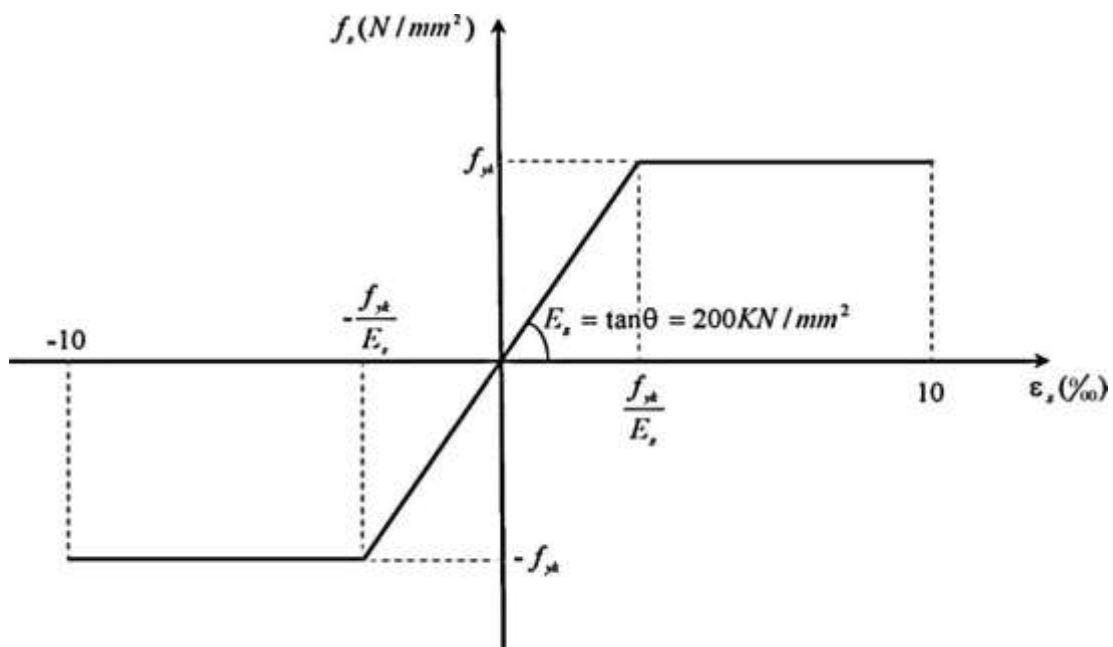


Figure 2.II.1: Loi de comportement de l'acier [1].

PARTIE 02

Etude Expérimentale

CHAPITRE I

*Matériels Et Matériaux
Utilises*

I. MATERIELS ET MATERIAUX UTILISES

I.1. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons étudier les différents matériaux à utiliser dans la confection des bétons à étudier ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes, normes françaises et les modes opératoires en vigueur, lors les caractéristiques du matériaux, , et La masse volumique apparente et absolue, La masse volumique apparente et absolue, et préparée les éprouvettes par méthode SCRAMTAIEV pour mesurer la résistance de béton classe 30 MPa, et les matériels utilisés pour ces essais.

I.2 Caractéristiques des matériaux :

Les granulats sont caractérisés par des spécificités qu'ils doivent satisfaire pour réaliser une bonne utilisation dans différents domaines. Ces spécifications dites caractéristiques des granulats sont bornées par des normes et des exigences. Elles servent à prendre en compte l'utilisation, la fiabilité, l'économie en se basant sur les recherches et les expériences scientifiques [12].

I.2 1 Caractéristiques du gravier :

Le gravier utilisé pour la confection du béton est le gravier de Sétif obtenue après Concassage de la roche .Les fractions utilisées sont : (3/8), (8/16).

I.2.1.1 Masse volumique :

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité sur le volume de ce corps. Il ne faut pas confondre entre la masse volumique et la densité : Une densité est le quotient entre la masse d'un certain volume d'un matériau et la masse du même volume d'eau à 4 °C, c'est - à - dire une grandeur sans unité.

Comme il existe le volume apparent et le volume absolu, on distinguera :

a. La masse volumique apparente (γ):

C'est la masse d'un corps par unité de volume apparent en état naturel (y compris les vides et les capillaires). Elle est exprimée en (g / cm^3 ; Kg / m^3 ; t / m^3).

❖ Principe :

Il s'agit de remplir une mesure de 1 litre ou plus (2 litres, 5 litres) avec le matériau et de Déterminer la masse du contenu.

Le mode de remplissage de la mesure, a une influence très importante sur les résultats, il faudra réaliser les essais avec du matériel aussi simple que possible, et très soigneusement.

❖ **Mode opératoire :**

Peser le récipient à vide et noter M1.

- Prendre le matériau dans les 2 mains formant entonnoir.
- Placer les 2 mains à 10 cm environ au-dessus de la mesure et laisser tomber le matériau ni trop vite, ni trop lentement.

- Verser ainsi le matériau au centre de la mesure jusqu'à ce qu'il déborde autour en formant un cône.

- Araser à la règle.

- Peser le contenu et noter M2.

- Il résulte que : $\gamma = (M2 - M1) / V \dots\dots\dots(1)$

- M1 : masse du récipient vide.

- M2 : masse du récipient et gravier

- V : volume de récipient.

Tableau1.I.2: *masse volumique apparentes du gravier concassé (3/8), (8/16).*

Gravier	M2 (kg)	M1 (kg)	V (L)	γ moy (kg/l)	
(3/8)	1,510	M=0,064	1 litre	1.459	
	1,531				
	1,529				
(3/16)	1,531	M=0,064		1 litre	1.465
	1,525				
	1,527				

b. La masse volumique absolue ou spécifique (ρ):

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule sans tenir compte les vides et les pores). Elle est exprimée en (t/m^3 , kg/dm^3 , g/cm^3).

❖ **Principe :**

Le volume absolu ou réel d'un corps est généralement déterminé en mesurant le volume d'un liquide que déplace l'introduction de ce corps.

De nombreuses méthodes permettent de déterminer les masses et volumes des matériaux à étudier, dans notre étude en va utiliser la méthode de l'éprouvette graduée.

❖ **Mode opératoire :**

- Mettre dans une éprouvette graduée en verre un volume d'eau V1 (400 ml).
- Peser une masse M du corps (300 g) et l'introduire dans l'éprouvette.
- Bien éliminer les bulles d'air.
- Lire le nouveau volume V2.
 - Le volume absolu ou réel est : $V = V2 - V1 \dots (2)$.
 - La masse volumique réelle est : $\rho = M / (V2 - V1) \dots (3)$

L'opération se fait 03 fois et en prendre la moyenne [16].

Les résultats obtenus sont classés dans le tableau suivant :

Tableau 2.I.2 : *masse volumique absolue du gravier concassé (3/8), (8/16).*

Gravier	M (g)	V1 (ml)	V2 (ml)	ρ (kg/l)	ρ Moy (kg/l)
(3/8)	300	400	520	2,50	2,52
			518	2,54	
			519	2,52	
(3/16)			513	2,65	2,65
			512	2,67	
			511	2,63	
ρ Moy (kg/l) = 2,58					

I.2.2 Caractéristiques du sable :

I.2.2.1 Masse volumique : (NFP18555)

a. Masse volumique absolue de sable :

❖ Définition:

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105 °C, notée ρ et exprimée en (g/cm^3 , kg/m^3 ou T/m^3).

❖ But de la mesure :

Cette essai a permis de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple, on élabore une composition du béton, ce paramètre permet en particulier de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

❖ Matériel :

- Des éprouvettes graduées.
- Une balance.

❖ **Mode opératoire :**

La mesure s'effectue par la méthode de l'éprouvette graduée selon les étapes suivantes: Remplir une éprouvette graduée avec un volume d'eau V_1 , ($V_1 = 250$ ml).

- Peser un échantillon sec M de granulats (environ 150g) et l'introduit dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

- Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le niveau V_2 , la masse volumique est alors:

$$\rho_{\text{abs}} = M / (V_2 - V_1) \dots \dots (4)$$

On refait l'opération trois fois et on trouve les résultats inscrits dans le tableau suivant :

Tableau 3.I.2 : Masse volumique absolue de sable.

Sable	Facteurs	Essais n : 1	Essais n : 2	Essais n : 3	Valeur moy
Sable d'oued Essouf	M (g)	300	300	300	2,601
	V (L)	300	300	300	
	V2 (L)	417	415	414	
	ρ_{abs} (g/cm ³)	2,564	2,608	2,631	

b. Masse volumique apparente :

❖ **Masse volumique apparente à l'état lâche :**

On détermine la masse volumique apparente à état lâche du sable à l'aide d'un entonnoir Standard de capacité 2 à 2,5 litres.

❖ **Mode opératoire :**

- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.

On pèse le récipient vide de capacité 1 litre, soit M_1 son poids.

- On place le récipient sous l'entonnoir de 10 à 15 cm et le remplit avec du sable.

- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout soit M_2 .

- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{\text{app}} = (M_2 - M_1) / V_1$$

Où V_1 : est le volume de récipient. Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant:

Tableau4.I.2 : Masse volumique apparente à l'état lâche.

Sable	Facteurs	Essais n : 1	Essais n : 2	Essais n : 3	Valeur moy
Sable d'oued Essouf	M1 (g)	64	64	64	1,651
	M2 (L)	1712	1719	1716	
	V (L)	1	1	1	
	ρ_{abs} (g / cm ³)	1,648	1,655	1,652	

I.2.3 Caractéristiques des aciers:

- Acier rond lisse : 235MPa.
- Acier haute adhérence : 400MPa.

I.3 Matériels et essais:

I.3.1 Les essais sur le béton à l'état frais :

On sait que le béton est le matériau obtenu par solidification par un liant de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sable et d'un ou plusieurs graviers.

✓ **Le malaxage (NA EN 12390-2) : [19].**

Les constituants sont introduits dans le malaxeur à l'ordre suivant :

Introduire gravier 8 / 16, ciment, sable 0 / 5 et gravier 3 / 8.

- Malaxer pendant 1 min et 30 secs.
- Introduire la quantité d'eau.
- Malaxer pendant 3 min et ajouter l'eau tout attentivement.

-Mesurer l'affaissement à chaque fois par cône d'Abrams jusqu'à la valeur désiré et visé.



Figure 1.I.2: Malaxage.



Figure 2.I.2: Malaxeur.

✓ Affaissement au cône d'abrams (slump test) (NA EN 12350-2) : [20].

- Cet Essai est effectué conformément aux prescriptions de la norme (NA EN 12350-2). C'est l'essai de mesure de consistance le plus employé et le plus connu universellement.

Le moule utilisé pour réaliser cet essai est un cône tronqué de 30cm de hauteur. Placé sur une surface lisse, la petite ouverture vers le haut, le cône est rempli de béton en trois couches d'égal volume. Chacune des couches est compactée avec coups d'une tige métallique normalisée de 1,6 cm de diamètre, dont l'extrémité est arrondie.

- Une fois le cône rempli, le dessus de la surface doit être arasé en se servant de la tige et en effectuant des mouvements de va et vient. Durant ces opérations, le cône doit demeurer fixe sur la base lisse; des écrous de serrage, situés à la base du cône, permettent de le maintenir immobile.

- Après remplissage, le cône est relevé lentement et le béton s'affaisse. La différence entre la hauteur du béton affaissé et la hauteur du cône est appelée l'affaissement.

La valeur de l'affaissement est exprimée en cm.

Dans notre étude on a fixé l'affaissement à : Af entre 5 et 6cm.



Figure 3.1.2: Mesure de l'affaissement.

✓ Vibration :(NA EN 12390-2) : [19].

La vibration est la méthode de compactage la plus répandue, le degré de compactage d'un béton frais par vibration dépend de la fréquence et de l'amplitude des oscillations, ainsi que de la durée de vibration.

- On commence par piqués de vibration qui sont utilisés pour vibrer le béton dans l'éprouvette dans 3 étapes et 3 couches à chaque fois en faisant 25 frappes avec le même rythme à fin d'homogénéiser la forme de l'échantillon.

- On faire la vibration sur la table vibrante pendant 20s.
- Peser 3 moules avant et après leur remplissage et la vibration pour déterminer la masse volumique de béton à l'état frais.



Figure 4 I.2 : Vibration de l'éprouvette.

-Les éprouvettes sont maintenues à l'air libre au laboratoire pendant 24h puis décoffrées et marquées par peinture et conservées dans l'eau.

I.3.2 Les essais sur le béton durci :

✓ Durcissement de béton :

Le durcissement d'un béton avec le temps est essentiellement à l'hydratation progression du ciment.

Il est bien connu que la progression des résistances mécaniques d'un béton se fait de plus en plus lentement lorsque le passe ceci peut expliquer par le fait que la vitesse d'hydratation des grains de ciment décrois elle-même avec le temps.

✓ Mode de conservation de béton (NA EN 12390-2) : [19].

Le degré d'humide du milieu de conservation a une influence importante sur la résistance du béton. Notre béton est conservé dans l'eau à une température de 20 ± 2 .



Figure5.I.2 : Conservation de l'éprouvette.

✓ La presse hydraulique BeraTest :(NA EN 12390-3) : [21]

La presse utilisée répond aux normes NA EN 12390-3, elle comporte deux parties:

- Unité de commande constituée de :
- Un cadran pour valeur maximal de charge.
 - Interrupteur principal.
 - Commande de réglage de la vitesse.
 - Clapet de charge-décharge.

Unité de pression : où on met l'éprouvette d'essai.



Figure6.I.2: Presse hydraulique capacité 3000 KN.

I.3.3 Détermination de la résistance par les essais destructifs :

La résistance a été long temps considérée comme la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton. La détermination de cette résistance est nécessaire pour contrôler cette qualité essentielle de notre du béton.

I.3.4 Essai d'écrasement (NA EN 12390-3): [21].

L'essai consiste à rompre entre les plateaux d'une presse hydraulique de capacité 3000KN à une vitesse constante (0.25KN/S) des éprouvettes cylindriques de dimensions (10 x 20) cm. Celles-ci doivent être bien centrées entre les plateaux, afin d'éviter l'apparition des moments dus à l'excentricité de la charge de compression.

On calcule la résistance à la compression par la relation :

$$R_c = F / S$$

R_c : résistance à la compression (MPa).

F : la charge de rupture (N).

S : section de l'éprouvette (mm^2).

I.3.5 Matériels de l'essai de flexion des poutres :

I.3.5.1 La machine de flexion :

L'essai doit être réalisé au moyen d'une machine d'essais conforme à l'EN 12390-4 [22].

a. Application de la charge :

L'appareil de chargement (voir Figure 7.I.2) doit être équipé de :

- deux rouleaux d'appui.
- deux rouleaux supérieurs maintenus par un support articulé, qui répartit également entre les deux rouleaux la charge appliquée.
- Tous les rouleaux doivent être en acier, de section circulaire, et d'un diamètre compris entre 20 mm et 40 mm.
- Leur longueur doit être au moins de 10 mm supérieure à la largeur de l'éprouvette.
- Trois rouleaux, parmi lesquels les deux rouleaux supérieurs, doivent pouvoir pivoter librement autour de leur axe et osciller dans le plan orthogonal à l'axe longitudinal de l'éprouvette d'essai.

b. Principe :

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance en flexion est calculée.

c. Mise en charge :

Ne pas appliquer la charge avant que les rouleaux de chargement et les rouleaux d'appui soient bien en contact avec l'éprouvette.

Sélectionner une vitesse de chargement constante dans la plage 0,04 MPa/s (N/mm².s) à 0,06 MPa / s (N/mm².s).

Appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue, à la vitesse constante sélectionnée ± 1 %, jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

La vitesse de chargement requise est donnée par la formule suivante :

$$R = (s.d.d^2)/L,$$

Où :

R : est la vitesse de chargement requise, en newtons par seconde ;

S : est la vitesse d'accroissement de la charge, en méga pascals par seconde (newtons par millimètre carré par seconde).

d_1 et d_2 : sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres.

L : est l'écartement entre les deux rouleaux inférieurs, en millimètres.

d. Expression des résultats

La résistance en flexion est donnée par l'équation suivante : $f_{cf} = (F.L) / (d_1 \cdot d_2)$. Où :

f_{cf} : est la résistance en flexion, en mégapascals (newtons par millimètre carré).

F : est la charge maximale, en newtons ;

L : est l'écartement entre les rouleaux d'appui, en millimètres.

d_1 et d_2 : sont les dimensions latérales de l'éprouvette, en millimètres. Exprimer la résistance en flexion au 0,1 MPa (N/mm^2) le plus voisin.



Figure 7.1.2 : Machine de flexion (laboratoire Génie Civil université de BBA).

I.4 Conclusion :

Les matériaux utilisés donnent une bonne résistance du béton écrasé à 28 jrs

CHAPITRE II

Formulation Du Béton Et Calcul De Ferrailage

II. Formulation du béton avec $R_b = 30\text{MPa}$:

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre nous allons réaliser des éprouvettes (16 x 32) avec la confection d'un béton ordinaire.

On a déterminé les compositions du béton avec la méthode de SECRAMTAIEV, après 28 jours de conservation des éprouvettes, l'écrasement sera fait pour déterminer la résistance à la compression (R_{c28}).

II.2 Formulations des bétons étudiés :

II.2.1 Calcul de la composition du béton:

Le calcul de la composition du béton a pour but de déterminer le dosage en ciment, granulats et eau pour un dosage de 1m^3 de béton frais afin d'obtenir un mélange homogène et d'une capacité élevée, ainsi qu'une résistance mécanique voulue. Il existe plusieurs méthodes de détermination de la composition du béton proposé et appliquées dans les différents pays du monde parmi ces méthodes on peut citer:

- Méthode de BOLOMEY
- Méthode d'ABRAMS
- Méthode de FAURY
- Méthode d'OISEL
- Méthode de VALETTE
- Méthode de DREUXGORISSE
- Méthode des VOLUMES ABSOLUS
- Méthode GENERALE DU CENTRE D'ESSAIS DES STRUCTURES.

Dans notre calcul on va utiliser la méthode des volumes absolus dite aussi méthode de SECRAMTAIEV [12].

Cette méthode consiste à :

- Calculer la somme de toutes les composantes du béton frais qui doit être égale à 1000 litre ou bien 1m^3

- La porosité $P = 0$ pour un béton armé.

Pour confectionner un béton il faut calculer les dépenses en matières premières et leur mise en œuvre donc il faut choisir les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

Les données de base pour effectuer les calculs de cette méthode sont:

- La classe de résistance requise du béton (R_b).
- Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- Les caractéristiques de matériaux d'origine :
 - 1) Activité du ciment (R_C).
 - 2) Masse spécifique du ciment.
 - 3) Masse volumique et masse spécifique du sable ou gravier.
 - 4) La porosité des pierres concassées ou du gravier.

La composition du béton est établie approximativement par calcul en suite elle est précisée par la méthode d'essai de dosages expérimentaux de mélange de béton.

II.2.2 Présentation de la méthode :

Le professeur SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (R_b) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

➤ Définition du rapport (C/E):

Pour $(C/E) \leq 2.5$

Pour $(C/E) > 2.5$

R_b : classe de béton.

R_C : activité ou classe du ciment.

A, A': coefficient admis d'après le tableau selon les propriétés et la qualité des matériaux.

C/E: rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange.

Tableau 1.II.2: Valeurs des coefficients A et A'.

Granulats et liants	A	A'
De qualité supérieure	0.65	0.43
De qualité ordinaire	0.630	0.40
De qualité inférieure	0.55	0.37

La formule (1) correspond aux bétons ordinaires plastiques.

La formule (2) correspond au béton plutôt sec de haute résistance mécanique.

➤ Détermination de la déponce en eau:

Elle est établie approximativement d'après le tableau (Tableau 1.II.2) qui tient compte de la Qualité des matériaux utilisés.

Tableau2.II.2: quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.

La quantité d'eau l/m ³ en fonction du diamètre du plus gros grain agrégat				Propriétés des bétons	
70	40	20	10	Maniabilité (seconde)	Affaissement (cm)
115	120	130	145	200-150	0
120	125	135	150	120-90	0
125	130	145	160	80-60	0
130	135	150	165	50-30	0
140	145	160	175	30-15	0
145	155	170	185	-	2-1
160	165	180	195	-	4-3
165	170	185	200	-	6-5
170	175	190	205	-	8-7
175	185	200	215	-	10-9

Détermination de la dépense en ciment:

$$C = [(C/E) \times E] \dots (3).$$

Détermination de la dépense en gravier :

La détermination du dosage en agrégats doit remplir les conditions suivantes:

La somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1m³.

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_E) + (S/\rho_S) + (G/\rho_g) = 1000L \dots (4).$$

C, E, S et G: dépenses en ciment, eau, sable et gravier en (kg).

ρ_c , ρ_E , ρ_S et ρ_g : masse spécifiques de ciment, eau, sable et gravier en (kg/m³).

$$E + (S/\rho_S) + (C/\rho_c) = [(P_g \times \alpha \times G/\gamma_g)] \dots (5).$$

P_g : porosité des pierres concassées.

γ_g : masse volumique des pierres concassées en (kg/l).

α : Coefficient d'écartement des grains donné par le tableau suivant:

Tableau 3.II.2: Valeurs du coefficient «a» en fonction du E/C et dosage en ciment.

Dosage en	E /C	E/C	E/C	E/C	E/C	E/C
Ciment	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
(Kg\m ³)						
250	-	-	-	126	132	138
300	-	-	130	136	142	-
350	-	132	138	144	-	-
400	131	140	146	-	-	-
500	144	152	156	-	-	-
600	152	156	-	-	-	-

En résolvant simultanément les deux équations (2) et (3) pour trouver l'expression qui Permet de déterminer la quantité nécessaire de gravier.

$$G = 1000 / [P_g \cdot (\alpha/g) + (1/\rho_g)] \dots (6).$$

$$G = 1000 [P_g \times (/ \gamma_g) + (1/\rho_g)] \dots (7).$$

➤ **Détermination de la dépense en sable:**

Après avoir déterminé la dépense en gravier on fait le calcul de la dépense en sable (kg/m³).

$$S = [1000 - [(C/\rho_c) + E + (G/\rho_g)]] \times \rho_s \dots (8).$$

➤ **Mode opératoire:**

*Les données de travail :

• Sable:

$$\gamma_s = 1.65 \text{ g/cm}^3.$$

$$\rho_s = 2.60 \text{ g/cm}^3.$$

Pierres concassées

(Gruier): $D_{\max} = 16 \text{ mm}$.

$$\gamma_g = 1.45 \text{ g/cm}^3.$$

$$\rho_g = 2.58 \text{ g/cm}^3.$$

• Ciment:

$$\rho_c = 3.10 \text{ g/cm}^3.$$

$$R_b = 30 \text{ MPa}.$$

$$A_f = 6 \text{ cm}.$$

$$R_C = 42.5 \text{ N/mm}^2.$$

➤ **Calculs les composants :**

- Calcul de C/E :

$$\text{Avec : } C/E = R_b / (A \cdot R_c) + 0.5 = \frac{30}{(0.6 \times 42.5)} + 0.5.$$

$$C/E = 1.68$$

- Calcul de la dépense en eau :

D'après le tableau E= 192.5 L c'est quantité dans le cas de (CPA, sable moyen, gravai) :

-En CPA (+10 à 15) L.

-Pierre concassé (+10L).

-Sable fine (+10L).

$$E = 200 + 10 = 210L.$$

Donc :

$$E = 210L$$

- Calcul de la dépense en ciment :

$$C = [(C/E) \cdot E] = 1.68 \times 210 = 352.80 \text{ Kg/m}^3.$$

$$C = 352.80 \text{ Kg/m}^3$$

- Calcul de la dépense en gravier:

$$G = 1000 / [P_g \cdot (\alpha / \gamma_g) + (1 / \rho_g)] \cdot P$$

$$P_g = 1 - (\gamma_g / \rho_g)$$

$$P_g = 1 - (1.45 / 2.58) = 0.44.$$

α : coefficient d'écartement entre le gravies.

$$\alpha = 1,44$$

$$G = 1000 / [0.44 * (1.44 / 1.45) + (1 / 2.58)].$$

$$G = 1212,85 \text{ Kg/m}^3$$

- Calcul de la dépense en sable :

$$S = [1000 - (C / \rho_c) + E + (G / \rho_g)] \cdot \rho_s.$$

$$S = [1000 - (352.80 / 3,1) + (210/1) + (1212,85 / 2.58)] \cdot 2,60.$$

$$S = 535.70 \text{ Kg/m}^3$$

➤ Volume de gâchée pour 1 m³ du béton :Tableau 4.II.2: Composition pour un mètre cube de béton (1 m³) à 30MPa.

Constituant du Béton	Eau (l)	Ciment (Kg)	Sable (Kg)	Gravier (Kg)
Quantité (kg)	210	352.80	535.70	1212,85

➤ Volume du gâchée pour 03 éprouvettes cylindriques (16x32) cm³ :

Pour une éprouvette :

$$V = \pi \times R^2 \times H = 3.14 \times 8^2 \times 32 = 6430,72 \text{ cm}^3 = 6,43.10^{-3} \text{ m}^3.$$

Pour 03 éprouvettes :

$$V = 6,43.10^{-3} \times 3 = 19,29.10^{-3} \text{ m}^3.$$

•Les composants :

$$E = [(210 \times 0,2) + 210] \times 6,43.10^{-3} = 1,62L.$$

$$C = [(352,8 \times 0,2) + 352,8] \times 6,43.10^{-3} = 2,72 \text{ Kg}.$$

$$G_{(3/8)} = [(404,283 \times 0,2) + 404,283] \times 6,43.10^{-3} = 3,12 \text{ Kg}.$$

$$G_{(8/16)} = [(808,56 \times 0,2) + 808,56] \times 6,43.10^{-3} = 6,239 \text{ Kg}.$$

$$S = [(535,7 \times 0,2) + 535,7] \times 6,43.10^{-3} = 4,13 \text{ Kg}.$$

On a effectué une majoration en volume de **20%** sur les dépenses des différents constituants, les résultats sont regroupés dans le tableau (5.II.2) suivant:

Tableau 5.II.2: Composition du mélange pour 03 éprouvette cylindrique (16x32) cm³ + la majoration.

Constituant du Béton	Eau (L)	Ciment (Kg)	Sable (Kg)	Gravier 3/8 (Kg)	Gravier 8/16 (Kg)
Quantité de Une éprouvette	1,62	2,72	4,13	3,12	6,23
Quantités des trois éprouvettes	4,86	8,16	12,39	9,36	18,71

Après l'essai de compression on a obtenu $R_{c28} = 30 \text{ MPa}$.

II.3 Formulation du béton avec $R_b = 25\text{MPa}$:❖ **Calculs les composants :**• **détermination du rapport (E/C)**

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0.5)$$

$$C/E = R_b/A \cdot R_c + 0.5$$

Avec :

$$R_b = 250 \text{ bars classe du béton}$$

$$R_c = 425 \text{ bars classe de résistance du ciment}$$

$$D_{\max} < 20\text{mm}$$

$$\text{Affaissement } A = 5\text{-}6\text{cm}$$

• **Quantité d'eau :**

$$A_f = 5, \text{ pierres concassés, } p < 20 \text{ (d'après le tableau)}$$

✓ **Interpolation :**

$$20\text{-}10/200\text{-}185 = 20\text{-}15/x\text{-}185$$

$$10/15 = 5/x\text{-}185$$

$$X = 192.5$$

$$E = 192.5 \text{ L} + 10 + 15 = 210\text{L}$$

$$R_b = A \cdot R_c (C/E - 0.5) \quad C/E = R_b/A \cdot R_c + 0.5 \text{ pour } E/C < .25$$

$$C/E = (250/0.6 \times 425) + 0.5 = 1.48$$

• **Quantité du ciment :**

$$C = C/E \times E = 1.48 \times 210$$

$$C = 311 \text{ kg/m}^3$$

• **quantité de gravier :**

$$G = 1000 / [(P_g \alpha / \delta_g) + 1 / \rho_g]$$

$$(E/C = 0.6, \text{ dosage} = 311 \text{ kg/m}^3) \quad \alpha = 1.38$$

$$G = 1000 / [0.44 (1.38/1.45) + 1/2.58] = 1240.69 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 1240.69 \text{ kg/m}^3$$

• **quantité de sable :**

$$S = [1000 - \{C / \rho_c + E / \rho_e + G / \rho_g\}] \rho_s$$

$$S = [1000 - (311/3.1 + 210 + 1240.69/2.58)] 2.6$$

$$S = 542.85 \text{ kg/m}^3$$

Tableau 6.II.2: Composition pour un mètre cube de béton (1 m³) à 25MPa.

Constituant du Béton	Eau (l)	Ciment (Kg)	Sable (Kg)	Gravier (Kg)
Quantité (kg)	210	311	542.85	1240,69

II.4 Calcul de la section de ferrailage : [17].Notation :Largeur de poutre $b = 8\text{cm}$ Hauteur de poutre $h = 15\text{cm}$ Hauteur utile $d = 0,9h = 13\text{cm}$ La longueur de poutre $L = 96\text{cm}$ Matériaux : béton $f_{c28} = 30\text{ MPa}$, $\gamma_b = 1,5$ à l'ELU normalAcier $f_e = 400\text{ MPa}$, $\gamma_s = 1,15$ Calcul :La charge appliqué $P = 40\text{ KN}$ Moment ultime $M_u = 1,5 P \times L^2/4 = 0,0129\text{ m.MN}$ $\mu_l = 0,27$ Contrainte de calcul du béton $f_{bu} = 0,85.f_{c28}/(\theta.\gamma_b) = 0,85 \times 30 / (0,85 \times 1,5) = 20\text{ MPa}$ Position de l'axe neutre $\alpha = 1,25. [1 - (1-2\mu) 1/2] = \alpha L = 0,40$ Bras de levier $z = [1-0,4\alpha].d = (1-0,4 \times 0,4) \times 0,14 = 0,12\text{m}$ Application :

$$\mu_u = M_u / (bd^2 f_{bu}) \quad \Rightarrow \quad \mu_u = 0,0129 / (0,08 \times (0,14)^2 \times 20) = 0,41$$

$$\mu_u \geq \mu_l = 0,27 \quad \text{La section est à armatures doubles.}$$

$$M_R = \mu_l . b . d^2 . f_{bu} = 0,27 . 0,08 . (0,14)^2 . 20 = 0,0085\text{ MN.m.}$$

$$M_r = M_u - M_R = 0,0129 - 0,0085 = 0,0044\text{ MN.m.}$$

$$A_{sc} = \frac{M_u - M_R}{\sigma(d-d')} = \frac{0,0044}{348(14-1)} = 0,98\text{cm}^2.$$

Le choix est : 2T8 = 1,005 cm².

$$A_{st} = \frac{1}{\sigma_{st}} \left[\frac{M_r}{(d-d')} + \frac{M_R}{d(1-0,4\alpha l)} \right]$$

$$A_{st} = \frac{1}{348} \left[\frac{0,0044}{(14-1)} + \frac{0,0085}{14(1-0,4 \times 0,40)} \right] = 3,05\text{cm}^2.$$

Le choix est : 2T14 = 3,079 cm².

Effort tranchant:

$$P = 40\text{KN}$$

$$T_u = P/2 = 40/2$$

$$T_u = 20\text{KN}$$

- La vérification de la contrainte de cisaillement dans le béton :

$$\tau_u = \frac{T_u}{bd} = \frac{0,2}{0,08 \times 0,14} = 1,78\text{MPa.}$$

$$\tau_u \leq \text{Min} \left(\frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right) \Rightarrow \tau_u \leq \text{Min} \left(\frac{0,15 \times 30}{1,5} ; 4 \right) = 3\text{MPa}$$

Donc : $\tau_u \leq \tau_u^- \dots\dots\dots \text{ok}$

$$\phi_t \leq \min (h/35, b/10, \phi_L)$$

$$\phi_t \leq \min (150/35, 80/10, 14) \quad \phi_t \leq 4,28 \rightarrow \phi_t = 6\text{cm} \quad \phi_t = 2\phi_6$$

❖ calcul de l'espacement entre cadres :

$$- f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{c28} = 2,4$$

$$- \text{cadres droits : } \sin \alpha + \cos \alpha = 1.$$

$$- f_{tj} = \min (f_{tj}; 3, 3 \text{ MPa}) = 2,4 \text{ MPa}$$

$$- k = 1 : \text{ dans le cas général.}$$

$$- A_t = 2\phi_6 = 0,57 \text{ cm}^2.$$

$$- f_e = 235 \text{ M P a}$$

$$S_t \leq \frac{A_t \cdot 0,9 \cdot f_e}{b(\tau_u - 0,3 \cdot k \cdot f_{tj})}$$

$$S_t \leq \frac{0,57 \times 10 \times 0,9 \times 235}{0,08(1,78 - 0,3 \times 1 \times 2,4)} \Rightarrow S_t \leq 15\text{cm}$$

CHAPITRE II

Formulation Du Béton Et Calcul De Ferrailage

III. CONFECTION DES POUTRES EN BETON ARME ET DEROULEMENT DES ESSAIS DE FLEXION

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on a présenté les différentes étapes de préparation des poutres courtes en béton armé avec des mêmes sections, et des mêmes longueurs, les sections d'armature tendues seront fixées et les armatures transversales variées au niveau de l'espacement (7cm, 10cm et 13cm), et l'angle d'inclinaison (45° et 90°).

Après 28 jours on applique une charge de flexion sur les poutres, et en va étudier les fissures dues à l'effort tranchant, et le comportement des poutres au cisaillement.

III.2 Procédure des poutres en béton armé :

Cette partie expose l'ensemble des procédures de toute la phase expérimentale des poutres. Ainsi que, le mode de fabrication des poutres. Les essais de flexion 3 points sont présentés avec l'ensemble des données et des résultats de chaque essai.

III.2.1 Structure des poutres :

Nous avons réalisé 15 poutres en béton armé, toutes avec la même section transversale de (80 mm x 150 mm) et la même longueur (960 mm) avec la même nuance de l'acier, présenté sur le tableau ci dessous :

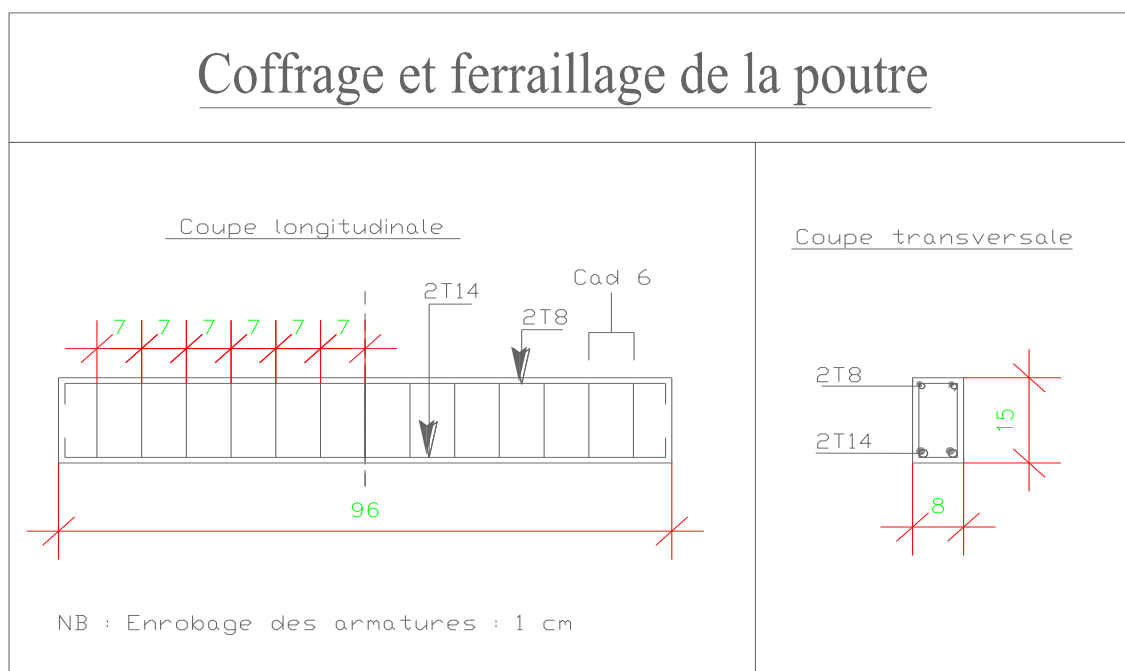


Figure1.III.2 : Illustration des détails des poutres étudiées.

Tableau 1.III.2:Caractéristiques des poutres :

Poutres N°	Section des poutres (mm) ²	longueur L (mm)	Résistance de béton (MPa)	Ferrailage transversal		Ferrailage longitudinal	Age d'écrasement jours
				Espacement [cm]	Angle α°		
P1,P2,P3	12000	960	30	7	90	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	7
P4, P5			30	10	90	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28
P6, P7			30	13	90	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28
P8, P9			30	10	45	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28
P10, P11			30	13	45	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28
P12, P13			30	7	45	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28
P14, P15			25	10	90	2 ϕ 8 sup 2 ϕ 14 inf	28

III.2.2 Composants du béton armé :

Les poutres sont mises en œuvre avec un béton ordinaire. Le rapport massique E /C est de 0,6. Le ciment utilisé est de type CPJ (Matine) CEM II 42,5. La taille maximale du diamètre des granulats est de 15mm.

L'essai à l'état frais des poutres de même façon de l'essai de l'éprouvette (16× 32).

❖ Le volume du moule de la poutre :

$$V = 150 \times 80 \times 960 = 0. 01152 \text{ m}^3.$$

❖ Les composants du béton :

$$E = [(210 \times 0, 2) + 210] \times 0, 01152 = 2, 9 \text{ L.}$$

$$C = [(352, 8 \times 0, 2) + 352, 8] \times 0, 01152 = 4, 88 \text{ Kg.}$$

$$G_{3/8} = [(404,283 \times 0, 2) + 365,187] \times 0, 01152 = 5, 58 \text{ Kg.}$$

$$G_{8/15} = [(808, 66 \times 0, 2) + 730, 37] \times 0, 01152 = 11, 17 \text{ Kg.}$$

$$S = [(535, 7 \times 0, 2) + 631, 2] \times 0, 01152 = 7, 41 \text{ Kg.}$$

❖ **Acier :**

La nuance de l'acier utilisé est Fe E235 en rond lisse de diamètre 6mm pour l'armature transversale et Fe E400 en haute adhérence de diamètre 8mm pour les barres supérieures et de diamètre 14mm pour les barres inférieures de l'armature longitudinal.

- Les cadres sont disposés verticalement tous les 70,100 et 130mm suivant l'axe longitudinal des poutres. et avec un angle d'inclinaison de 90° et 45°.

La (Figure 3.III.2, Figure 4.III.2, Figure 5.III.2) montre les détails du ferrailage.

Ces cadres qui reprennent l'effort tranchant sont fabriqués manuellement à l'aide d'un gabarit constitué d'une base en acier avec des butés (Figure-a). Les cadres sont fermés afin d'assurer le confinement du béton.

Les armatures longitudinales sont fabriquées à l'aide d'une codeuse électrique (figure-b)



-Figure(a)

.Figure(b).

Figure2.III.2: Façonnage des armatures.

III.2.3 Fabrication des poutres en Béton Armé :

Le procédé de fabrication de chaque poutre est décomposé comme suit :

III.2.3.1 Ferrailage :

L'acier utilisé est détaillé dans la section des poutres. Ainsi, aussi bien les armatures principales que secondaires ont été coupées, mises en forme conformément au calcul et placées pour garantir la résistance estimée.

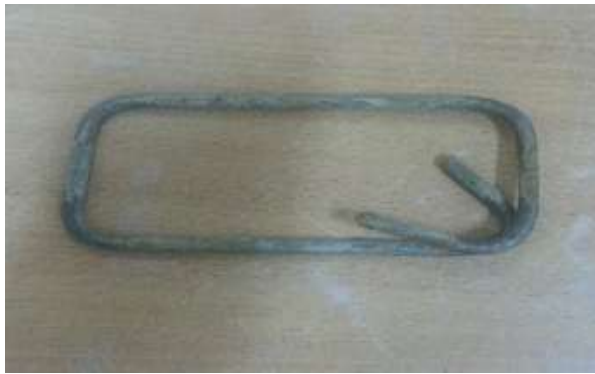


Figure 3.III.2 : Cadre



Figure 4.III.2 : Couture d'armature



Figure 5.III.2: Ferrailage final de la poutre.

III.2.3.2 Coffrage :

Ces moules provisoires et démontables, constitués de planches de bois, ont été imprégnés par un agent démoulant pour faciliter l'extraction des poutres après la prise du béton. Tous ont la même section transversale de 80mm x 150mm (largeur x hauteurs) et une longueur de 960mm.



Figure 6.III.2: Coffrage des poutres.

III.2.3.3 Bétonnage :

La mise en place du béton dans les moules à été faite en 2 couches, chacune vibrée pendant 45 secondes à l'aide d'une sonde vibrante (Figure 7.III.2). Après 24h de séchage, les poutres ont été retirées et mises en mûrissement.



Figure 7.III.2 : Bétonnage des poutres.

III.2.3.4 Murissement :

Toutes les poutres ont été plongées dans un réservoir d'eau à une température constante de 20° C pendant une durée de 28 jours (Figure 8.III.2), selon la norme européenne pour la confection et la conservation des poutres.



Figure 8.III.2: Murissement des poutres. Figure 9.III.2: poutres après 28 jours dans l'eau.

III.3 Configuration des essais de flexion :

- La Figure illustre la configuration des essais en flexion trois points, lors de la mise en place pour l'essai des poutres avec une longueur de 96cm.
- Toutes les poutres ont été testées en flexion 3 points.
- Les poutres ont la même configuration, c'est-à-dire, en gardant la même distance de 5 cm entre l'extrémité de la poutre et l'appui.
- La distance entre l'appui et le point d'application de la charge est de 43 cm, c'est-à-dire 86cm entre appuis.

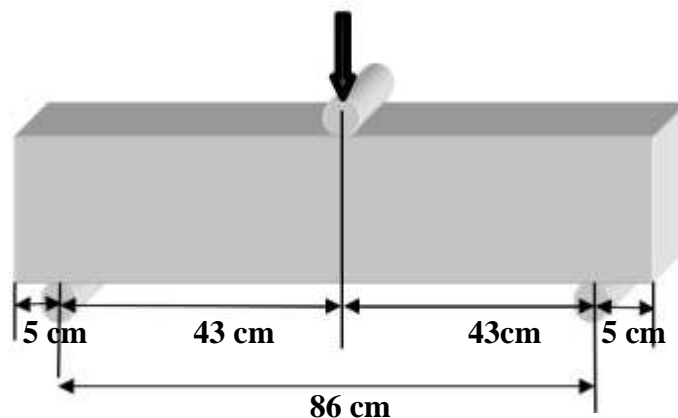


Figure 10.III.2: Configuration de l'essai de flexion à trois points.



Figure 11.III.2: Essai de flexion type sur une poutre en béton armé.

III.4 CONCLUSION :

La confection des poutres en termes de coffrage, ferrailage, bétonnage, et murissement à été réalisé au niveau de laboratoire de génie civil à l'université de BBA.

Le travail expérimental a été validé par un test de trois poutres pour pouvoir décider définitivement sur les paramètres théoriques pris dans ce mémoire.

PARTIE 03

Résultats Et Interprétation

CHAPITRE I

Résultats

I. RESULTATS :

I.1 Introduction :

Dans ce chapitre, une présentation des résultats obtenus a été effectuée à partir des essais de flexion à trois points des poutres courtes en béton armés, ces dernières sont réalisées en laboratoire à l'aide de la machine de flexion. Et cela afin de justifier le comportement de ces éprouvettes en fonction des paramètres les plus influents tel que la variation de la résistance de béton, l'espacement et l'inclinaison de l'armature transversale des poutres.

I.2 Résultats des essais effectués :

I.2.1 Effet de la variation de la résistance de béton sur la charge de ruine :

Ce tableau représente les résultats des essais de flexion effectués sur les poutres (**P4, P5, P14, P15**) représentant la variation de la charge maximale de rupture avec la résistance du béton.

Tableau 1.I.3 : Influence de la résistance du béton sur la charge de ruine.

Poutre N°	Résistance de béton [MPa]	Ferrailage transversal		Charge maximale de rupture poutre (moyenne) [KN]
		Espacement [cm]	Angle α°	
P4, P5	30	10	90	72,86
P14, P15	25	10	90	68,83

I.2.2 Effet de l'espacement d'armatures transversales sur la charge de ruine avec un angle 90° et 45° :

Ce tableau représente les résultats des essais de flexion effectués sur les poutres (**P1, P2, P3, P4 et P5**) représentant la variation de l'espacement de l'armature transversale sur la charge de rupture.

Tableau 2.I.3 : Effet de l'espacement d'armatures transversales sur la charge de ruine avec un angle 90°.

Poutre N°	Résistance de béton [MPa]	Ferrailage transversal		Charge maximale de rupture poutre (moyenne) [KN]
		Espacement [cm]	Angle α°	
P1, P2, P3	30	7	90	73,34
P4, P5	30	10	90	72,86
P6, P7	30	13	90	65,62

Tableau 3.I.3 : Effet de l'espacement d'armatures transversales sur la charge de ruine avec un angle 45°.

Poutre N°	Résistance de béton [MPa]	Ferrailage transversal		Charge maximale de rupture poutre (moyenne) [KN]
		Espacement [cm]	Angle α°	
P12, P13	30	7	45	83,66
P8, P9	30	10	45	71,42
P10, P11	30	13	45	69,67

I.2.2 Effet de l'angle d'inclinaison des armatures transversales sur la charge de ruine :

Ce tableau représente la relation entre l'inclinaison de l'armature transversale et la charge maximale de ruine.

Tableau 4.I.3 : Effet de l'angle d'inclinaison des armatures transversales sur la charge de ruine.

Résistance de béton [MPa]	Ferrailage transversal		Charge maximale de rupture poutre (moyenne) [KN]
	Espacement [cm]	Angle α°	
30	13	45	69,67
30	13	90	65,62

I.3 Analyse des fissures :

Ce tableau représente la modélisation des fissures et différentes distances de la fissure.

Tableau 5.I.3 : modélisation des fissures et différentes distances de la fissure.

Poutre	Ferrailage transversal		Rb [MPa]	Charge maximale de rupture poutre [KN]	X2	X2 moy [cm]	X3	X3 moy [cm]	Y1	Y1 Moy [cm]
	Espacement [cm]	Angle α°								
P1	7	90	30	73,34	22	30,66	10	10,5	10,4	11,86
P2	7	90	30		34		4		12,4	
P3	7	90	30		36		7		12,8	
P4	10	90	30	72,86	36	33,75	7	6	12,8	12,9
P5	10	90	30		31,5		5		13	
P6	13	90	30	65,62	43	38,5	0	4	14,5	14,75
P7	13	90	30		34		8		15	
P8	10	45	30	71,42	20,5	22,75	8	13,75	9,2	10,6
P9	10	45	30		23		19,5		12	
P10	13	45	30	69,67	23	23	14	15	9,9	11,35
P11	13	45	30		23		16		12,8	
P12	7	45	30	83,66	8	8,25	12	12,75	8,4	9
P13	7	45	30		8,5		13,5		9,6	
P14	10	90	25	68,83	33	30,5	8	9,5	13,6	12,8
P15	10	90	25		28		11		12	

Légende :

X2 : la longueur de fissure.

X3 : la distance entre la limite de la fissure et l'appui.

Y1 : la hauteur de la fissure.

CHAPITRE II

Interprétations

II. INTERPRETATIONS

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, une analyse des résultats obtenus a été effectuée à partir des essais de flexion à trois points des poutres, et cela afin de justifier le comportement de ces poutres en fonction des paramètres les plus influents tel que la variation de l'espacement et l'inclinaison des armatures transversales et la résistance du béton.

II.2 Analyse des graphes :

II.2.1 Résistance du béton :

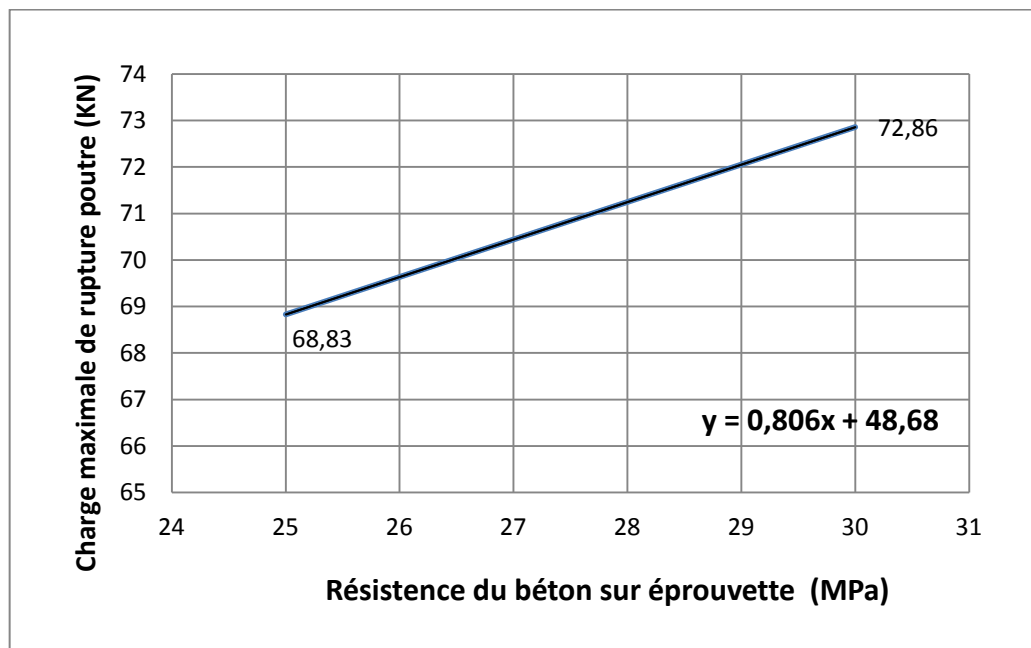


Figure 1.II.3 : Charge de rupture des poutres en fonction de la résistance du béton.

La figure ci-dessus représente l'influence de la résistance du béton (éprouvettes à 28 jours) sur la charge maximale de rupture des poutres (avec un espacement de 10cm et un angle d'inclinaison de l'armature transversale $\alpha = 90^\circ$).

Après essais de flexion en trois points ; on observe que la charge maximale de rupture des poutres augmente en fonction de la résistance du béton, une variation de 4KN environ est observée.

La relation mathématique est du type linéaire croissante, ce comportement justifie que le béton supporte une partie de la charge appliqué.

La contribution de la résistance du béton dans la capacité portante des poutres se traduit par la génération des forces de frottement entre le béton et l'acier, ce qui augmente l'adhérence acier-béton.

II.2.2 Influence de l'espacement des armatures transversales :

Les courbes des figures ci-dessous représentent la variation de charge de rupture des poutres en fonction de l'espacement des armatures transversales, si on augmente l'espacement entre les cadres, la charge va diminuer, la relation est donc du type linéaire décroissante.

Le transfert des charges de cisaillement transmises du béton vers les barres d'acier transversal se fait par le biais des ponts constitués des zones en flexion du béton, si l'espacement entre les armatures transversales augmente, la longueur de ces ponts deviendra plus importante, chose qui gêne la transmission totale des forces de cisaillement, et en conséquence la charge maximale de rupture des poutres va être atteinte plus rapidement.

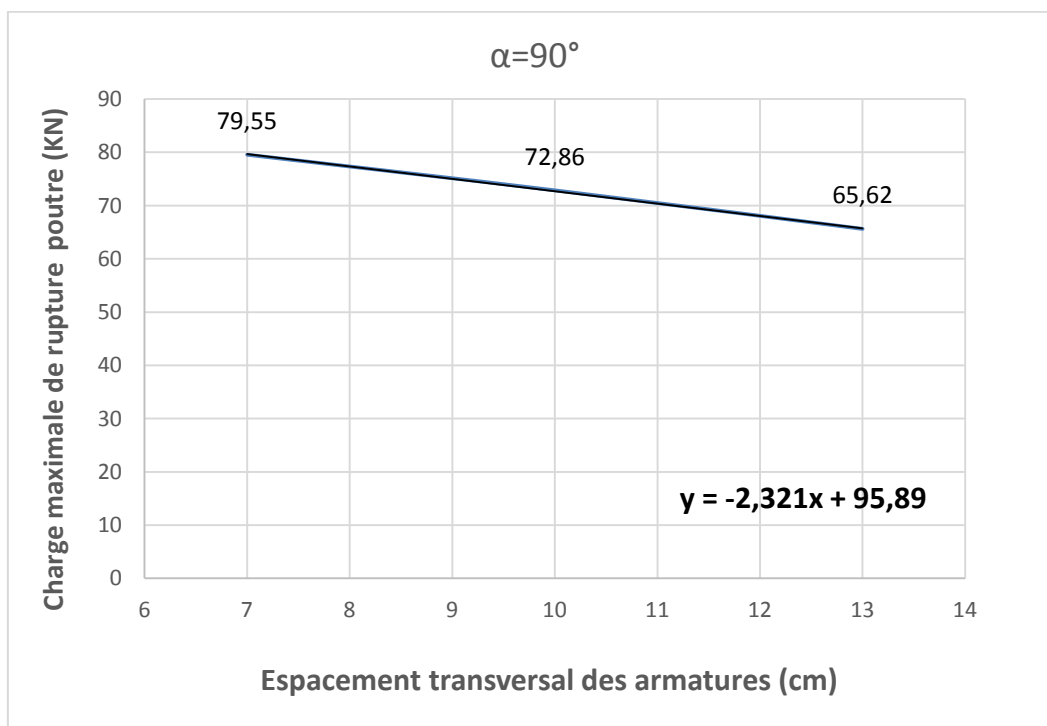


Figure 2.II.3 : charge de rupture des poutres en fonction de l'espacement transversal des armatures ($\alpha = 90^\circ$).

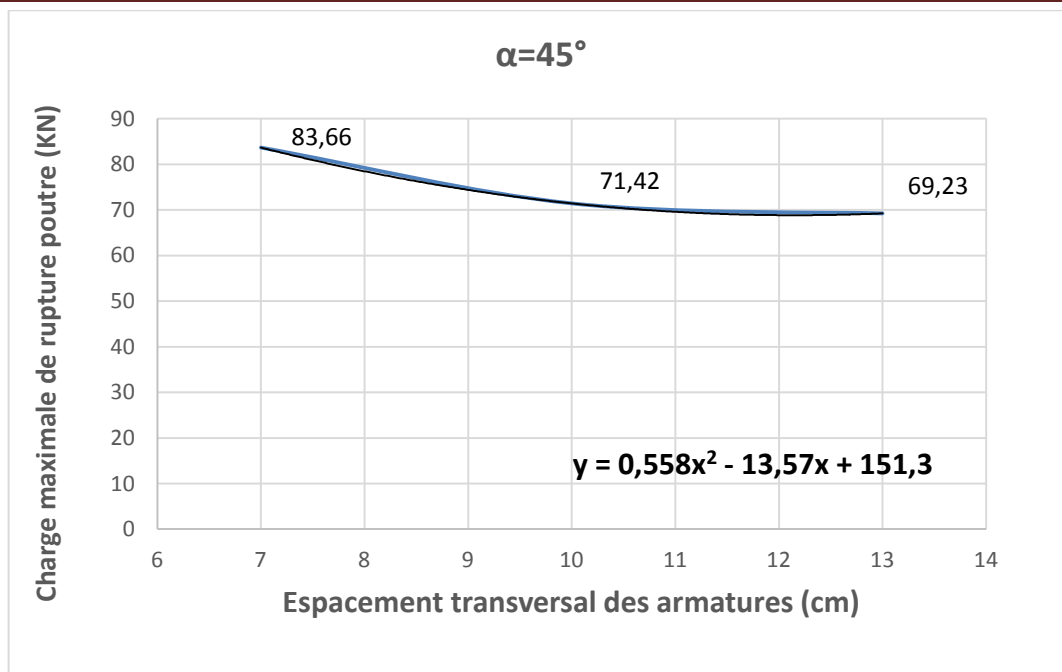


Figure 3.II.3 : charge de rupture des poutres en fonction de l'espacement transversal des armatures ($\alpha = 45^\circ$).

Dans le cas des cadres inclinés de 45° un comportement mécanique meilleur des poutres est constaté, l'allure probable des fissures de rupture par cisaillement est quasi perpendiculaire à l'orientation des barres d'acier, on constate alors une meilleure résistance à ces efforts par couture directe.

II.2.3 Influence de l'angle d'inclinaison des armatures transversale :

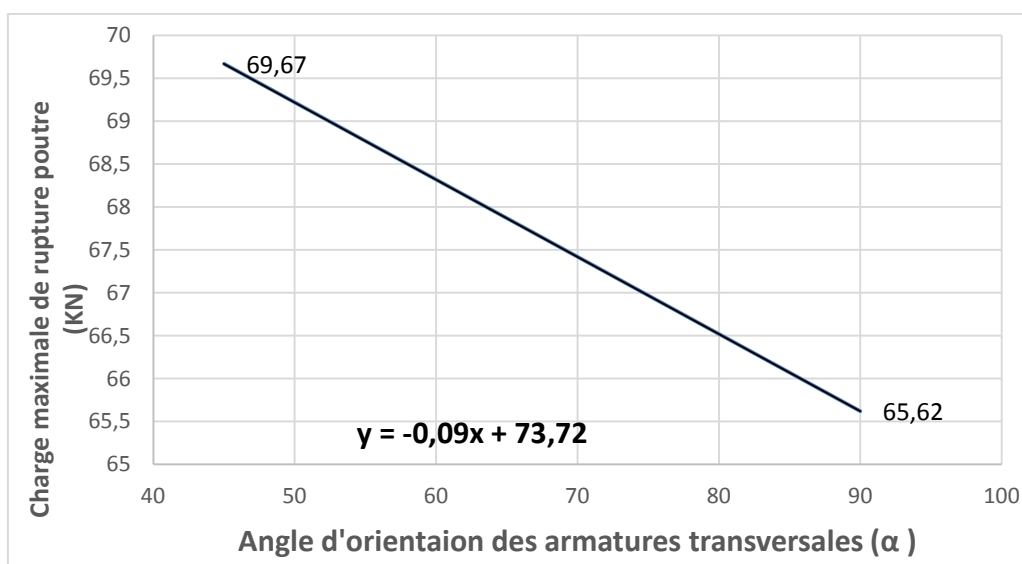


Figure 4.II.3 : charge de rupture des poutres en fonction de l'angle d'orientation des armatures transversales.

Selon le graphe de la figure ci-dessus on observe :

La charge maximale de rupture des poutres confectionnées avec des armatures inclinées de 45° est plus grande (69,67 KN) que la charge de rupture des poutres avec des cadres inclinés de 90° (65.62 KN). La relation est du type linéaire décroissante.

Dans le cas des cadres inclinés de 45° , presque ces armatures sont disposées en perpendiculaire par rapport à l'axe des fissures de cisaillement, les cadres vont former un plan de couture convenable augmentant ainsi la résistance aux efforts tranchants, alors la capacité des poutres sera améliorée. La fissure dans ces cas n'arrive pas à atteindre les bords de la poutre, chose qui rend la poutre plus résistante.

II.3 Analyse des fissures :

II.3.1 Angle α :

On observe que le nombre et la longueur des fissures dans le cas des poutres ayant un angle de 90° d'orientation des cadres sont plus importants que dans le cas des poutres ayant des cadres d'un angle de 45° . Les fissures se trouvent étendues jusqu' aux bords des appuis dans les poutres à 90° , ce qui provoque de plus en plus le problème de cisaillement, et donc la rupture de la poutre. Par contre dans les poutres à 45° le nombre des fissures et ses longueurs sont modérées.

II.3.2 L'espacement :

On observe qu'il y a une relation proportionnelle entre l'espacement des cadres, et les propriétés physiques des fissures produites (la longueur et le nombre).

Si l'espacement entre les cadres est plus petit, le nombre et la longueur des fissures produites seront réduits, et en conséquence l'effet de l'effort tranchant sur la poutre deviendra limité.

II.4 Allure des fissures :

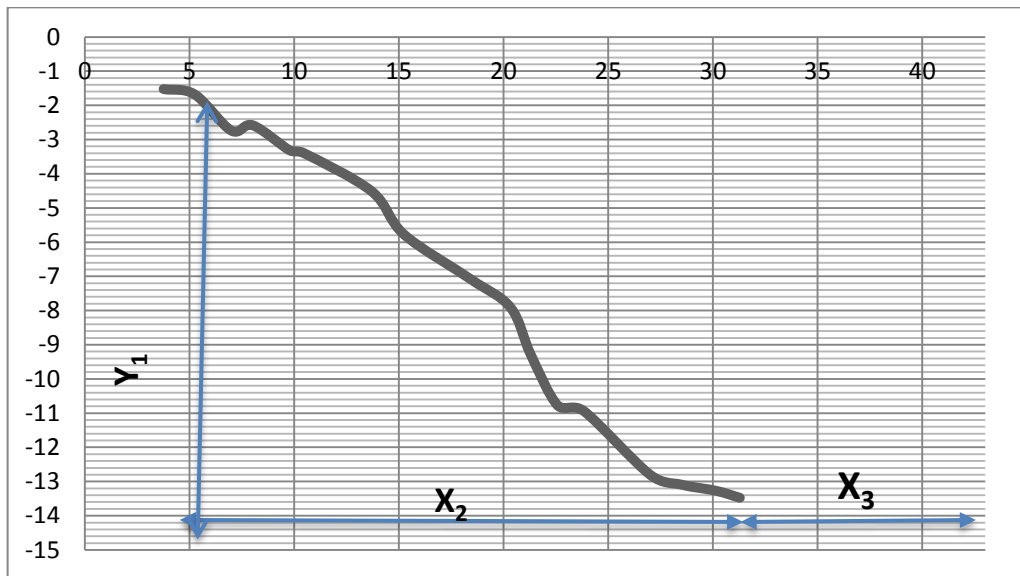


Figure 5.II.3 : Allure des fissures et différentes distances étudiées.

Légende :

X2 : longueur de la fissure suivant l'axe horizontal de la poutre.

X3 : Distance entre la limite inférieure de la fissure et l'appui de la poutre.

Y1 : longueur de la fissure suivant l'axe vertical de la poutre.

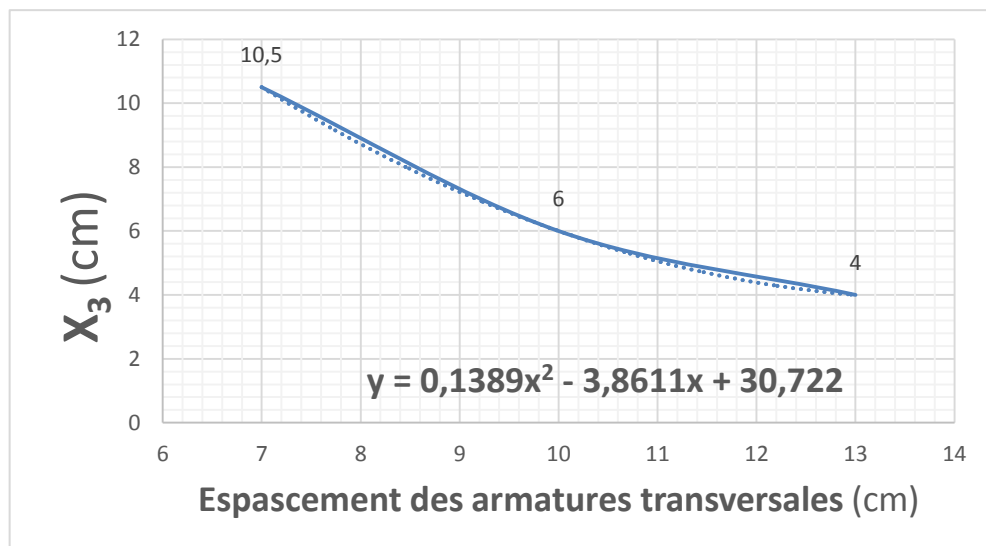


Figure 6.II.3 : X_3 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).

Le graphe ci-dessus représente la relation entre l'espacement des cadres inclinés de 90° et la distance (X_3).

On observe que :

- La fonction est du type non linéaire décroissante.
- Si on augmente l'espacement entre les cadres, la distance X_3 diminue, cela signifie que la charge de rupture de la poutre deviendra critique.

Le développement de la fissure dans la poutre soumise à l'effort tranchant est plus rapide en cas des espacements importants entre les cadres, la fissure atteindra sa limite proche des bords d'appui, dans le cas contraire (cadres avec espacement réduit) le chemin de la fissure sera bloquée par ces cadres, la vitesse de propagation deviendra plus lente.

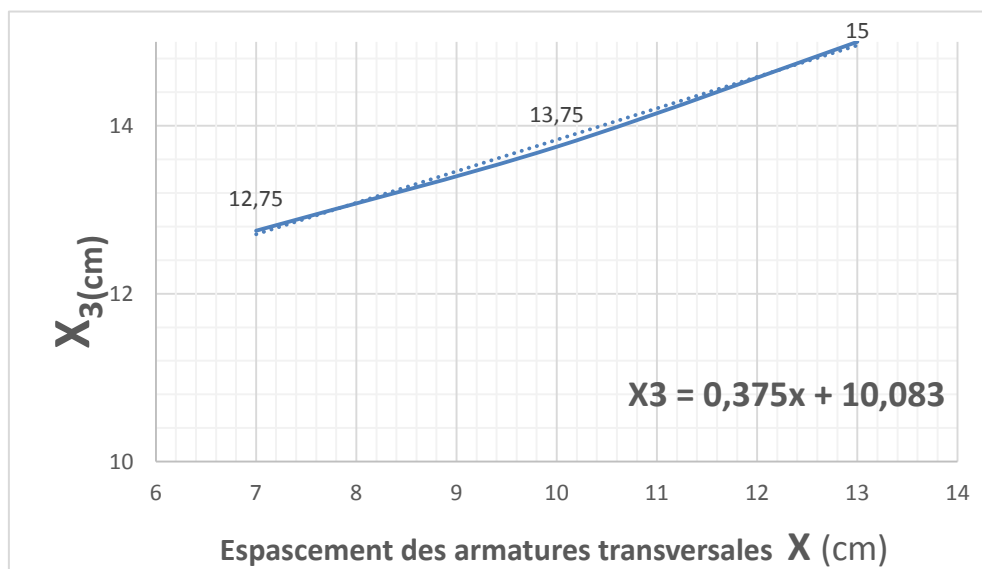


Figure 7.II.3 : X_3 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 45^\circ$).

Le graphe ci-dessus représente la relation entre l'espacement des cadres inclinés de 45° et la distance (X_3).

On observe que :

- La fonction est du type linéaire croissante.
- Si on augmente l'espacement entre les cadres, la distance X_3 augmente aussi, cela signifie que la charge de rupture de la poutre deviendra moins critique.

On peut justifier cette variation par le cheminement verticale des fissures, la longueur deviendra plus importante dans le sens vertical de la poutre, ce qui influe considérablement sur le développement de la fissure dans le sens horizontal.

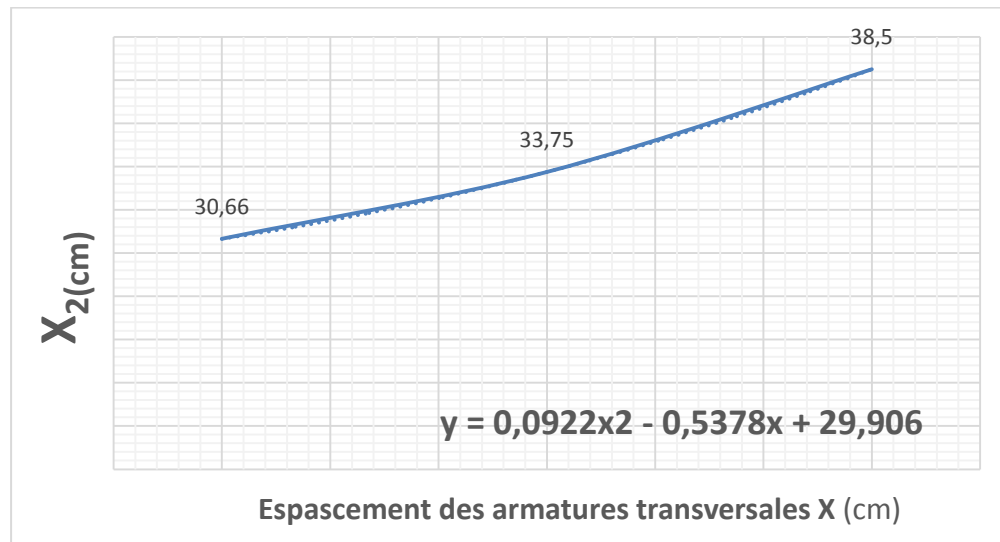


Figure 8.II.3 : X_2 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).

Le graphe ci-dessus représente la relation entre l'espacement des cadres inclinés de 90° et la distance (X_2).

On observe que :

- La fonction est du type non linéaire croissante.
- Si on augmente l'espacement entre les cadres, la distance X_2 augmente aussi, cela signifie que la charge de rupture de la poutre deviendra moins critique.

Le développement de la fissure dans la poutre soumise à l'effort tranchant est plus rapide en cas des espacements importants entre les cadres, la fissure atteindra une longueur importante avec une vitesse de propagation plus au moins considérable.

Les obstacles limitant cette longueur sont dans ce cas éloignés.

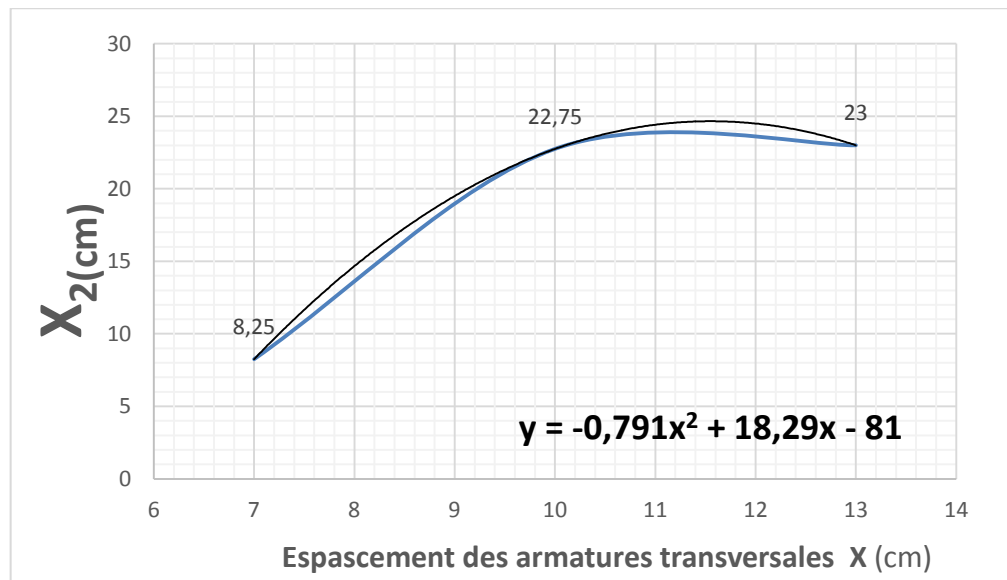


Figure 9.II.3 : X_2 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 45^\circ$).

X_2 : la longueur de la fissure.

La relation reliant l'espacement entre les armatures transversales et la longueur horizontale des fissures avec les deux cas des angles d'inclinaison des cadres : 45° et 90° montre un développement des longueurs plus importantes des fissures pour le cas de l'angle 90° , dans le cas des cadres inclinés de 45° la longueur développée de la fissure deviendra pratiquement constante à partir d'un certain seuil, ce qui signifie qu'à partir d'une certaine valeur de l'espacement entre les cadres, la variation de cet espacement deviendra donc inutile.

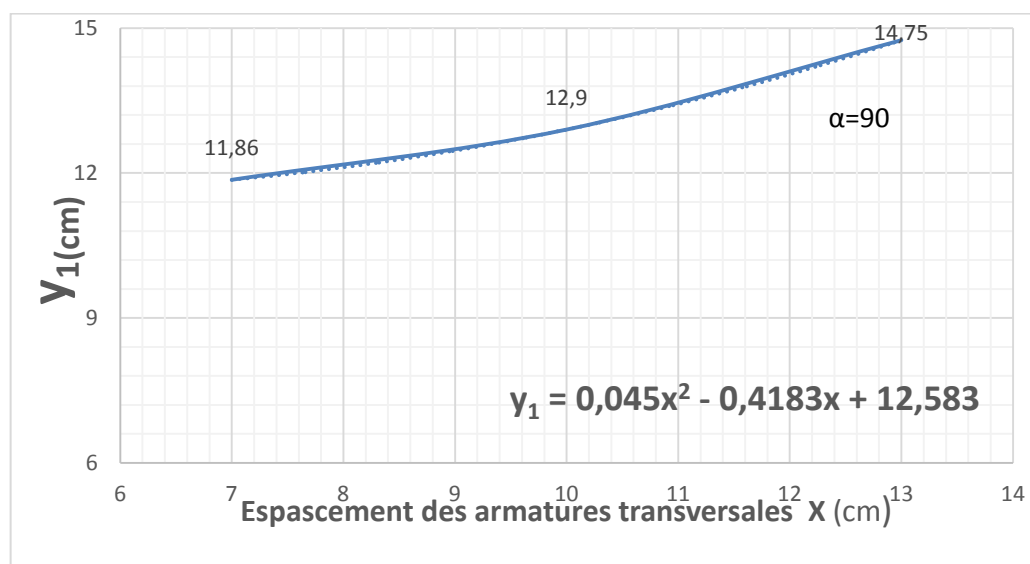


Figure 10.II.3 : Y_1 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha = 90^\circ$).

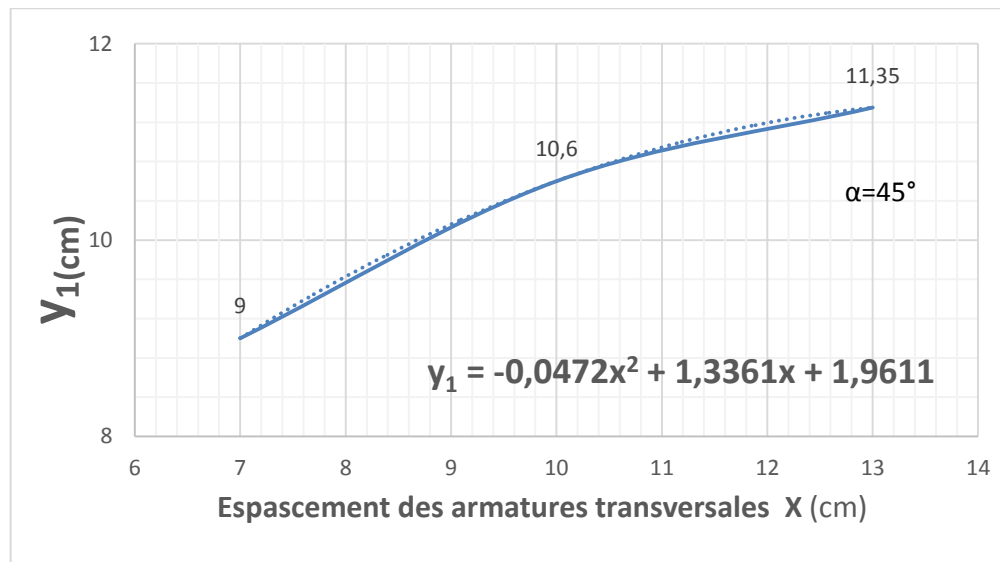


Figure 11.II.3 : Y_1 en fonction de l'espacement des armatures transversales ($\alpha=45^\circ$).

y_1 : la longueur verticale de la fissure.

Les graphes des figures ci-dessus représentent la variation entre l'espacement des armatures transversales inclinées de 45° et de 90° et la longueur verticale de la fissure (Y_1).

On observe que :

- Si l'espacement des armatures transversales augmente la longueur verticale des fissures augmente.
- La distance exprimant la limite inférieure de la fissure dans les poutres avec des armatures de 90° est plus petite que dans le cas des poutres avec des armatures de 45° . Cela signifie que la déformation des poutres ayant des cadres de 90° est importante par rapport aux cas des poutres ayant des cadres de 45° .

CONCLUSION GENERALE

Conclusion général

Dans les structures en béton armé, les éléments structuraux peuvent être soumis simultanément à des sollicitations de flexion et d'effort tranchant, dans ce cas, les déformations, les modes de fissurations et de rupture dus à l'effort tranchant peuvent être prépondérants.

L'objectif du présent travail est de contribuer à l'analyse et la modélisation de l'élément en béton armé en tenant compte de l'effort tranchant.

Dans ce travail la problématique de l'étude du comportement mécanique des poutres courtes en béton armé en mode cisaillement a été étudiée, les résultats obtenus montrent que le pari fixé au niveau des objectifs tracés au début de cette étude sont largement satisfaisants.

L'étude théorique portant sur les paramètres de départ (longueur de la poutre, section transversale, ferrailage, disposition des appuis, et capacité des poutres) à répondu avec satisfaction au mode de rupture attendu (mode flexionnel).

Les résultats des études expérimentales au niveau du laboratoire montrent l'influence de la variation de l'espacement, l'inclinaison de l'armature transversale et la résistance du béton sur la capacité portante des poutres.

1. On passant d'un espacement des armatures transversales de 7 à 13 cm, la perte de la capacité portante des poutres est de l'ordre de 11%.
2. Pour un changement de l'angle d'orientation des armatures transversales de 45° à 90° la charge de rupture des poutres diminue de 12%.
3. Concernant la résistance du béton : une augmentation de 06 % de la charge de rupture des poutres est enregistrée en passant de 25 MPa à 30 MPa pour la résistance du béton.

Nous suggérons à la fin de ce mémoire les propositions et les axes de recherches futures dans une optique d'une maîtrise plus réaliste et plus complète du comportement mécanique des poutres courtes en béton armé :

- Etude de renforcement des poutres à l'effort tranchant.
- Modélisation numérique du comportement mécanique des poutres.
- Etude de l'effet d'échelle pour connaître le comportement mécanique des poutres à échelle réelle.
- Couplage de l'effet de l'effort tranchant et de la flexion simultanément.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

- [1] : Règlement eurocode 2. Calcul des structures en béton AFNOR1992.
- [2] :ZERROUGUI.H, « comportement mécanique des poutres courtes en béton armé », mémoire de mastre, université de BBA, 23-06-2014.
- [3] : Mattieu LANGNEL, « Investigation Expérimentale et Théorique sur la performance de poutre en béton armé renforcées en cisaillement à l'aide de composites en PRF ancrés », Mémoire d'Ingénieur d'état, Montréal, 10-12- 2010.
- [4] : A .FUENTES, « le béton armé après fissuration », EDTIONS EYROLLES,PARIS 1980.
- [5] :SAIB Nacera, « prise en compte de l'effort tranchant dans la modélisation par élément finis des structures planes en béton armé », Mémoire de magister, 2008 .
- [6]: TADEUSZ GODYCKI-CWIRKO, « le cisaillement dans le béton armé », DUNOD PARIS 1972.
- [7] :Dr. Ir. P. Boeraeve, « Cours de Béton armé » ,10-03-2008.
- [8] : LISSADRE Laure, «Analyse de la fissuration des bétons et des techniques de mise en œuvre en vue d'optimiser la réalisation des ouvrages» thèse de licence, Strasbourg, 2006.
- [9] : Tania CROSTON, «Etude expérimentale du comportement d'une poutre en béton armé en flexion 3 points réparée par matériaux composites (approche probabiliste » thèse de DOCTEUR, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Centre de Bordeaux, 20 juin 2006.
- [10] : Dr. Ir. P. Boeraeve, « Cours de Béton armé » ,17-01-2010.
- [11] : M. BELAZOUGUI, « le béton armé aux états limites, Théorie et Application, Office des publications Universitaire », Réimpression 2000.
- [12] : R.Dupain, J.-C. Saint-Arroman, « 4e édition, granulats, sols, ciment et béton ».
- [13] : CHRIS. Karayannis et E.Chalioris, « L'effet des armatures transversales rectangulaires en spiral », 2013.

Références bibliographiques

[14] : Hamrat M*, Boulekbache B (Université de Chlef, Faculté de Génie Civil, Algérie), Chemrouk M (Université de Houari Boumediene, Faculté de Génie civil, Alger, Algérie), Amziane S (Université de Clermont Ferrand, France) 23-25 Novembre 2011 : organisent un séminaire international au niveau de l'université de Chlef étudié sur la résistance à l'effort tranchant des poutres sans armatures transversales.

[15] : Ministère de l'habitat. Règles de conception et de calcul des structures en béton armé C.R.A.93. Document technique réglementaire D.T.R.-B.C.2-24.

[16] : HAMMOUCHE.Y, « étude de comportement d'un béton en fibre polypropylène aux moyens des essais non destructifs », mémoire de master, 30-07-2012.

[17] : Pierre CHARON, « exercice de béton armé selon les règles B.A.E.L 83 ».

[18] : BUZZOUNI.O , « analyse non linéaire des éléments en béton armé en tenant compte de l'effort tranchant », Mémoire de magister.

[19] : EN 12390-2, « Essai pour béton durci - Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance », 2007.

[20] : EN 12350-2, « Essais pour béton frais- Essais d'affaissement », 2007.

[21] : EN 12390-3, « Essai pour béton durci – Résistance à la compression des éprouvettes », 2006.

[22] : EN 12390-4, « Essais pour béton durci – Résistance en compression Caractéristiques des machines D'essai », 2006.

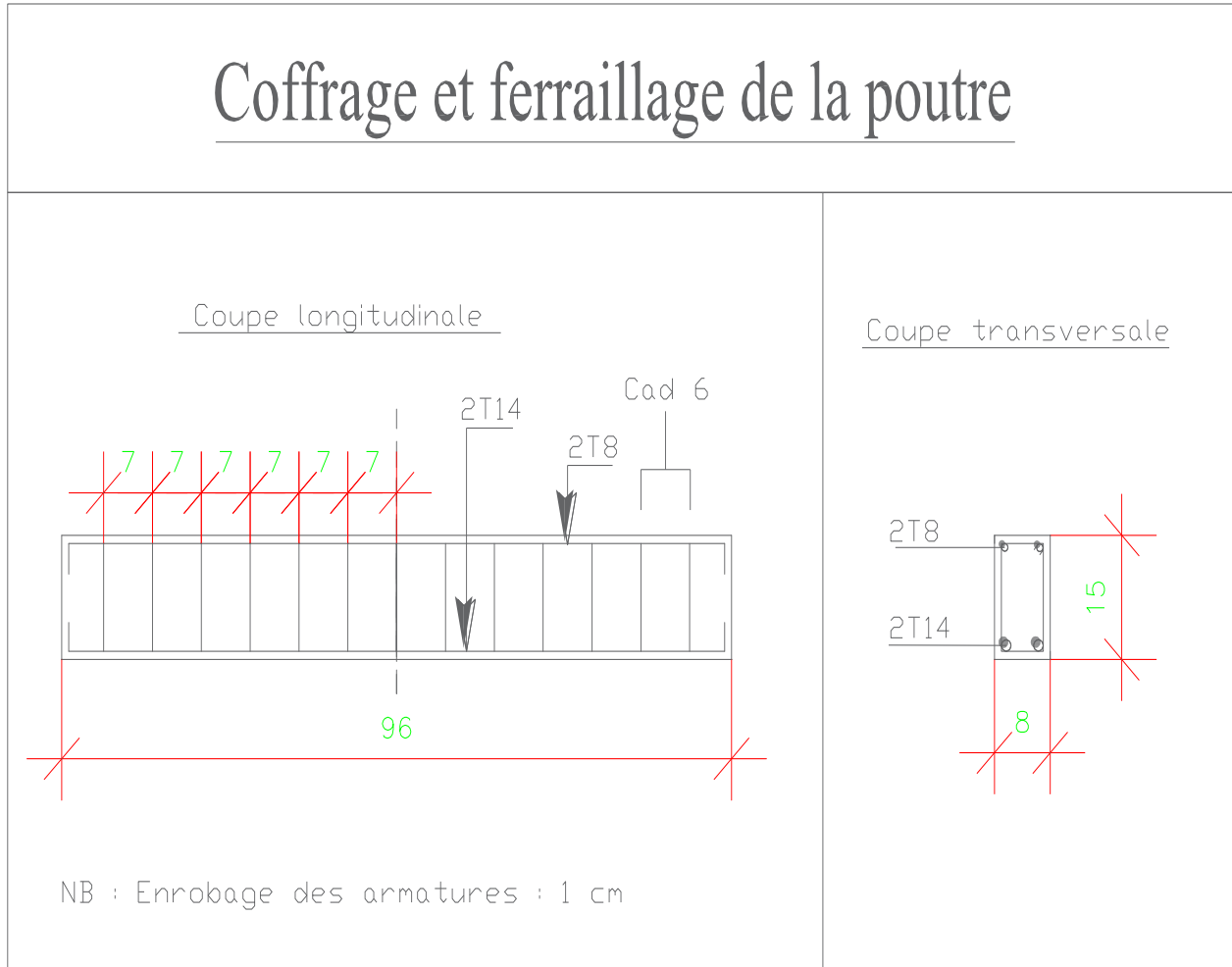
ANNEXES

Fiche technique des poutres : P1, P2, et P3

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P1, P2, et P3 sont des poutres en béton armé à longueur L= 960 mm, une largeur b = 80 mm, et une hauteur h = 150 mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	



ARMATURES







Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A _{inf}	2 T 14	Φ 6	Espacement : 7 cm
	A _{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 90°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)		
			P1	P2	P3
07 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	84,3	73,67	74,35
		Départ force : 1 KN			
		Vitesse : 0.05 MPa/sec			
		Arrêt force : 10 %			

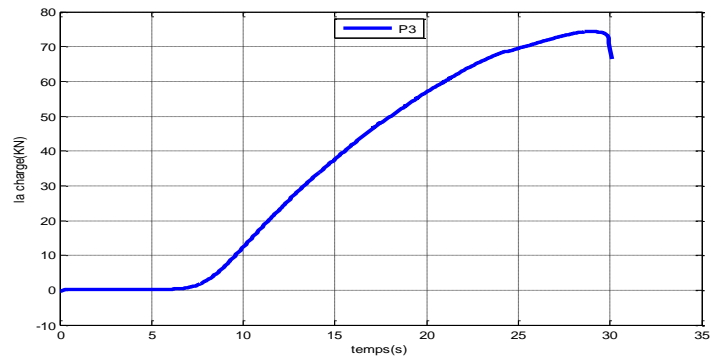
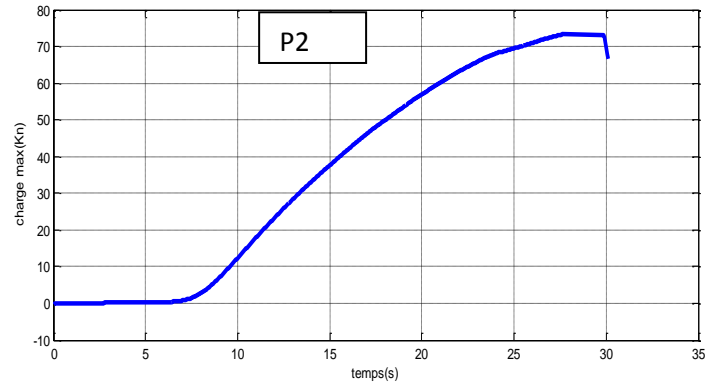
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

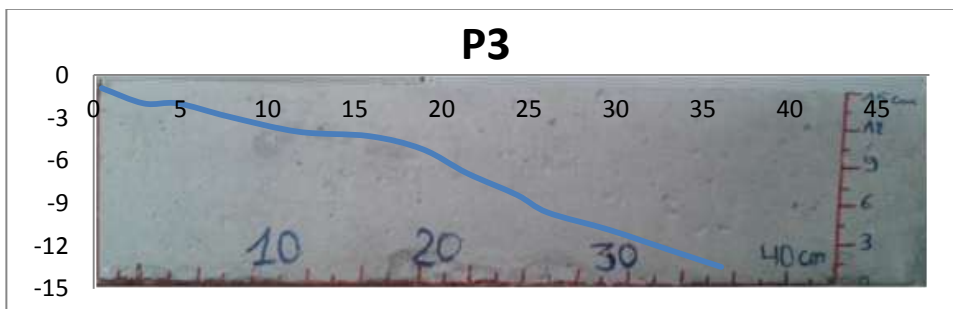
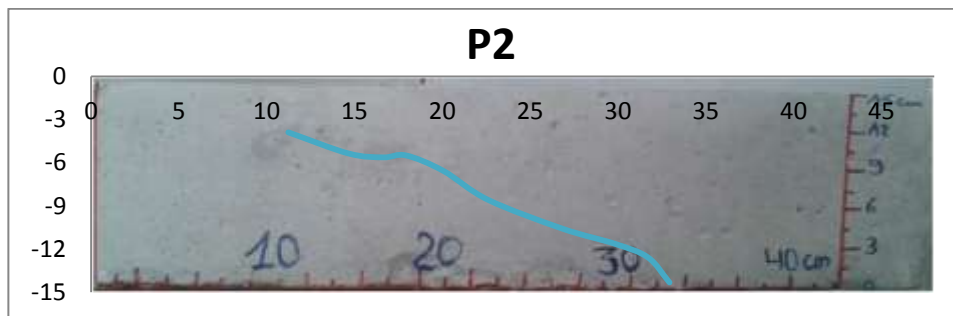
Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P1		
P2		
P3		

EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps



Modélisation de l'allure de la rupture

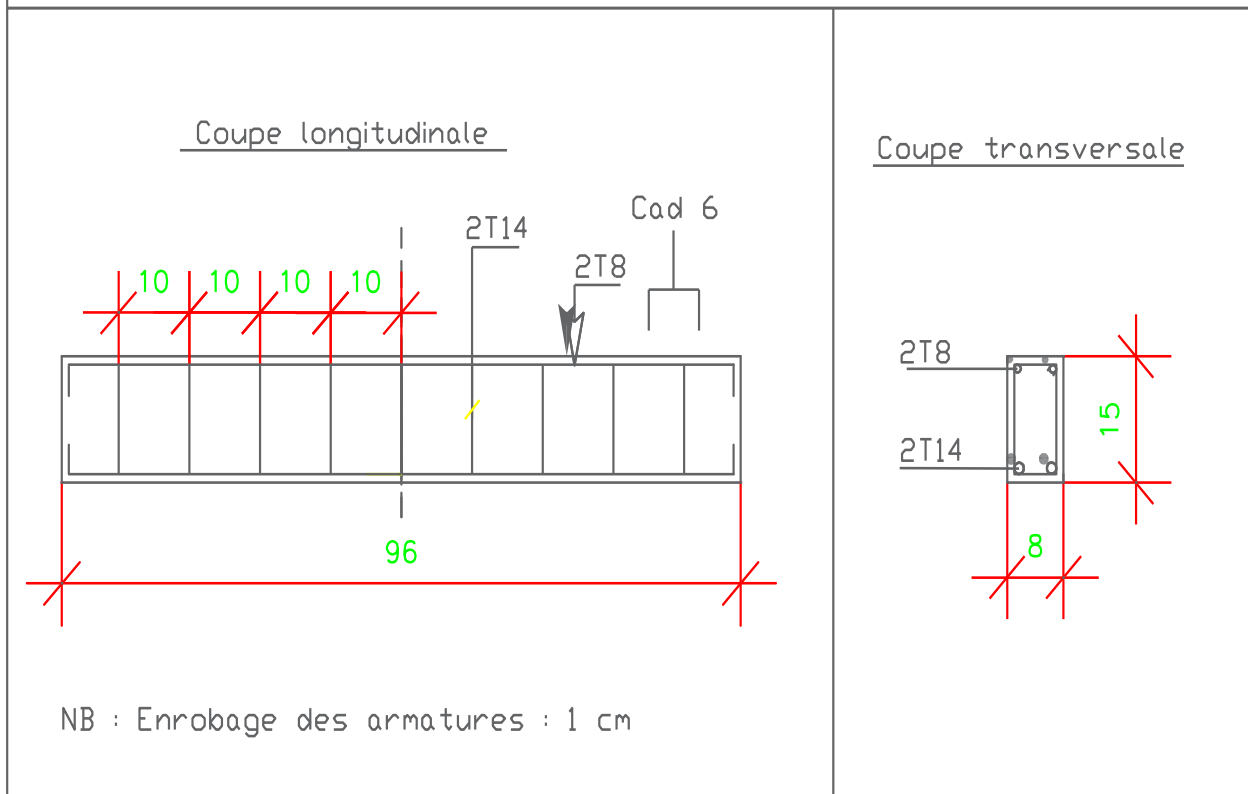


Fiche technique des poutres : P4, P5

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P4, P5 sont des poutres en béton armé à longueur $L = 960$ mm, une largeur $b = 80$ mm, et une hauteur $h = 150$ mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	



ARMATURES





Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A_{inf}	2 T 14	$\Phi 6$	Espacement : 10 cm
	A_{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 90°

MODE D'ESSAI POUTRES

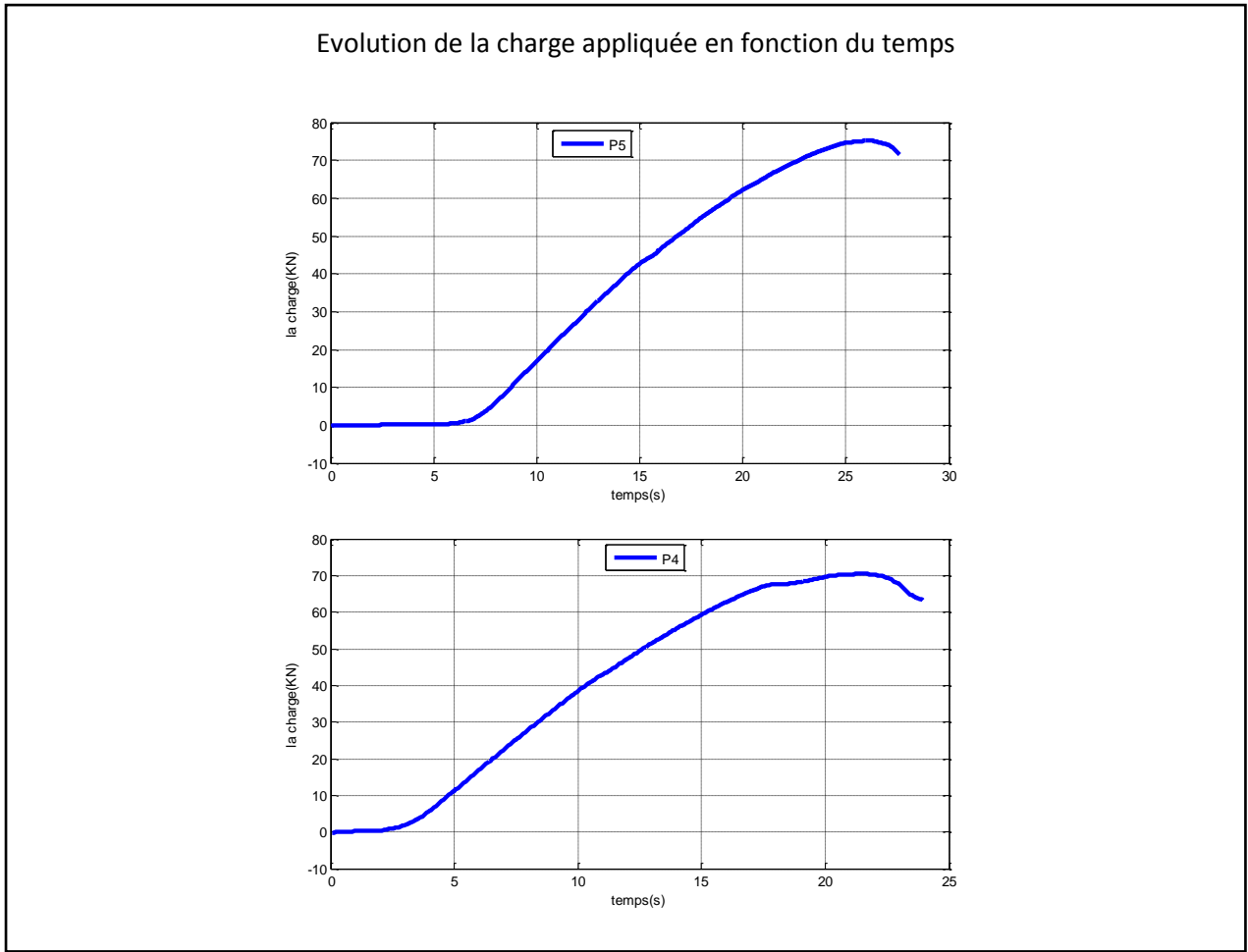
Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	28 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P4
Départ force : 10 KN			70,50	75,23
Vitesse : 0.5 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

REPORTAGE PHOTOS

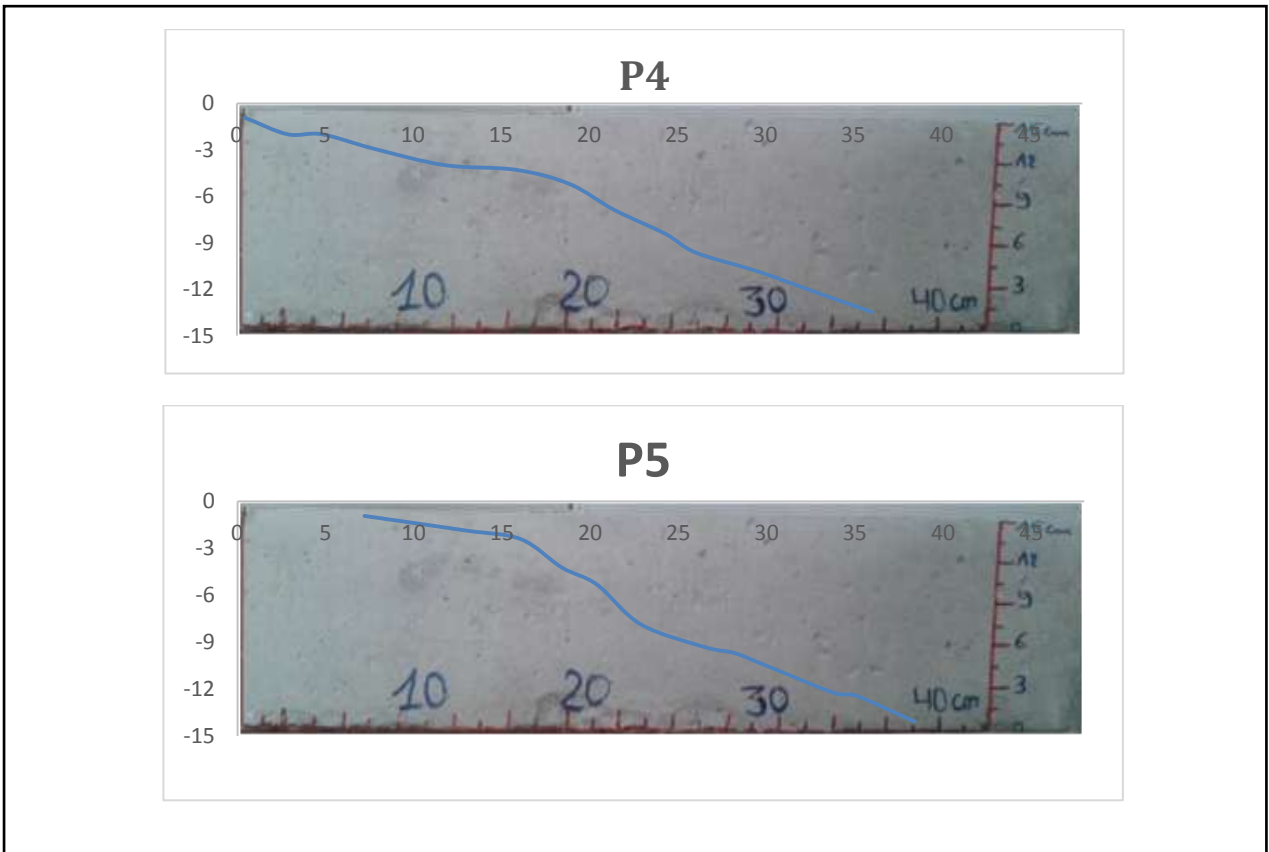
Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P4		
P5		

EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE



Modélisation de l'allure de la rupture

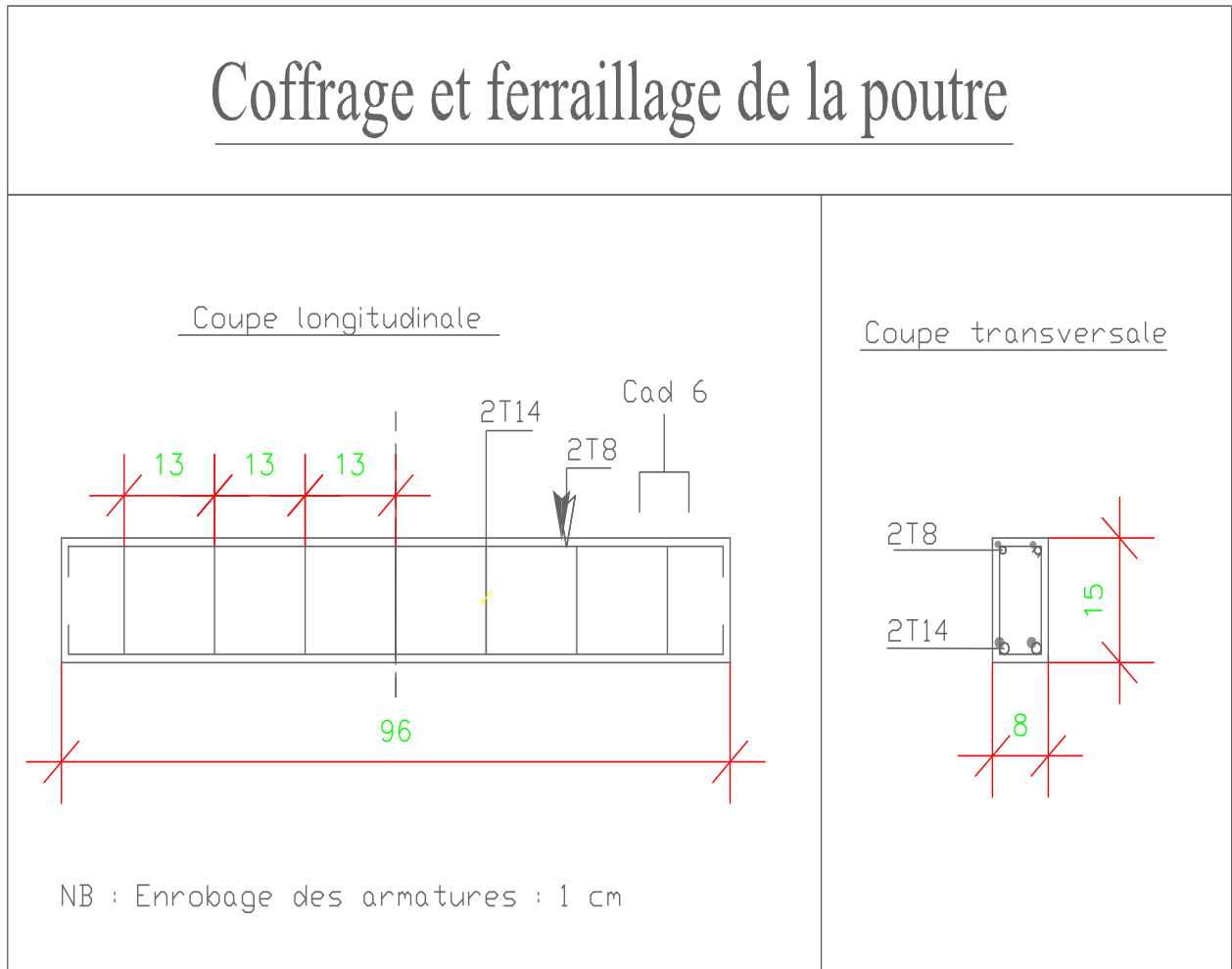


Fiche technique des poutres : P6, P7

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P6, P7 sont des poutres en béton armé à longueur L= 960 mm, une largeur b = 80 mm, et une hauteur h = 150 mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	



ARMATURES





Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A _{inf.}	2 T 14	Φ 6	Espacement : 13 cm
	A _{sup.}	2 T 8		Angle d'orientation : 90°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	28 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P6
Départ force : 1 KN			74,43	57,11
Vitesse : 0.05 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

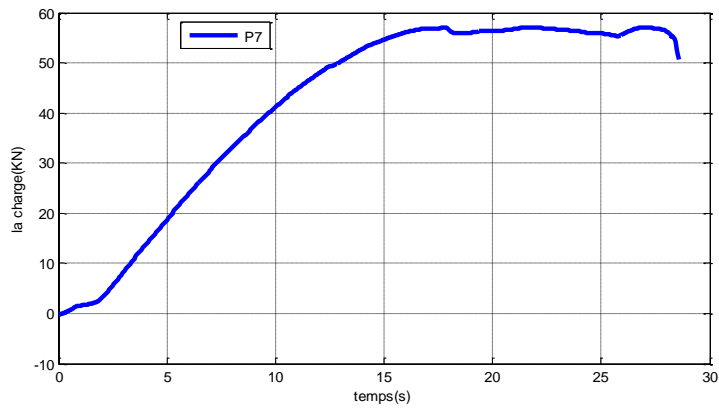
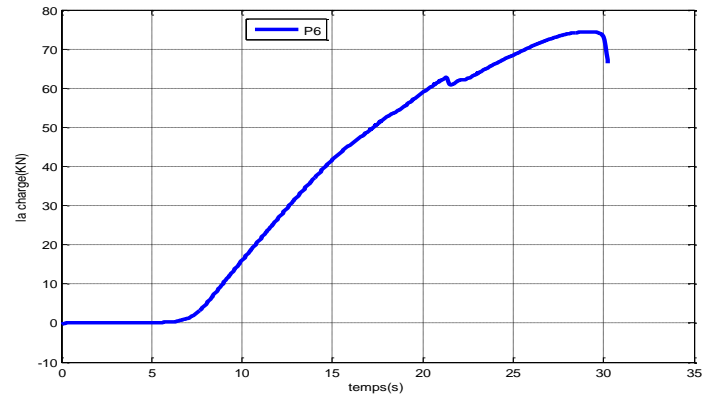
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrillage	Etape bétonnage
	

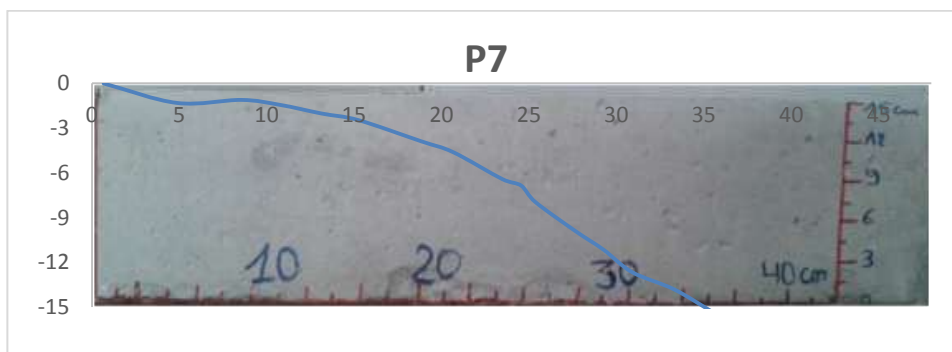
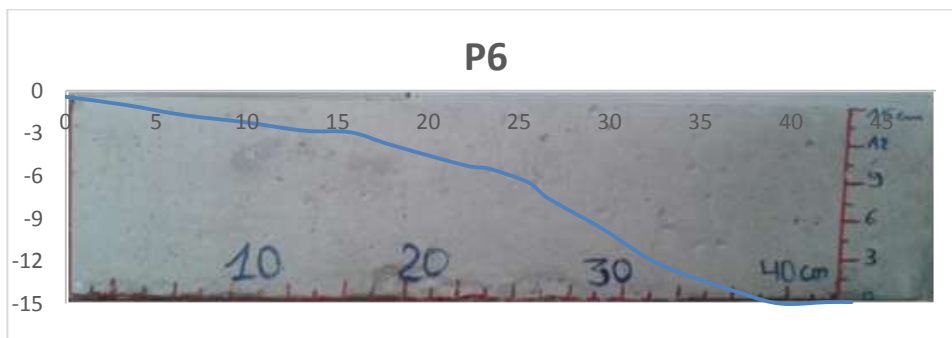
Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P6		
P7		

EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps



Modélisation de l'allure de la rupture

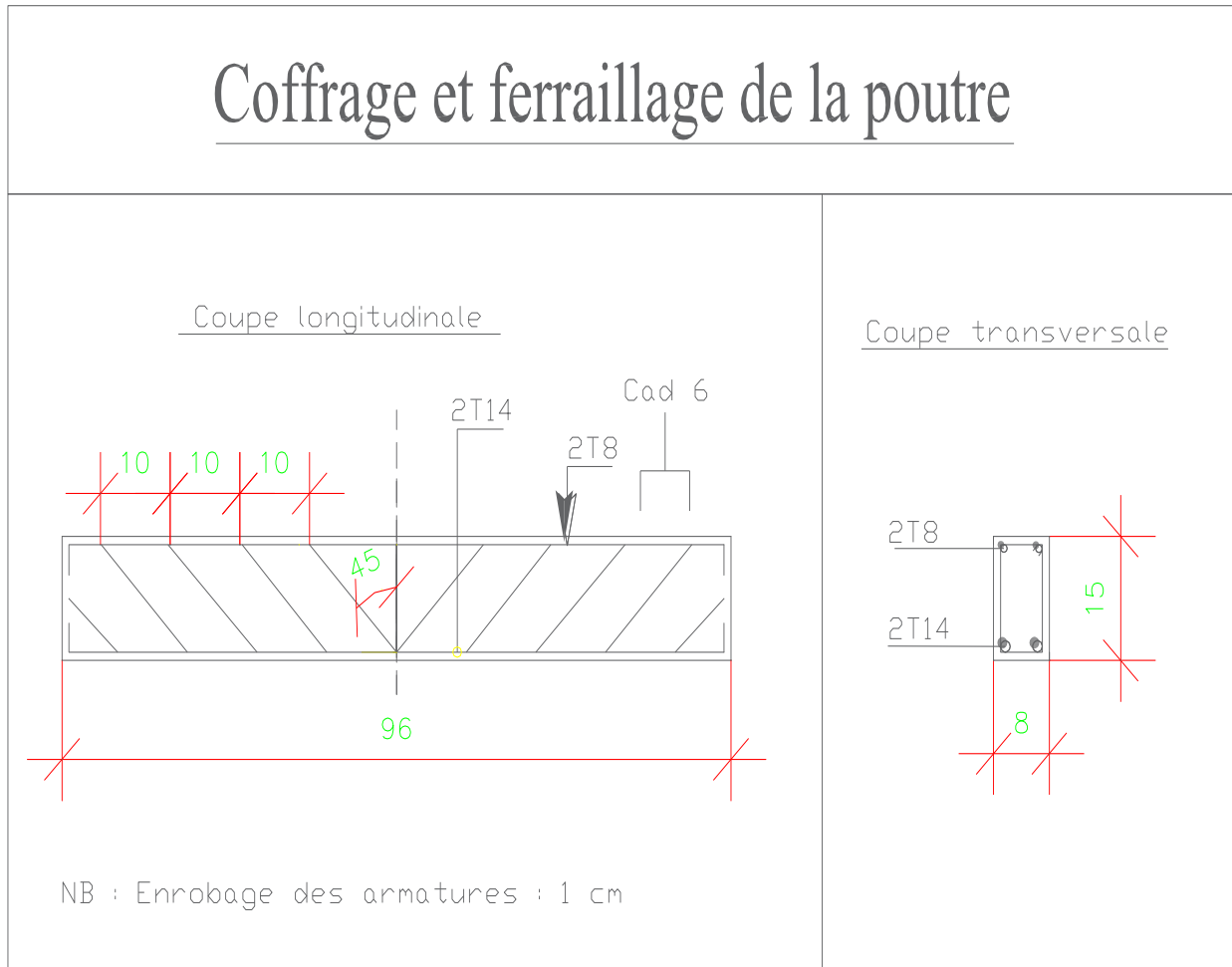


Fiche technique des poutres : P8, P9

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P8, P9 sont des poutres en béton armé à longueur L= 960 mm, une largeur b = 80 mm, et une hauteur h = 150 mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	



ARMATURES





Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A _{inf}	2 T 14	Φ 6	Espacement : 10 cm
	A _{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 45°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	28 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P8
Départ force : 1 KN			72,75	70,10
Vitesse : 0.05 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

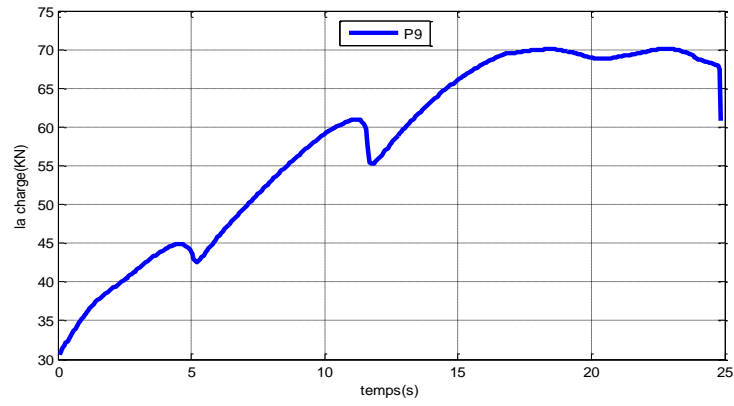
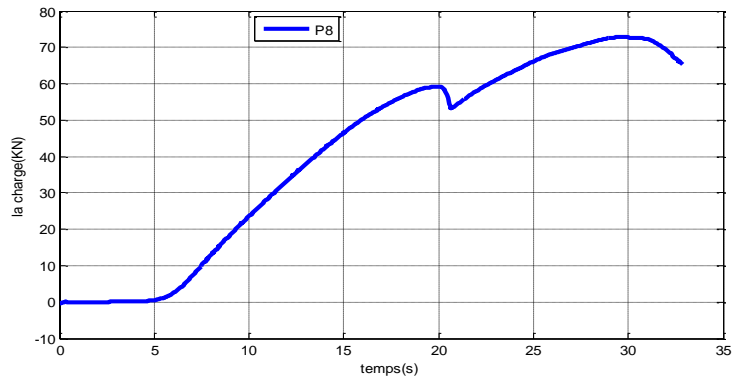
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P8		
P9		

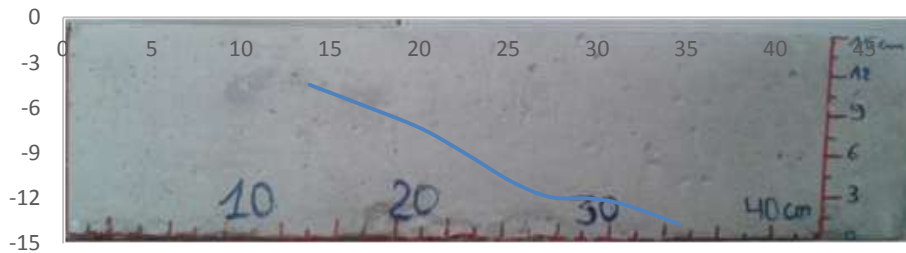
EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps

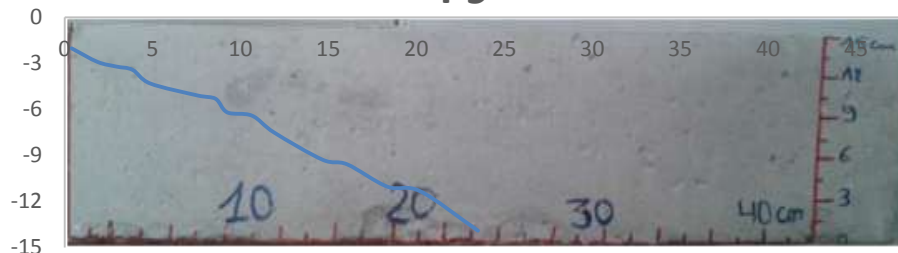


Modélisation de l'allure de la rupture

P8



P9

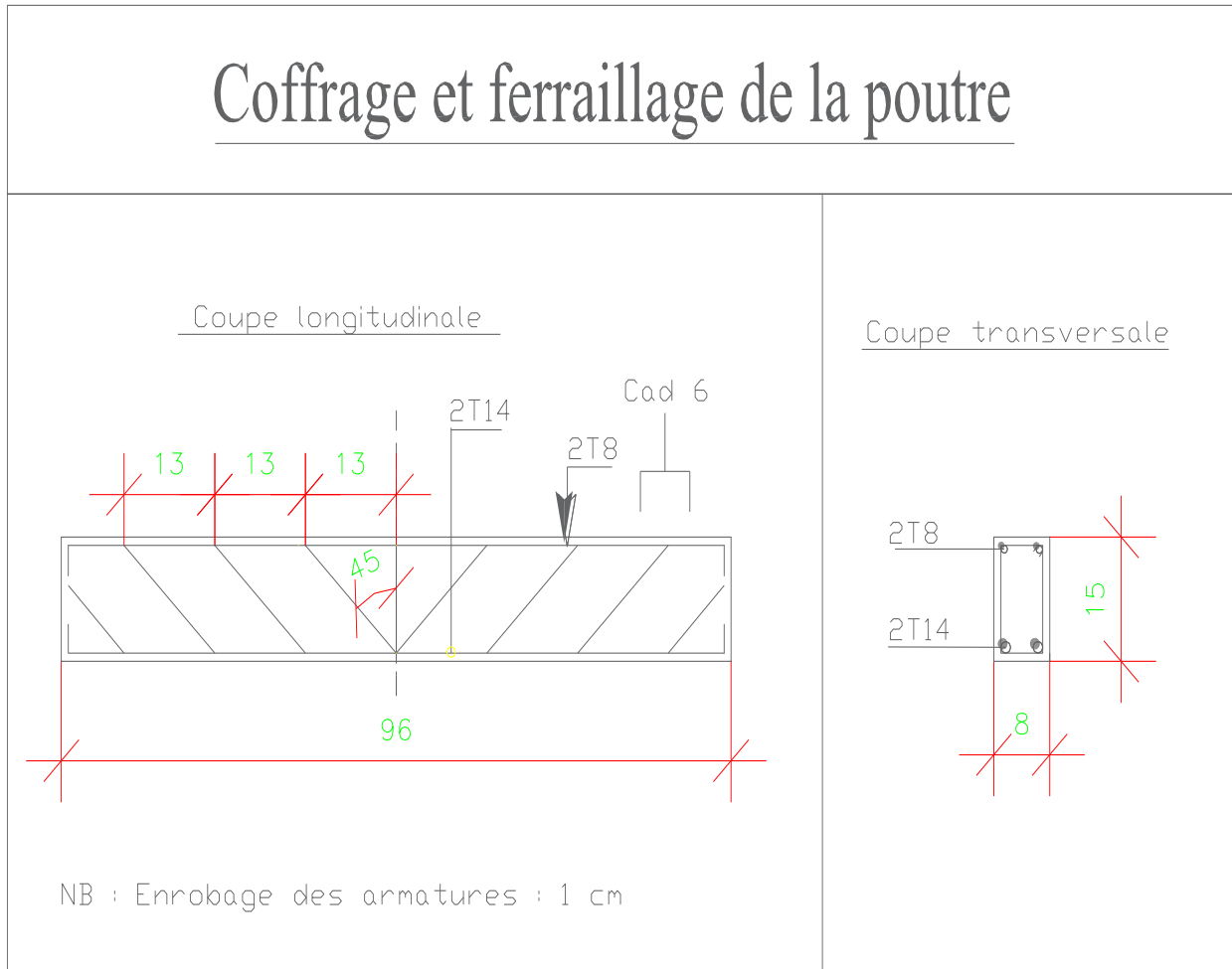


Fiche technique des poutres : P10, P11

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P10, P11 sont des poutres en béton armé à longueur L= 960 mm, une largeur b = 80 mm, et une hauteur h = 150 mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	

ARMATURES





Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A _{inf}	2 T 14	Φ 6	Espacement : 13 cm
	A _{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 45°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	30 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P10
Départ force : 1 KN			69,23	74,11
Vitesse : 0.05 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

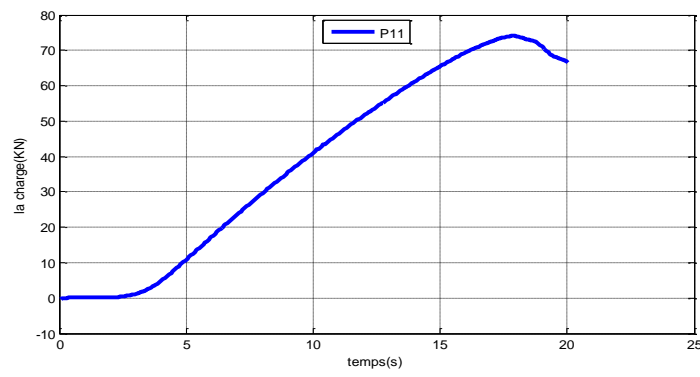
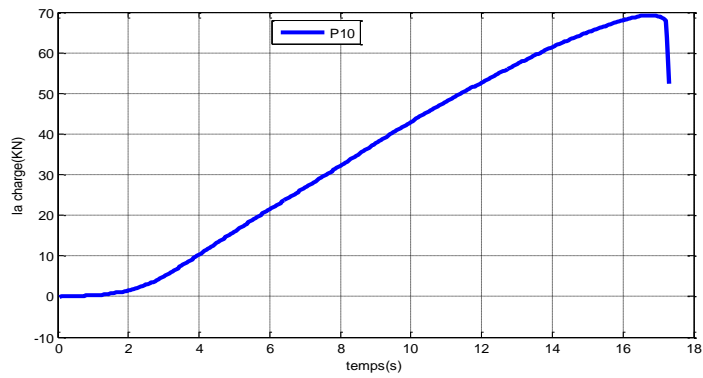
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

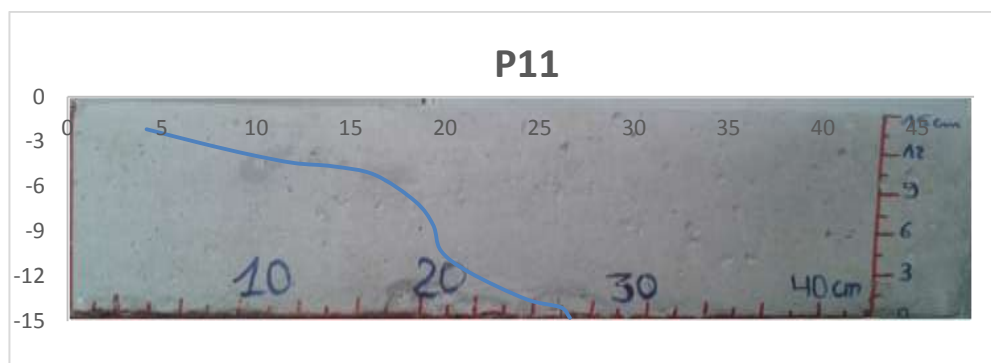
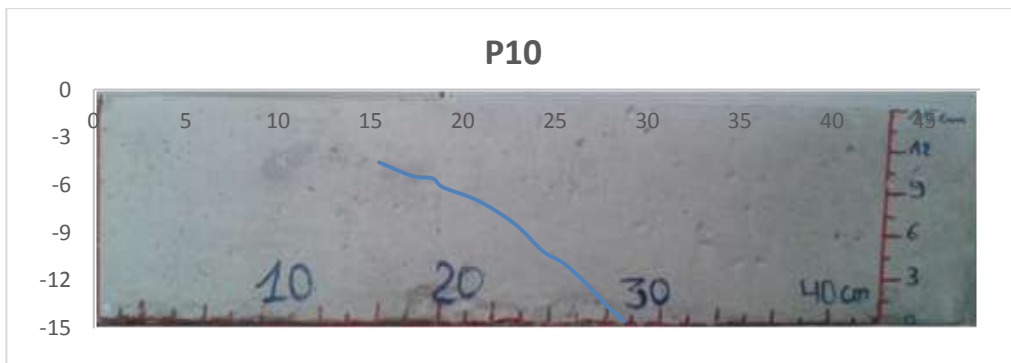
Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P10		
P11		

EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps



Modélisation de l'allure de la rupture

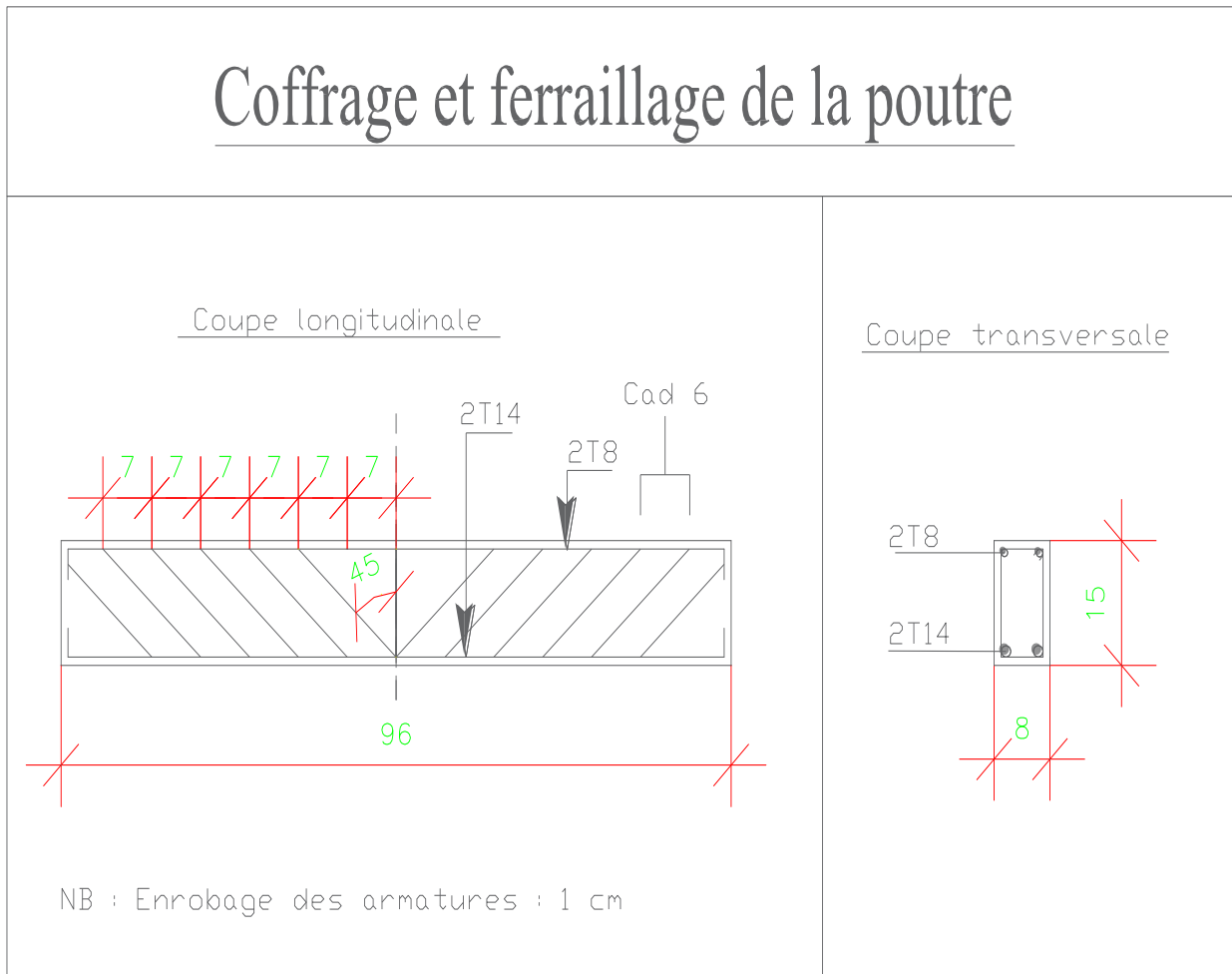


Fiche technique des poutres : P12, P13

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P12, P13 sont des poutres en béton armé à longueur L= 960 mm, une largeur b = 80 mm, et une hauteur h = 150 mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
30MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.88	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	16.75	
	Sable (0/3)	7.41	


ARMATURES





Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A _{inf}	2 T 14	Φ 6	Espacement : 7 cm
	A _{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 45°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	30 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P12
Départ force : 1 KN			84,74	82,59
Vitesse : 0.05 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

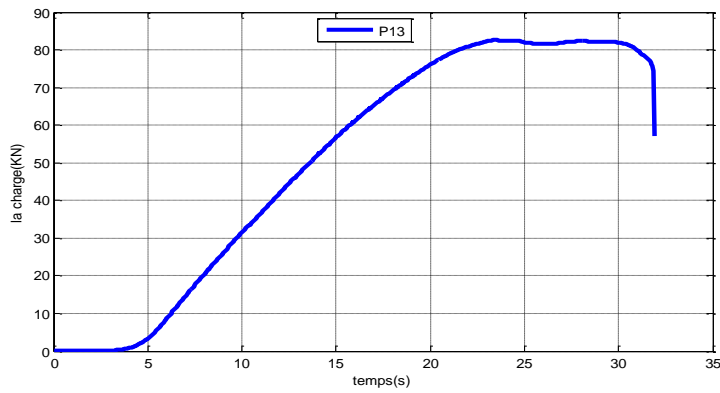
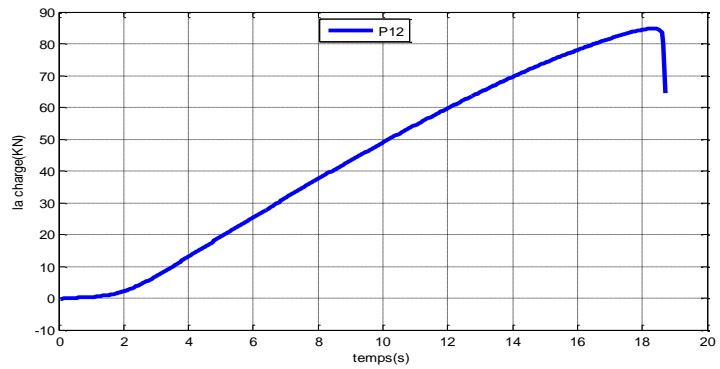
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P12		
P13		

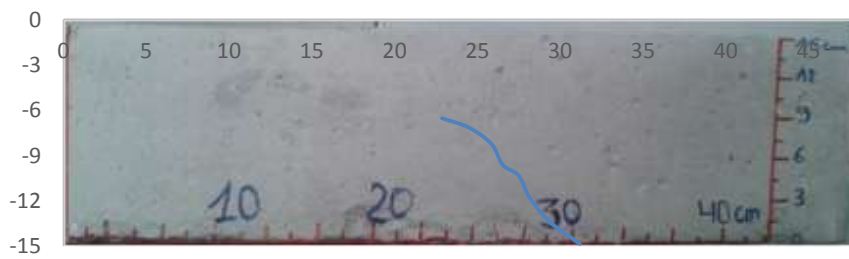
EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps

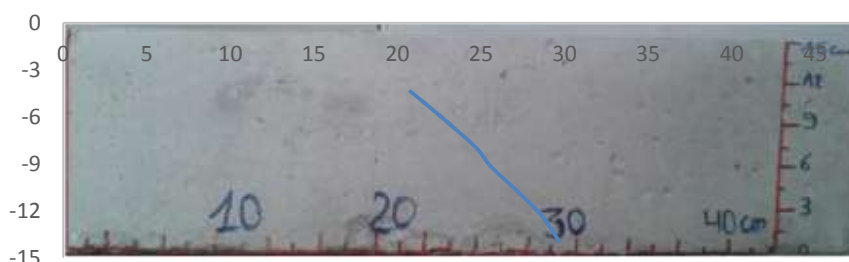


Modélisation de l'allure de la rupture

P12



P13

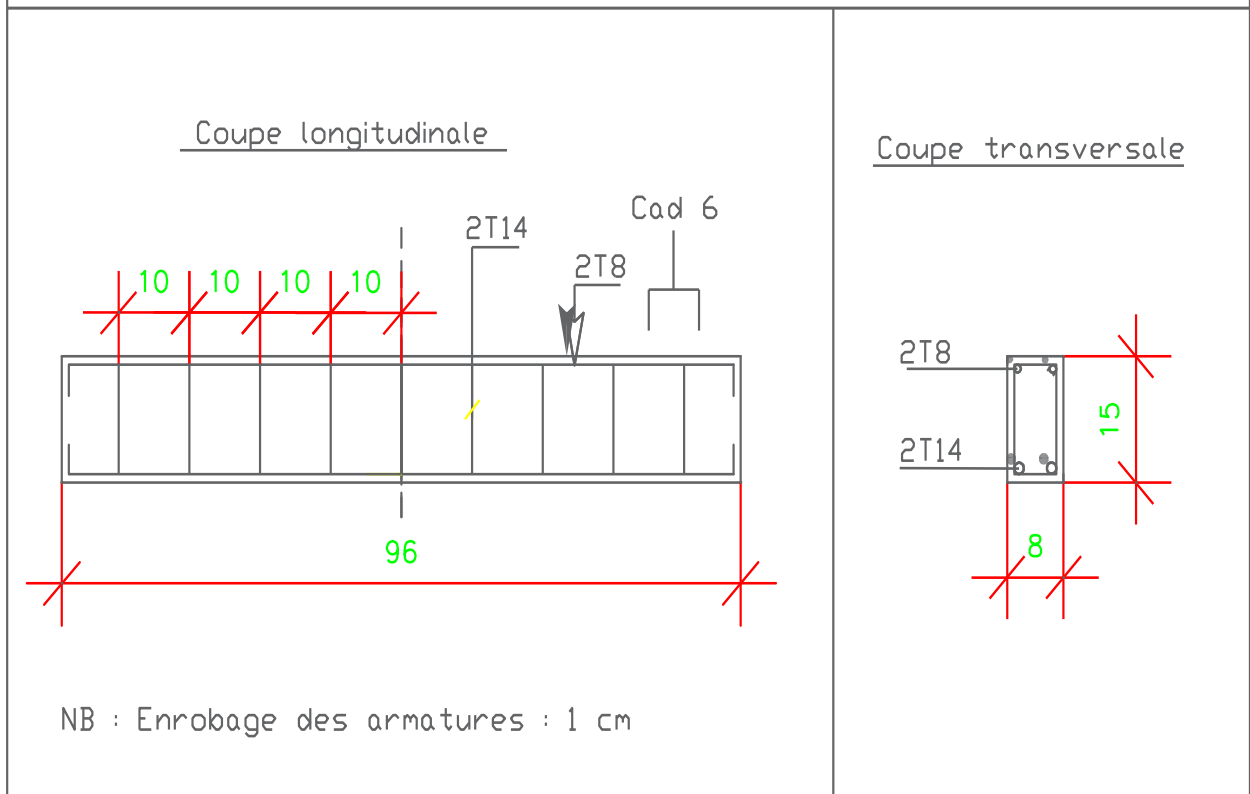


Fiche technique des poutres : P14, P15

DESCRIPTION GENERALE

Les poutres P14, P15 sont des poutres en béton armé à longueur $L = 960$ mm, une largeur $b = 80$ mm, et une hauteur $h = 150$ mm.

Coffrage et ferrailage de la poutre



BETON

Classe de résistance béton	Formulation du béton(Kg)		Ouvrabilité
25MPa à 28 j	Ciment (CPJ 42.5)	4.29	Affaissement = 6 cm
	Eau	2.90	
	Gravier (3/8 et 8/15)	17.14	
	Sable (0/3)	7.5	



ARMATURES

Nuance d'acier	Armatures longitudinales		Armatures transversales	
Fe E400 (long) Fe E235 (trans)	A_{inf}	2 T 14	$\Phi 6$	Espacement : 10 cm
	A_{sup}	2 T 8		Angle d'orientation : 90°

MODE D'ESSAI POUTRES

Age d'écrasement	Appareil d'essai		Charge de rupture poutre (KN)	
	30 Jours	Flexion 3 points	Long entre appuis : 860 mm	P14
Départ force : 1 KN			70,55	67,12
Vitesse : 0.05 MPa/sec				
Arrêt force : 10 %				

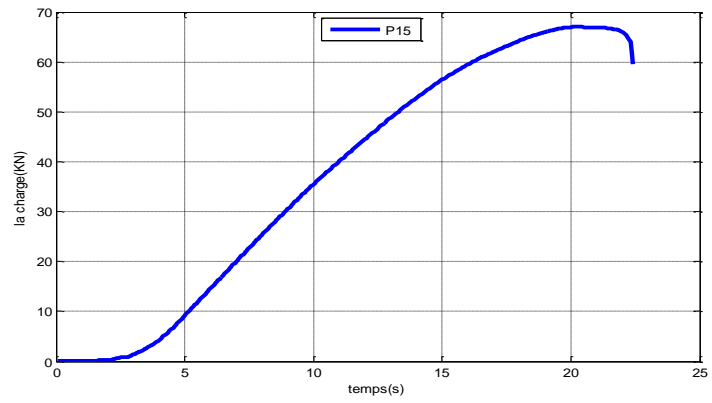
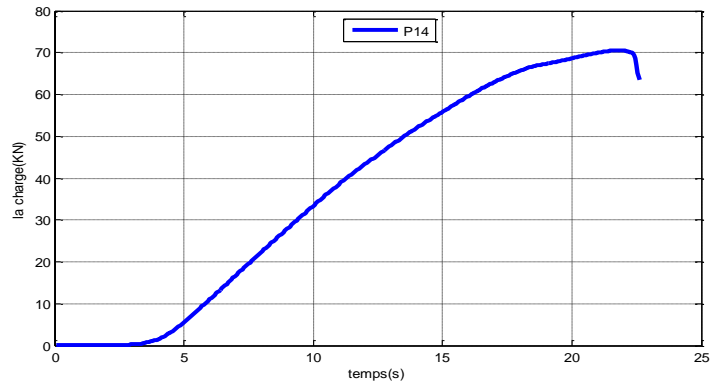
REPORTAGE PHOTOS

Fabrication poutre	
Etape ferrailage	Etape bétonnage
	

Essai d'écrasement de la poutre		
	Avant écrasement	Après écrasement
P14		
P15		

EXTRAIT DES RESULTATS GRAPHIQUES ET MODELISATION DE LA RUPTURE

Evolution de la charge appliquée en fonction du temps



Modélisation de l'allure de la rupture

