



**Ministère de l'enseignement supérieure
Et de la recherche scientifique**

UNIVERSITE DE M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

Département de génie civil

MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention d'un diplôme de
MASTER**

Option : STRUCTURES

THEME

**MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS DES
ESSAIS PUSH-OUT SUR DES CONNECTEURS EN
« CORNIERES SOUDEES ».**

**Dirigé par :
Mr. TITOU MESSAOUD**

**Présenté par :
KHODJA ZOUBIR**

Promotion : 2012/2013.



Remerciements

C'est avec humilité et gratitude que je reconnais ce que je dois :

Je commence par remercier et rendre grâce à Dieu le tout puissant de je avoir donné le courage et la volonté de mener à bon terme ce travail.

*Me remerciement vont en particulier mon promoteur **Mr TITOU MESSAOUD**, qui a accepté de mon cadré le long de cette mémoire. Pour tous ses conseils et critiques sur le plan scientifique qui a permis de bien orientés mon projet.*

Je tiens aussi à remercier tous les enseignants de l'option génie civil sans exception.

Je tiens à remercier également nous enseignants de différentes phases d'enseignement.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouvent ici nos sincères reconnaissances.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

Ma très chère mère qui m'a tant aidé avec son soutien. Elle est ma source de courage et de patience. Je lui exprime toute ma reconnaissance.

Mon très cher père pour sa patience et sa compréhension.

Mes frères et sœurs pour leurs soutiens.

Tous mes amis sans exception.

Tous mes amis qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail.



KHODJA ZOUBIR

TABLE DES MATIERES

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE-----	1
CHAPITRE I : CONNEXION (ACIER-BETON) DANS LES POUTRES MIXTES	
INTRODUCTION -----	4
I-1- ÉLÉMENTS DE STRUCTURES MIXTES ACIER-BETON-----	4
I -1-1-POTEAUX MIXTES ACIER-BETON-----	4
I-1-2- DALLES MIXTES ACIER-BETON -----	5
I-1-3- POUTRES MIXTES ACIER-BETON -----	5
I-2- COMPORTEMENT D'UNE POUTRE MIXTE -----	7
I-3- LES MATERIAUX UTILISES DANS LA CONSTRUCTION MIXTES -----	8
I-4- LARGEUR PARTICIPANTE DE DALLE -----	8
I-5- CLASSIFICATION DES SECTIONS -----	10
I-6- DIMENSIONNEMENT DES POUTRES MIXTES -----	11
a) <i>Eta limite ultime.</i> -----	12
b) <i>Eta limite service</i> -----	12
I-7- GENERALITES SUR LES CONNECTEURS -----	13
I-8- DEFINITION ET ROLE DES CONNECTEURS -----	14
I-9- EVOLUTION DES SYSTEMES DE CONNEXION -----	14
I-10-1- TYPE DE CONNECTEURS -----	17
I-10-2- DEGRE DE CONNEXION -----	17
I-10-3- Degré d'interaction-----	19
a) <i>Interaction Totale</i> -----	19
b) <i>Interaction Partielles</i> -----	19

TABLE DES MATIERES

I-11-COMPORTEMENT DES CONNECTEURS	20
I-12-CALCUL DES EFFORTS INTERIEURS	21
<i>a) Calcul Elastique De La Connexion</i>	21
I-13-1-NOMBRE DE CONNECTEURS	22
I-13-2-ESPACEMENT DES CONNECTEURS (E)	22
I-14-RESISTANCE DES CONNECTEURS ET CALCUL DE LA CONNEXION	22
I-14-1-RESISTANCE DE CALCUL DES GOUJONS A TETE SOUDES	22
<i>a) goujons en presence d'une dalle pleine</i>	23
I-14-2-RESISTANCE DE CONNECTEUR EN EQUERRE CLOUEE	23
I-14-3- CONNECTEUR EN COURNIERES SOUDEES DANS LES DALLES PLEINES	24
I-14-4-RESISTANCE DE CONNECTEUR EN U	26
I-15- CLASSIFICATION DES CONNECTEURS	27
I-15-1- CONNECTEUR DUCTILES (SOUPLES)	27
I-15-2- CONNECTEUR NON DUCTILES (RIGIDES)	28
I-16- MISE EN PLACE DES CONNECTEURS	28
I-17- RAISONS D'UTILISER DES STRUCTURES MIXTES	30
I-17-1- ASPECTS ARCHITECTURAUX	30
I-17-2- ASPECTS ECONOMIQUES	30
I-17-3- FONCTIONNALITE	31
I-17-4- EQUIPEMENT ET UTILISATION FLEXIBLE DU BATIMENT	31
I-18- LES INCONVENIENTS	32
I-19- CONCLUSION	32

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE II : ESSAIS DE CISALEMENT SUR LES CONNECTEURS.

INTRODUCTION -----	34
II-1- L'ESSAIS PUSH-OUT EST-IL REPRESENTATIF ? -----	34
II-1-1- Soulevement -----	38
II-2- BUT DE L'ESSAI-----	38
II-3- Despositifs d'essai et corps d'epreuve-----	38
II-3-1- Caracteristiques geometriques du connecteur « corniere soudee »-----	41
II-3-2- Caracteristiques geometriques de profile metallique-----	42
II-3-3- Caracteristiques mecaniques des materiaux -----	43
II-4-PREPARATION DES EPROUVETTES-----	44
II-5- PROCEDURE D'ESSAI -----	46
II-5-1- RECOMMANDATIONS DE L'EUROCADE 4 -----	46
II-5-2- INSTALATION EST INSTRUMENTATION -----	46
II-5-3- POINTS DE MESURE -----	48
<i>a) jouges de deformations -----</i>	<i>48</i>
<i>b) capteurs de déplacements -----</i>	<i>48</i>
II-6- MODE DE RUINE DONNE PAR EC-4-----	49
II-7- INTERPRETATION DES RESULTATS -----	50
II-8- CONCLUSION -----	52

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE III : MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS DE L'ESSAI PUSH-OUT.

INTRODUCTION -----	54
III-1- ETAPES DE LA MODELISATION NUMERIQUE -----	54
III-2- PRESENTATION NUMERIQUE -----	55
III-2-1- SYMETRIE -----	55
III-2-2- ELEMENTS FINIS UTILISES -----	56
<i>a) élément plan quadrilateral « PLANE42 »</i> -----	56
<i>b) élément barre « LINK1 »</i> -----	56
III-2-3-LOIS DE COMPORTEMENT DES MATERIAUX -----	57
<i>a) béton</i> -----	57
<i>b) acier</i> -----	58
III-2-4-DEFINITION DU MAILLAGE -----	58
III-2-5-CONDITION AUX LIMITES -----	61
III-2-6-APPLICATION DES CHARGES-----	61
III-3- VALIDATION DU MODELE PROPOSE-----	62
III-4- CONCLUSION -----	65
CONCLUSION GENERALE -----	66

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Résistances au cisaillement V_{rd} des équerres HVB.....	24
Tableau 2.1 : Caractéristique géométrique de du connecteur « cornière soudée ».....	42
Tableau 2.2 : Caractéristique géométrique de profilé métallique.....	43

LISTE DES FIGURES

Liste des figures

CHAPITRE I :

Figure 1-1 : Exemple de sections transversales des poteaux mixtes-----	4
Figure 1-2 : Dalle mixte acier-béton-----	5
Figure 1-3 : Différentes formes de poutre mixte -----	5
Figure 1-4 : Exemples de type de profile métallique -----	6
Figure 1-5 : Connexion entre la dalle en béton et le profile -----	6
Figure 1-6 : Principe de fonctionnement de poutre mixte fléchie -----	7
Figure 1-7 : Comparaison entre section mixte et non mixte -----	8
Figure 1-8 : Largeur participante de dalle pour une poutre de plancher -----	9
Figure 1-9 : Valeurs de L_0 pour une poutre mixte continue -----	9
Figure 1-10 : Comportement et classes des sections mixtes-----	10
Figure 1-11 : Distribution des contraintes dans une section mixte -----	11
Figure 1-12 : L'itéret de la connexion dans les poutres mixte-----	14
Figure 1-13: Connecteur, en forme d'hélice, soude au profile en acier -----	14
Figure 1-14: Connecteur, en forme de crochet, soudés sur la semelle supérieure du profile métallique --	15
Figure 1-15 : Butées réalisées à partir de profiles divers-----	15
Figure 1-16 : Connecteurs composes d'une butée a la base et renforces par une barre d'acier pour résister au soulèvement-----	15
Figure 1-17 : Différents types de goujons soudés sur la semelle supérieure du profile métallique ---	16
Figure 1-18 : Différents types de connecteurs-----	17
Figure 1-19 : Types de connexion-----	17

LISTE DES FIGURES

Figure 1-20 : Degré de connexion au cisaillement-----	18
Figure 1-21 : Distribution des déformations plastiques dans la section transversale de poutre composite-----	19
Figure 1-22 : Distribution des déformations plastiques avec interaction partielle-----	20
Figure 1-23 : Différents efforts appliqués au connecteur dans une poutre mixte chargée -----	20
Figure 1-24 : Modèle de calcul élastique de l'effort rasant -----	22
Figure 1-25 : Goujons à tête soude -----	23
Figure 1-26 : Connecteur en équerres clouée -----	24
Figure 1-27 : Connecteur en cornière -----	25
Figure 1-28 : Type profil connecteurs « U »-----	26
Figure 1-29 : Classification des connecteurs par rapport à leurs comportements caractérisés par le rapport glissement/charge appliquée-----	27
Figure 1-30 : Soudure du connecteur de cisaillement de goujon en utilisant un pistolet de soudure -	28
Figure 1-31 : Effet d'encombrement des connecteurs de cisaillement de goujon.-----	29
Figure 1-32 : Connecteur de nervure de Perforons à soudé pour rayonner la semelle. -----	29
Figure 1-33 : Connecteur de cisaillement de la Manche à soudé pour rayonner la semelle. -----	30

CHAPITRE II :

Figure 2-1 : Principe de l'essai Push-Out. -----	34
Figure 2-2: Principe de l'essai Double Push-Out.-----	35
Figure 2-3 : Principe de l'essai Push-In. -----	35
Figure 2-4 : Comparaison entre le comportement d'un connecteur en place dans la poutre et son comportement au cours d'un essai Push-Out. -----	37

LISTE DES FIGURES

Figure 2-5 : Corps d'essai Push-Out sur un connecteur type cornière avec filant.	39
Figure 2-6 : Corps d'essai push-out sur un connecteur type cornière avec filant.	40
Figure 2-7 : Eprouvette pour un essai normalisé sur connecteur type goujon à tête.	41
Figure 2-8 : Caractéristiques géométriques de la cornière	41
Figure 2-9 : Diagramme contrainte-déformation (S, ε) de l'acier suppose elasto-plastique parfait. ---	43
Figure 2-10 : Diagramme contrainte-déformation du béton.	44
Figure 2-11 : Mode de coulage du béton.	44
Figure 2-12 : Vibration et finition du bloc de béton.	45
Figure 2-13 : Préparation des éprouvettes cylindriques.	45
Figure 2-14 : Dispositif de l'essai push-out.	47
Figure 2-15 : Presse trebel	47
Figure.2-16: Modes de ruine des connecteurs selon l'ec-4.	49
Figure 2-17 : Diagramme ((charge-glisement v)).....	50
Figure 2-18: détermination de la capacité de glissement du correspondant à PRK.	51

CHAPITRE III :

Figure 3-1 : Etapes pour l'élaboration d'un modèle numérique.	54
Figure 3-2 : Eprouvette d'essai Push-Out à modéliser.	55
Figure 3-3 : Modèle proposé.	55
Figure 3-4 : Élément plan quadrilatéral « PLANE 42 ».	56
Figure 3-5 : Élément « LINK 1 ».	57
Figure 3-6 : Diagramme contrainte-déformation du béton.....	57

LISTE DES FIGURES

Figure 3-7 : Diagramme bilinéaire de contrainte déformation de l'acier. -----	58
Figure-3-8 : Les différents éléments constituant le Maillage complet du modèle d'essai Push-Out --	60
Figure 3-9 : Maillage du modele avec conditions aux limites. -----	61
Figure 3-10 : Glissement à l'interface acier-béton. -----	62
Figure 3-11 : Courbe charge/glisement donnée par un capteur de déplacement placé à l'extrémité inférieure du profilé. -----	63
Figure 3-12 : Contraintes de Von Mises : Pyramide de diffusion des efforts..-----	64
Figure 3-13 : Déplacement et déformation réel des connecteurs en cornière.-----	64
Figure 3-14 : Forme de la déformée : Décollement entre le béton et la cornière dans le modèle numérique. -----	65

ملخص :

في هذا البحث ، اجرينا دراسة على نوع جديد من الموصلات (CONNECTEUR) يسمى زاوية ملحومة (Cornière soudée) التي يمكن استخدامها في الجسور المركبة من المعدن الصلب والخرسانة المستعملة في الجزائر. وينقسم هذا العمل الى قسمين:

القسم الاول:

تم استعراض ودراسة النظريات والتجارب التي اجريت في بحوث تجريبية على الروافد المركبة مع التركيز بصفة خاصة على تجارب تدعى (Push-out) على انواع مختلفة من الموصلات لضمان الاتصال بين البلاطة (الخرسانة) مع الصلب (المعدن).

القسم الثاني:

أجرينا دراسة ونمذجة عددية للعناصر المجزأة والمحدودة باستخدام برنامج الانسيز لتجربة (Push-out) على نوع من انواع الموصلات وهو الزاوية الملحومة (cornière soudée).

Résumé :

Dans ce travail de recherche, nous avons mené notre étude sur un nouveau type de connecteurs, appelé « cornière soudée avec filant » qui peut être utilisé dans les ponts mixtes acier-béton réalisés en Algérie.

Ce travail est divisé en deux parties :

L'étude bibliographique développée dans la première partie consiste à faire une synthèse des recherches expérimentales et théoriques sur les poutres mixtes en s'attachant plus particulièrement aux essais Push-Out effectués sur les différents types de connecteurs afin d'assurer la connexion entre la dalle de béton et le profilé métallique.

Dans la deuxième partie, nous avons effectué une modélisation numérique par la méthode des éléments finis de l'éprouvette d'essai « Push-Out » en utilisant un nouveau type de connecteurs, « la cornière soudée avec filant ».

Les résultats de cette étude montrent que le connecteur en « **cornière soudée** » présente un comportement rigide ($\delta_u < 2 \text{ mm}$) et il peut être utilisé dans le calcul plastique des poutres mixtes.

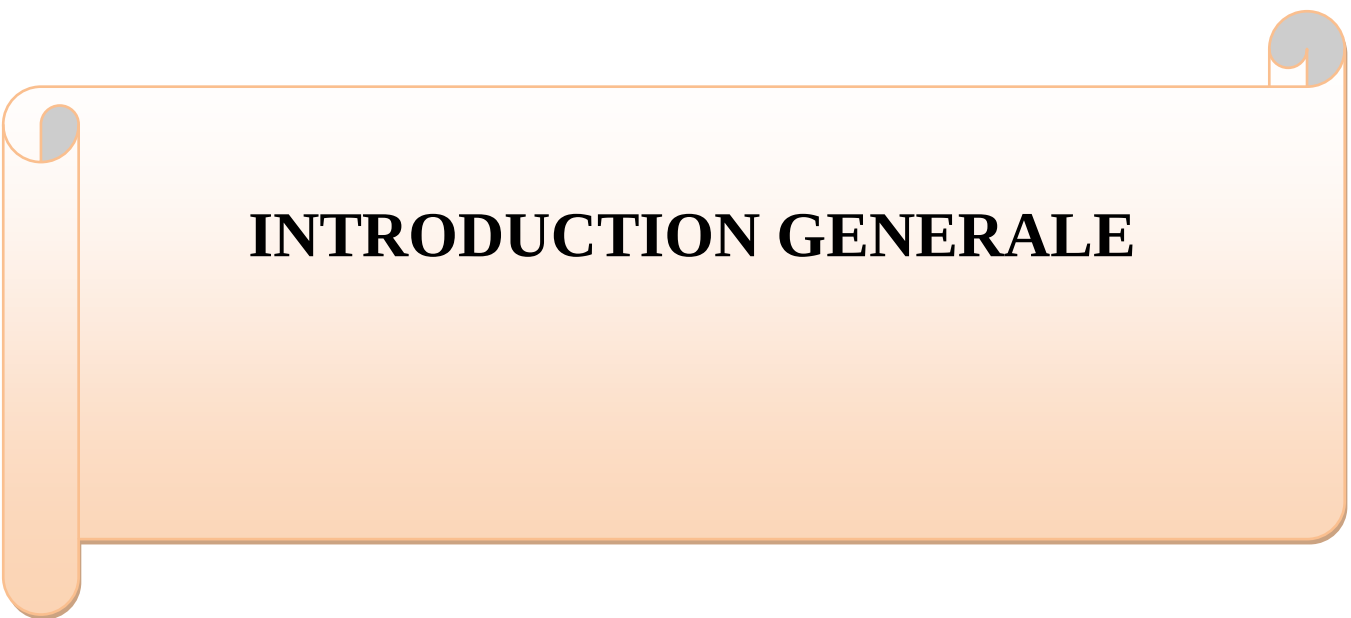
Mots clés : poutre mixte (acier-béton), connecteurs, Essai de cisaillement, Méthode des Elément finis.

Abstract

In this study, a two – dimensional finite element model with plane stress elements is presented using ANSYS software to simulate the <<push-out>> test for << Angle >> shear connectors.

The model has been validated against test results of university, Nancy I. The results show that the << angle >> shear connector can be classified as “rigid” and it can be used in plastic design of composite beams.

Key words: steel-concrete, composite beams, shear connectors, push-out tests, Finite element method.



INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

Dans le domaine des bâtiments et des travaux publics, les matériaux les plus utilisés en raison de leur rapport coût/performance sont l'acier et le béton. L'association de ces deux matériaux est effectuée par deux méthodes :

- une liaison continue par adhérence : béton armé, poutrelles enrobées de béton.
- une liaison discrète par connecteurs comme dans les ponts mixtes.

Dans le cas des poutres mixtes, les connecteurs métalliques permettent la solidarisation entre la dalle en béton et le profilé en acier. Ils reprennent ainsi les différentes sollicitations existant à l'interface en empêchant le glissement entre les deux matériaux ainsi que leur écartement.

L'association de la dalle en béton et du profilé en acier dans les poutres mixtes présente plusieurs avantages. La dalle en béton, outre son rôle de surface porteuse, permet la reprise des efforts de compression ainsi qu'une protection complémentaire de l'acier contre la corrosion et l'incendie. La collaboration de la dalle peut aussi se traduire par une réduction de poids de la structure métallique, une assurance du contreventement au niveau supérieur vis à vis des efforts de vent et une amélioration de la stabilité au déversement des poutres continues en double T en zone de moments négatifs. A son tour, le profilé métallique remplace les armatures et conserve leur rôle en travaillant essentiellement en traction.

D'un point de vue structural, le principe de fonctionnement d'une structure mixte constituée d'une poutre métallique connectée à une dalle en béton armé est le suivant :

- la dalle, soumise directement aux charges, les transmet aux poutres par flexion locale,
- les poutres, soumises aux réactions d'appui de la dalle reportent ces forces sur leurs propres appuis par flexion générale. Le béton lié à l'acier participe à cette flexion générale.

Autrefois, en construction mixte, la dalle en béton armé avait essentiellement pour rôle celui de transmettre les charges, en les répartissant, à l'ossature d'un bâtiment ou aux poutres maîtresses d'un ouvrage. Les fonctions de chacun des éléments (dalle, poutre) étaient ainsi bien séparées, n'impliquant pas la nécessité d'une liaison effective de ceux-ci. L'évolution normale a été de prendre en compte la résistance du béton comprimé de la dalle de couverture afin de

INTRODUCTION GÉNÉRALE

diminuer les sections d'acier et donc le prix de la construction. Cette conception, aujourd'hui adoptée par la plupart des constructeurs nécessite l'utilisation d'un système de connexion capable de reprendre les différentes sollicitations à l'interface des deux matériaux. Cette liaison entre la dalle en béton et le profilé métallique est classiquement assurée par des connecteurs fixés sur le profilé métallique par différentes méthodes comme le soudage, le clouage,...

Dans ce mémoire, nous allons présenter une synthèse bibliographique sur la connexion acier-béton dans les poutres mixtes.

Problématique et objectif :

A partir des études expérimentales et des diagnostics sur les poutres mixtes de bâtiment et des ponts mixtes, nous avons remarqué que la plupart des ruptures observées se trouvent au niveau des connecteurs ils sont sollicités par des efforts de cisaillement et d'arrachement.

A cet effet, nous allons étudier le comportement d'un connecteur traditionnel en T sous l'action d'un effort de cisaillement à travers l'essai standard de cisaillement « Push-out » test.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail de fin d'étude.

Pour mieux présenter notre travail, nous avons suivi les étapes suivantes :

Nous présentons dans le **chapitre I**, Connexion (acier-béton) dans les poutres mixtes est une présentation générale de la construction mixte qui permet de spécifier le type de structure ainsi que les phénomènes (telle l'interaction acier béton) qui sont étudiés dans le cadre de cette thèse.

Au **chapitre II**, est consacré à l'étude expérimentale du phénomène de la connexion.

Il comprend la présentation des différents spécimens testés. push-out de grandeur réelle ont été préparés et testés sous chargement statique.

Dans le **chapitre III**, est consacré à la validation numérique par logiciel ANSYS V12 des résultats d'essais. Nous présentons les résultats de façon à orienter l'utilisateur de ces connecteurs vers le meilleur choix.

Enfin, nous terminerons notre mémoire par une **conclusion générale**.

An orange scroll banner with a gradient from light orange to a darker shade at the bottom. It has a vertical strip on the left side and rounded corners. The text is centered on the banner.

**CHAPITRE I : CONNEXION (ACIER-BETON)
DANS LES POUTRES MIXTES.**

Chapitre I : Connexion (acier-béton) dans les poutres mixtes.

Introduction:

Les sections mixtes sont composées de deux matériaux liés entre eux pour constituer un élément et résistant ensemble aux efforts les sollicitant. Un comportement monolithique est assuré par une connexion adéquate qui empêche le glissement relatif entre l'acier et le béton. Parmi les éléments les plus couramment utilisés, on distingue :

- Les poteaux mixtes.
- Les dalles mixtes.
- Les poutres mixtes.

I-1- Éléments de structures mixtes acier-béton:

I -1-1-Poteaux mixtes acier-béton:

Ce sont les éléments qui reprennent les charges verticales, ils sont composés essentiellement d'un profilé métallique enrobé totalement ou partiellement de béton, ou d'un tube en acier rempli de béton (Figure 1-1). La liaison acier-béton est assurée soit par le frottement dû au confinement du Béton par le tube, soit par des connecteurs mécaniques.

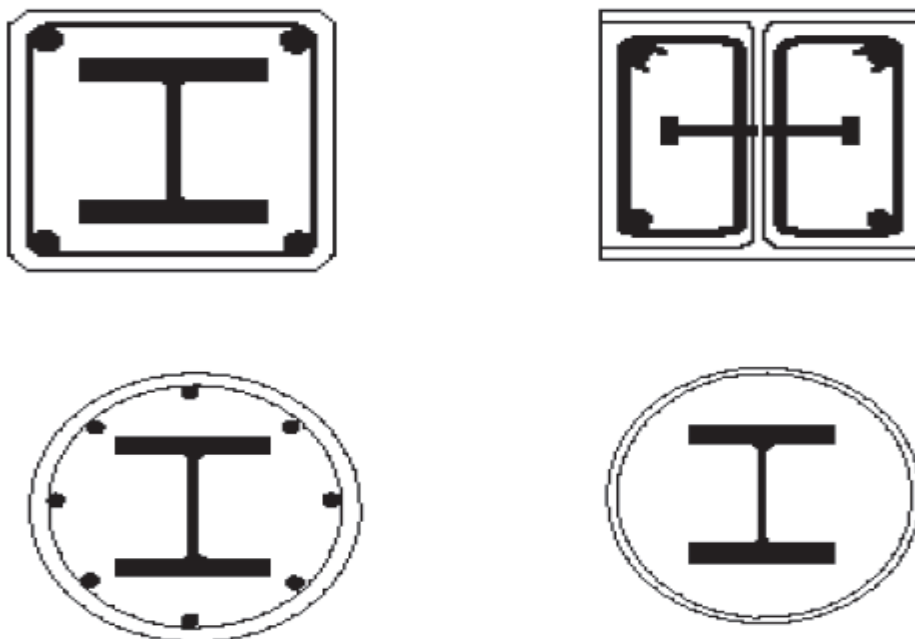


Figure 1-1 : Exemples de sections transversales des poteaux mixtes. [2]

I-1-2- Dalles mixtes acier-béton:

Les ossatures de planchers mixtes sont constituées des solives supportant plus souvent des tôles profilées de forme généralement trapézoïdale, recouverte d'une dalle en béton, la liaison acier-béton est assurée soit par les nervures et les bossages soit par les connecteurs dans le cas des planchers collaborant (Figure 1-2).

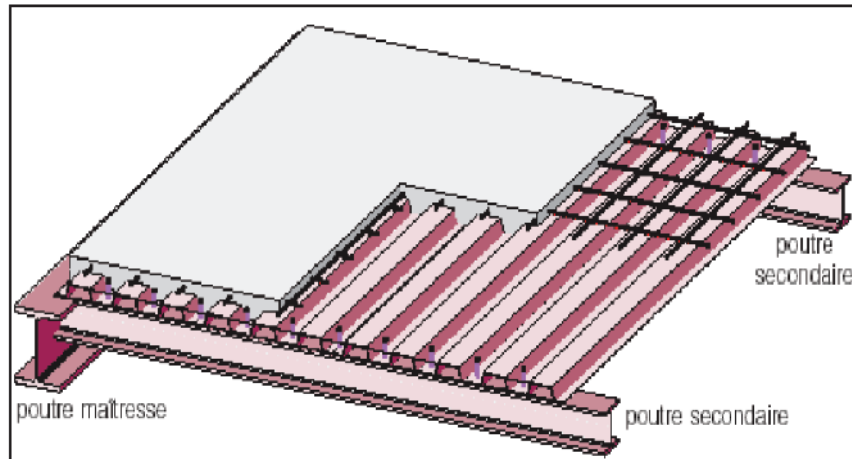


Figure 1-2 : Dalle mixte acier-béton. [7]

I-1-3- Poutres mixtes acier-béton:

Les poutres mixtes acier-béton sont des éléments porteurs fléchis composés d'une poutre métallique et d'une dalle de béton; elles peuvent être :

- 1-Des profilés métalliques plus des dalles coulées sur le coffrage.
- 2-Des profilés métalliques plus des dalles partiellement préfabriquées.
- 3-Des profilés métalliques plus des dalles complètement préfabriquées.

Il s'agit en général d'un profilé en acier connecté à une dalle de béton.

Cette dalle peut être coulée sur un coffrage non permanent (cas A) ou sur un coffrage permanent, comme par exemple une tôle profilée en acier (cas B), ou une série de pré-dalles. (Cas c).

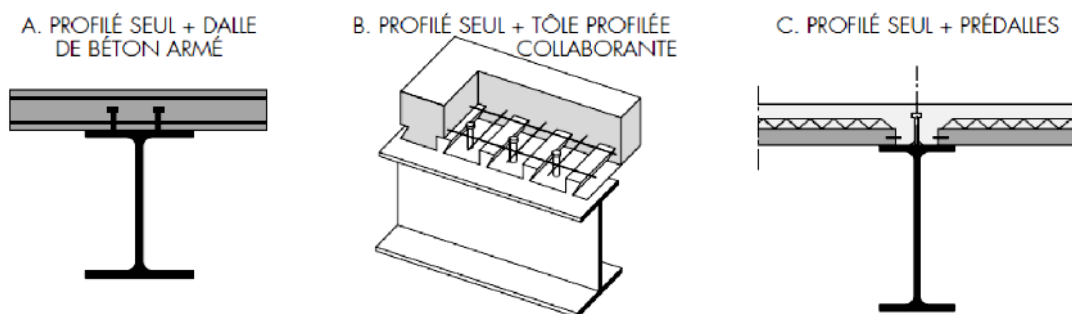


Figure 1-3 : différentes formes de poutre mixte. [25]

La solidarisation acier-béton est assurée par :

- l'assemblage classique ou mécanique par connecteurs (goujons, équerres, ...).
- l'assemblage innovant par des joints adhésifs (colle époxy, polyuréthane, ...).

Il faut noter que le type de profilé métallique peut varier suivant le type d'application (figure1-4)



Figure 1-4 : exemples de type de profilé métallique

Dans le cas d'un enrobage partiel du profilé en acier celui-ci procure une augmentation de la Résistance au feu et au flambement.

Des connecteurs placés à l'interface entre le profilé et la dalle de béton (ou parfois soudés sur la tôle profilée, comme dans le cas à la (figure 1-5) assurent une reprise des efforts de cisaillement Longitudinaux, appelés « effort rasant » dans le reste du mémoire ; ce qui permet d'obtenir une section mixte dont les différentes composantes travaillent ensemble en flexion.

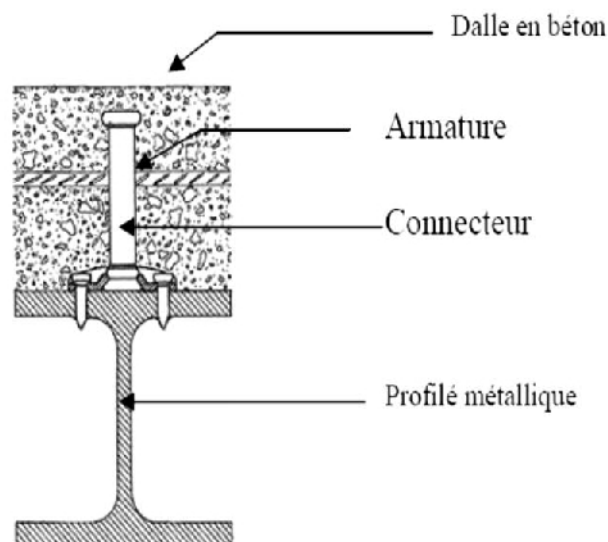


Figure 1-5 : connexion entre la dalle en béton et le profilé. [26]

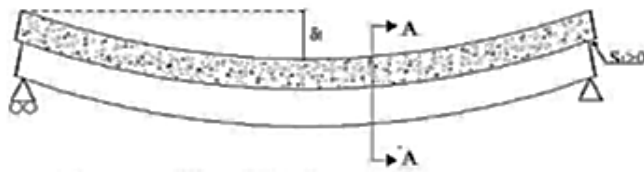
I-2- Comportement d'une poutre mixte :

Il est connu que le béton a une bonne résistance à la compression mais une faible résistance à la traction, et l'acier se comporte aussi bien à la compression comme à la traction. L'élanement souvent élevé des éléments métalliques les rend sensibles à des phénomènes d'instabilité locaux dans les zones comprimées

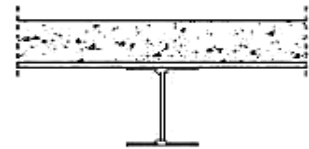
(Flambement, déversement et voilement).

La flexion d'une poutre composée d'un profilé métallique et d'une dalle en béton sans aucune liaison entre les deux ne procure pas une action mixte, car chaque élément fléchit d'une façon indépendante d'où un glissement entre les deux matériaux.

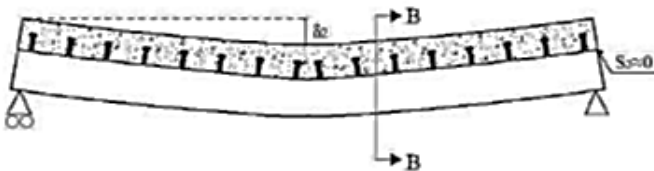
Dans le cas d'une connexion plus ou moins totale entre les deux matériaux permet une amélioration de la résistance et de la rigidité. Ceci dépend souvent du rapport entre les dimensions du profilé et l'épaisseur de la dalle.



a) Poutre sans liaison à l'interface acier-béton.



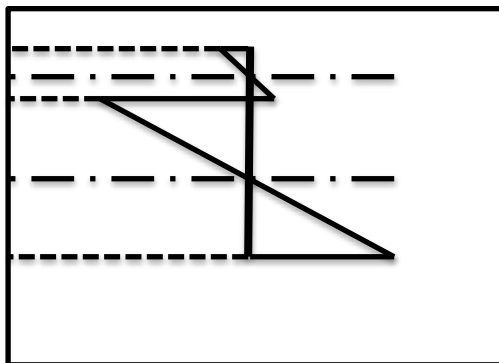
Coupe A-A



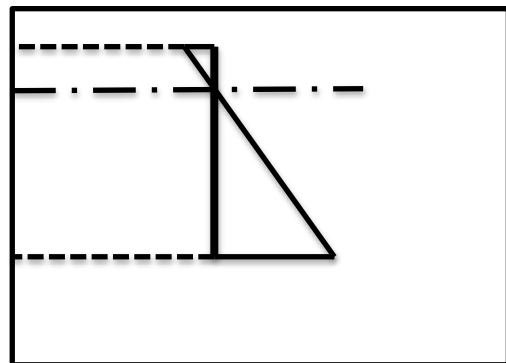
b) Poutre avec liaison mécanique à l'interface acier-béton.



Coupe B-B



(a) Sans liaison



(b) Avec liaison

Figure 1-6 : Principe de fonctionnement de poutre mixte fléchi.

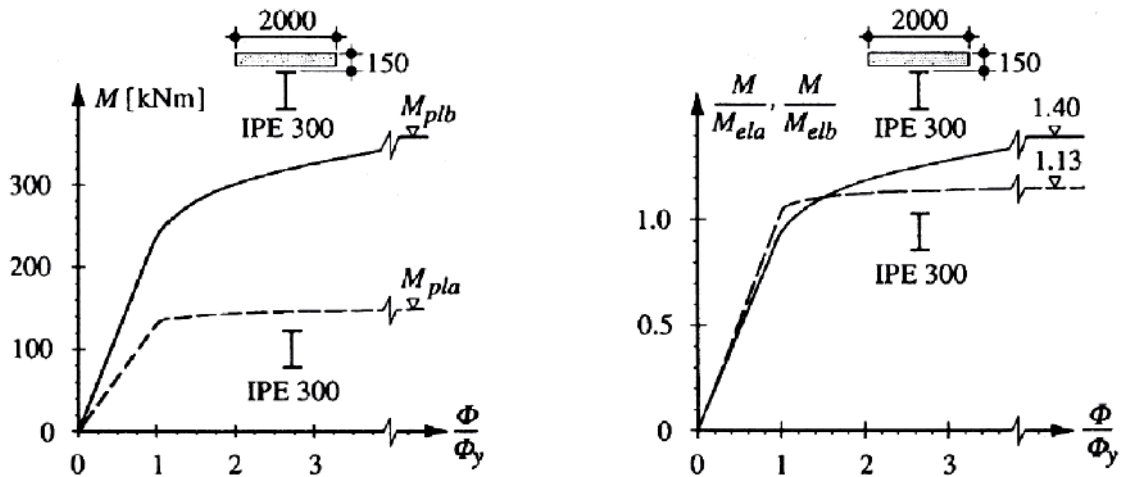


Figure 1-7 : Comparaison entre section mixte et non mixte [26].

Les courbes de la figure 1-7 montrent que la présence de la connexion augmente à la fois la rigidité et la résistance d'une section mixte en travée par rapport à celle de la section du profilé seule. Et en pratique, mène à la réduction des dimensions de la poutre mixte, et souvent à la réduction de son coût.

Sur la base de ces conditions, les constructions mixtes viennent pour compléter les défauts de chaque matériau à condition de les lier ensemble de façon à ce que les deux composants résistent comme un seul élément.

I-3- les matériaux utilisés dans la construction mixtes :

La réalisation des éléments structuraux mixtes, nécessite généralement quatre matériaux de base:

- l'acier de construction,
- l'acier d'armature,
- les tôles profilées en Acier,
- le béton. [22]

I-4- Largeur participante de dalle

- Dans un plancher mixte, le transfert de l'effort de cisaillement des connecteurs à la dalle ne mobilise pleinement celle-ci que si l'espacement $2b_i$ entre les poutres métalliques n'est pas trop grand (effet de traînage de cisaillement ou « shear lag »). De manière pratique, on utilise le concept de **largeur participante** b_{eff} de dalle qui permet de supposer une distribution uniforme des contraintes normales sur cette largeur.

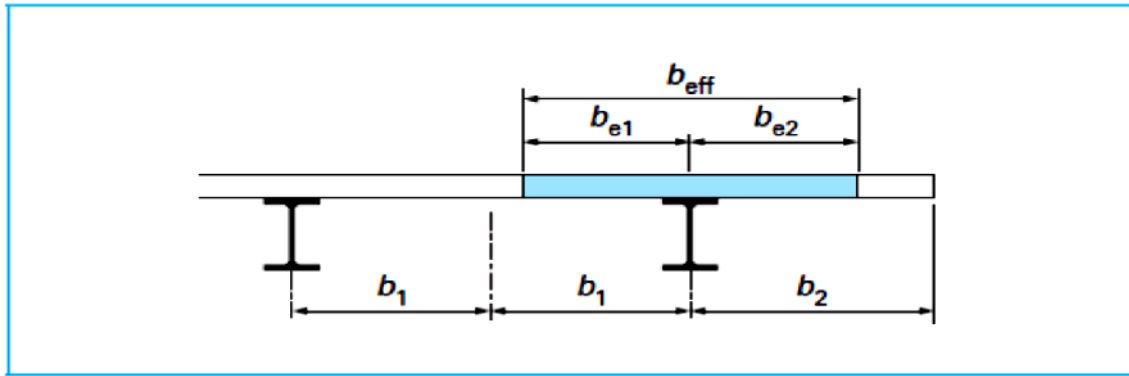


Figure 1-8 : Largeur participante de dalle pour une poutre de plancher

- Cette largeur dépend, de manière complexe, de nombreux facteurs : type de chargement, type de comportement (élastique ou plastique), nature des liaisons de la poutre, mode de fabrication, etc. Aussi l'Eurocode 4 propose-t-il des formules simples de b_{eff} qui placent assez largement en sécurité. Pour les structures de bâtiment (cf. 5.4.1.2(5) à (9)), on peut adopter :avec

$$b_{eff} = b_{e1} + b_{e2} \quad (1.1)$$

$$b_{ei} = \min \left(\frac{L_0}{8}, b_i \right) \quad (1.2)$$

Où L_0 est fonction de la portée de la poutre. Pour une poutre isostatique sur deux appuis simples, L_0 est égale à la portée L de la poutre. Dans le cas d'une poutre continue, L_0 doit être pris différemment dans les zones de moments de flexions positives et celles de moments de flexion négatifs (où seule l'armature tendue est concernée), conformément au schéma suivant :

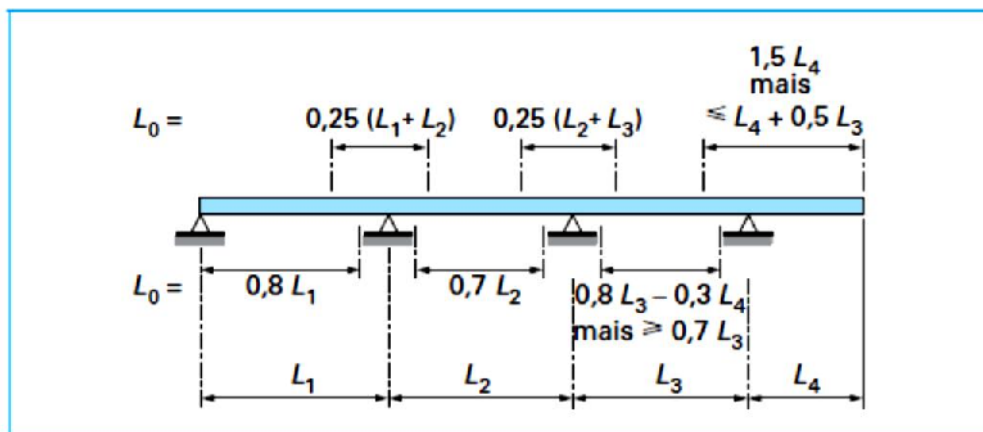


Figure 1-9 : Valeurs de L_0 pour une poutre mixte continue

- Dans l'Eurocode 4, les deux types de largeur participante (selon le signe du moment) sont utiles non seulement au calcul de la résistance des sections mais aussi à la détermination de leurs propriétés élastiques, entre autres leurs rigidités de flexion.

I-5- Classification des sections :

Ce paramètre permet de calculer la résistance des sections transversales en fonction de leur capacité à atteindre pleinement la plastification sur toute la hauteur de la section (rotule plastique). Selon la capacité de rotation de la section et le voilement local éventuel, on définit la classe à laquelle appartient la section (classe 1 à 4) ces classes de sections ont été définies dans l'Eurocode 4 de la façon suivante:

- Classe 1: Sections transversales pouvant former une rotule plastique avec la capacité de rotation requise pour un calcul plastique des efforts intérieurs.
- Classe 2: Sections transversales pouvant développer leur moment plastique, mais avec une capacité de rotation limitée.
- Classe 3: Sections transversales dont la contrainte calculée dans la fibre comprimée extrême de l'élément en acier peut atteindre la limite d'élasticité, mais dont le voilement local est susceptible d'empêcher le développement du moment plastique.
- Classe 4: Sections transversales dont la résistance à la flexion ou à la compression est déterminée obligatoirement en tenant compte explicitement des effets du voilement local.

Les deux premières classes (1 et 2) permettent de prendre en compte une redistribution complète des contraintes (plastification complète).

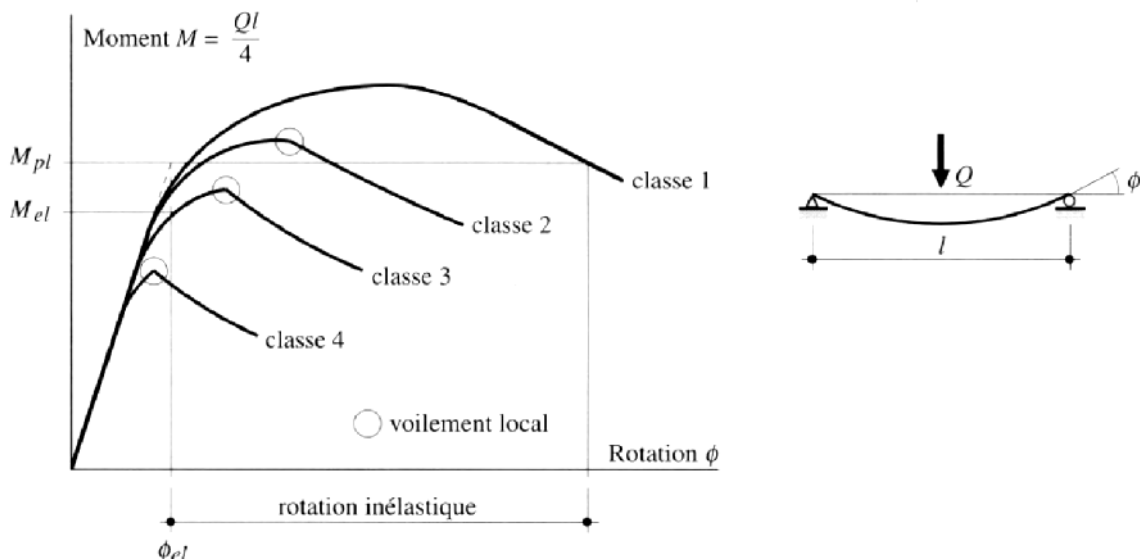


Figure 1-10 : Comportement et classes des sections mixtes. [19]

I-6- dimensionnement des poutres mixtes :

La base de calcul et du dimensionnement des poutres mixtes est basée essentiellement les états limites ultimes et les états limites de service. Pour cela, on doit procéder aux vérifications suivantes :

- La résistance des sections transversales critiques soumises aux actions du moment fléchissant et de l'effort tranchant.
- La résistance au déversement (pour la semelle comprimée qui peut se situer en zone de moment négatif).
- La résistance de l'âme au voilement par cisaillement et la résistance au cisaillement longitudinal.
- La fissuration, déformation excessive et vibrations.

Toutes ces vérifications sont précisées dans le règlement Algérien de construction mixte et dans le règlement Européen l'Eurocode 4 Il est stipulé dans ces codes de calcul que les efforts intérieurs sont déterminés par un calcul élastique ou par un calcul plastique selon la distribution des contraintes dans la section mixte (Figure 1-11).

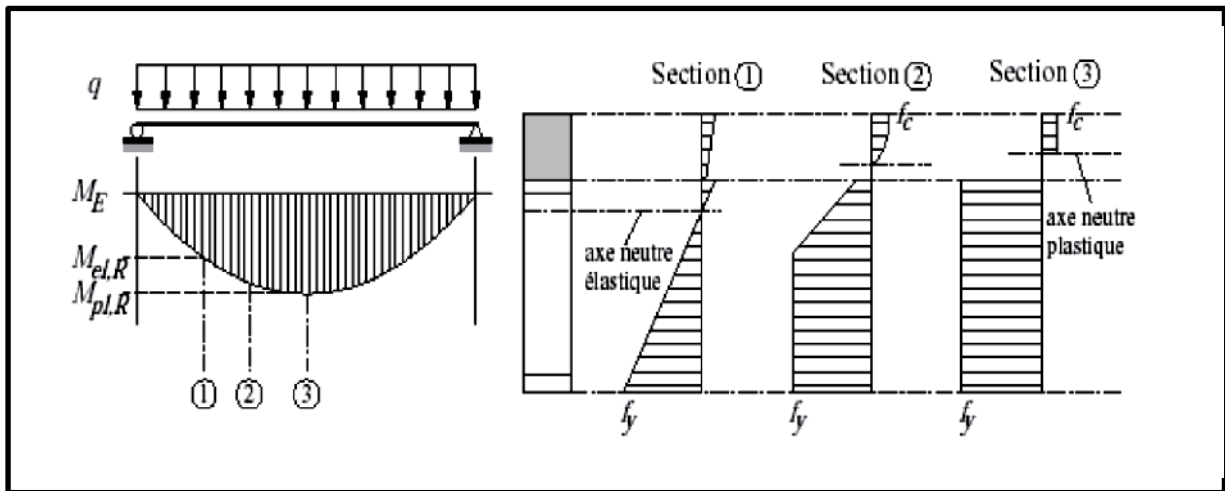


Figure 1-11 : Distribution des contraintes dans une section mixte. [26]

a -Etat Limite Ultime

Les vérifications à l'état limite ultime des poutres mixtes doivent être effectuées quant aux points suivants:

- la résistance des sections transversales critiques au moment de flexion et au cisaillement vertical.
- la résistance au cisaillement longitudinal.
- la résistance de l'âme au voilement par cisaillement et à la compression locale sous charges transversales.
- la résistance au déversement.

La classification des sections et la notion de largeur participante sont deux concepts importants qui servent de base au dimensionnement des poutres mixtes à l'état limite ultime.

La classification des sections permet de calculer la résistance des sections transversales en fonction de leur capacité à atteindre pleinement la plastification sur toute la hauteur de la section ce concept représente l'élancement de cette dernière. Quant à la largeur participante, elle permet la prise en compte de l'effet de traînage du cisaillement. [10]

Les classes 1 et 2 permettent de prendre en compte une distribution rectangulaire des contraintes, qui dépendent également du signe du moment de flexion agissant au droit de la section. La classe adoptée correspond à la plus faible parmi celles déterminées pour chacun des éléments.

Les limites fixées aux minceurs de la semelle comprimée et de l'âme d'une poutre métallique sont identiques à celles du CCM 97 et de l'Eurocode 3. Pour une poutre mixte simplement appuyée, il peut s'agir de la semelle supérieure ou de l'âme de la section métallique. La dalle de béton prévient le voilement de la semelle comprimée grâce aux liaisons des connecteurs de cisaillement. Le voilement de la semelle peut donc être considéré comme impossible et la semelle est considérée de classe 1 lorsque l'axe neutre de la section mixte est situé dans la dalle ou dans la semelle adjacente, cette dernière étant considérée de classe 1, de même pour la section mixte puisque l'âme est totalement tendue. Dans le cas où l'axe neutre plastique est dans l'âme, son élancement doit être vérifié suivant la même procédure du CCM 97 et de l'EC3, afin de déterminer la classe de l'âme et ensuite de la section. [4, 11]

b -Etat Limite de Service :

Dans les constructions mixtes acier-béton, la plupart des dégâts constatés résultent des charges permanentes et des effets différés, dus au béton que ces charges provoquent (évolution des déformations dans le temps). Il est donc nécessaire de calculer les flèches dues aux différentes charges et de fixer des limites supérieures de déformations. De plus, il est nécessaire, surtout pour les constructions non étayées, de fixer des limites de déformations au stade du

bétonnage de la dalle, afin d'éviter des flèches permanentes néfastes et des sur plus de béton non désirés.

La vérification des flèches des poutres mixtes doit prendre en compte le fluage et le retrait du béton. Les valeurs admissibles de flèches adoptées par l'Euro code 4 sont identiques à celles données par l'Eurocode 3 pour les bâtiments en acier. Ces valeurs admissibles sont généralement satisfaites si les valeurs du rapport de la hauteur totale de la section mixte des poutres à leur portée se situent dans les intervalles suivants :

* pour des poutres simplement appuyées : 15 à 18 pour les poutres maîtresses, 18 à 20 pour les poutres secondaires,

* pour les poutres continues : 18 à 22 pour les poutres maîtresses, 22 à 25 pour les poutres secondaires. [9]

I-7- Généralités sur les connecteurs :

La fonction des connecteurs, répartis le long de l'interface acier- béton d'une poutre mixte et généralement associés à des armatures transversales, est de transmettre en sécurité les efforts de cisaillement longitudinal entre le profilé métallique et la dalle, dans cette fonction, il convient de négliger toute contribution éventuelle qui viendrait de l'adhérence (comprise au sens physico-chimique) dans la mesure où elle ne peut être quantifiée aisément ni être fiable.

En bâtiment, la vérification des connexions s'effectue exclusivement aux états limites ultimes (ELU), sauf dans le cas très particulier d'une connexion par boulons HR à serrage contrôlé où une vérification aux états limites de service (ELS) peut s'avérer utile pour limiter le risque de glissement. En outre, on se dispense d'effectuer une vérification au soulèvement de la dalle lorsque les connecteurs ne sont pas soumis à une traction directe et qu'ils présentent une résistance en traction (la traction étant exercée perpendiculairement à l'interface acier-béton) au moins égale à 10 % de leur résistance en cisaillement. Par exemple, les goujons soudés à tête satisfont pleinement à cette condition, mais d'autres connecteurs (butées, cornières) doivent être équipés d'un dispositif s'opposant au soulèvement. Les codes de construction mixte, et l'Eurocode 4 en particulier, opèrent une distinction assez catégorique entre connecteurs « ductiles » et connecteurs « non ductiles ». [4]

I-8- Définition et rôle des connecteurs :

Les connecteurs sont des organes métalliques de liaison placés sur la semelle supérieure de la poutre métallique et la dalle en béton pour solidariser les deux matériaux afin d'empêcher le (glissement longitudinal ou soulèvement de la dalle) qui leur sont appliqués grâce à une technique rapide et simple comme le soudage, le vissage, le clouage,...

Le rôle de ces connecteurs est primordial, sans eux il n'y a pas de collaboration entre la section en acier et la dalle de béton. Ils permettent d'empêcher ou au moins de limiter le glissement pouvant se produire le long de l'interface acier-béton. En assurant ainsi une reprise des efforts de cisaillement longitudinaux, cela permet d'obtenir une section mixte dont les deux composantes travaillent ensemble [17].

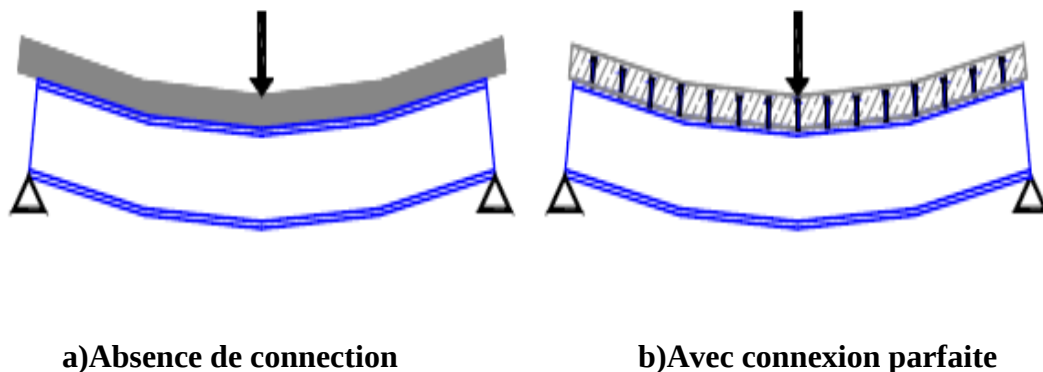


Figure 1-12 : L'impact de la connexion dans les poutres mixtes [27].

I-9- Evolution des systèmes de connexion :

Les premiers connecteurs utilisés sont des connecteurs composés d'un hélicoïde d'axe longitudinal soudé à son contact avec la membrure supérieure du profilé métallique. Ils ont été étudiés par Voellmy (1933 Institut Fédéral pour l'essai des matériaux, Suisse) (figure 1-13).



Figure 1-13 : Connecteur, en forme d'hélice, soudé au profilé en acier.

Ensuite, entre 1940 et 1950 [Trouillet, 1987] [31], des laboratoires européens et américains ont essayé d'obtenir des connecteurs plus performants tels que :

- des barres d'acier à béton armé en forme de crochet (figure 1-14),
- des butées réalisées à partir de profilés divers : carrés, T, U (figure 1-15),

- des systèmes combinés, butées arceaux, réalisés à partir des deux types précédents (fig. 1.16).

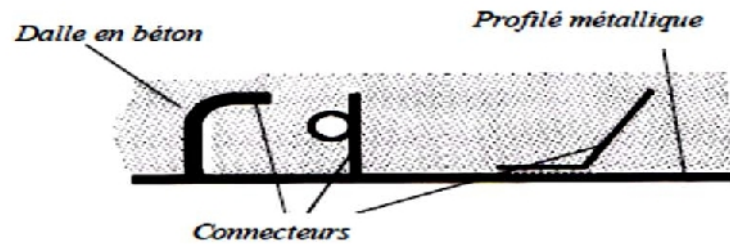


Figure 1-14 : Connecteurs, en forme de crochet, soudés sur la semelle supérieure du profilé métallique.

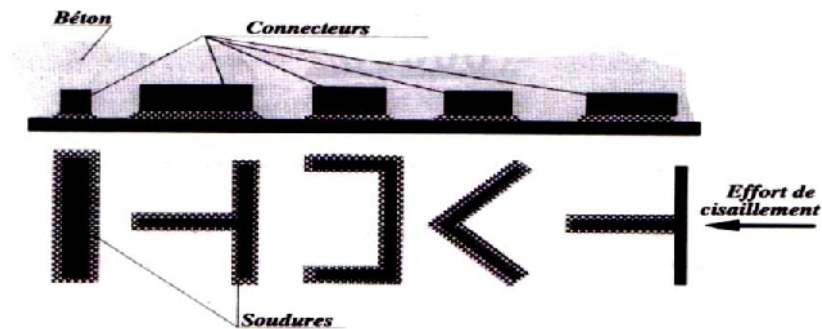


Figure 1-15 : Butées réalisées à partir de profils divers.

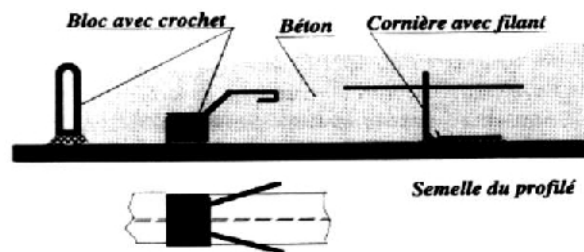


Figure 1-16 : Connecteurs composés d'une butée à la base et renforcés par une barre d'acier pour résister au soulèvement.

La première utilisation des goujons est due à Viest, Siess et Newmark [Newmark, 1951] [31].

Au départ, ils étaient soudés manuellement jusqu'à l'apparition du système industriel proposé et commercialisé par Nelson Stud Welding (figure 1-17).

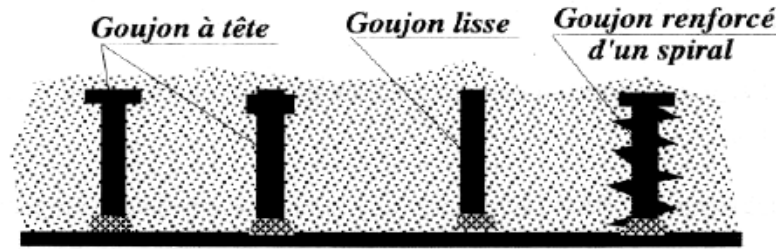


Figure 1-17 : Différents types de goudrons soudés sur la semelle supérieure du profilé métallique.

Depuis 1980 [Trouillet, 1987] [31], plusieurs connecteurs ont été développés dans différents pays:

- au Liechtenstein, la société HILTI étudie et vend un connecteur en cornière destiné au bâtiment et mis en place par cloutage,
- au Japon, l'Université de Kobé et un lamineur (Sumito métal Industries) étudient un profilé à membrure embossé,
- en Italie, l'Université de Trieste étudie la découpe et le pliage de l'âme du profilé pour réaliser la connexion,
- aux USA, sont étudiés des groupes de goudrons mis en place au travers du bac d'acier, dans les bâtiments, et en vue de réaliser des poutres à âme discontinue permettant la réduction des hauteurs de plancher par intégration des tuyauteries dans l'âme,
- en URSS, apparaissent sur de nouveaux ponts des groupes de connecteurs réalisés à partir d'arceaux et constituant des éléments de forte puissance,
- en Allemagne est étudiée la connexion par boulons à haute résistance.
- en France, outre l'étude sur la compréhension du fonctionnement des connecteurs et plus particulièrement le connecteur en cornière, des études particulières ont été réalisées sur les butées arceaux dans le cas d'un pont prototype et d'autres sur les goudrons auto visseurs [Aribert, 1988] pour une utilisation dans les bâtiments. [17]

I-10-1- Type de connecteurs :

. Les connecteurs peuvent être: en goujon, en barres rondes, en équerres, en coupons de profils divers soudés sur la semelle supérieure de la poutre métallique (figure 1-18).

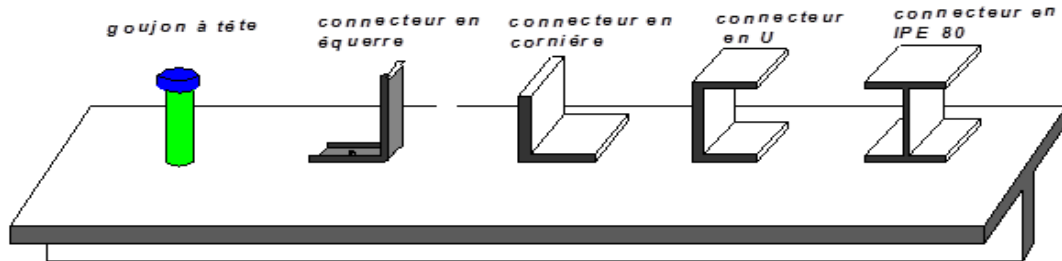


Figure 1-18 : Différents types de connecteurs. [3]

I-10-2- degré de connexion

-C'est la connexion entre le béton et les composantes métalliques d'un élément mixte qui présente suffisamment de résistance et de rigidité pour permettre de calculer ces parties comme un élément structural unique.

- Le glissement est défini comme le déplacement relatif entre les deux matériaux assemblés dans la couche d'interface. Ce type de déplacement ou de soulèvement entre l'acier et le béton doit être empêché par des éléments (connecteurs) capables de transférer les efforts de cisaillement ou de traction.

-La connexion est définie par un coefficient appelé le degré de connexion (η) qui détermine le rapport entre la capacité portante de la connexion au cisaillement et celle de la section mixte.

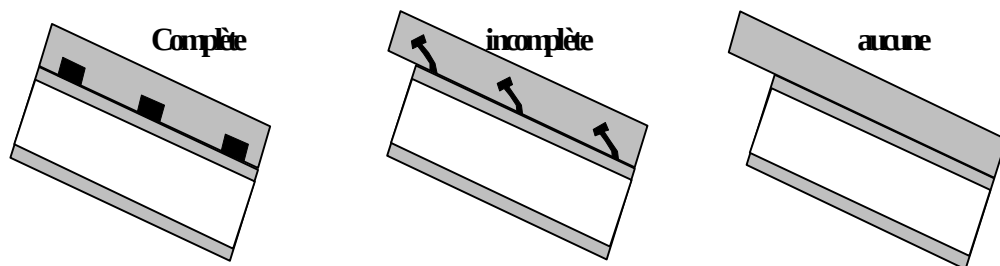


Figure 1-19 : types de connexion.

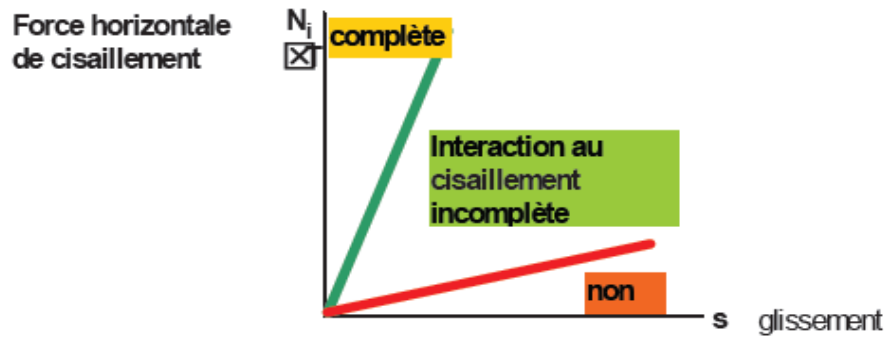


Figure 1-20: degré de connexion au cisaillement.

$\eta = 0 \rightarrow$ les deux sections agissent de manière complètement séparée.

$0 \leq \eta \leq 100 \% \rightarrow$ connexion partielle, c'est l'optimum d'utilisation des matériaux et de coût.

$\eta \geq 100 \% \rightarrow$ connexion complète.

- L'EUROCODE 4 autorise la connexion partielle que si les connecteurs de cisaillement sont ductiles, chargement statique, moments positifs et portée limitée.

- Un glissement nul ne peut être obtenu que par un degré de connexion très élevé qui dépend des connecteurs eux-mêmes (solution non économique) [26].

Selon le type de connecteurs et leur nombre, on distingue deux types de connexion :

la connexion partielle et la connexion totale.

La connexion partielle : (partial shear connection) lorsque le nombre de connecteurs dans une zone de cisaillement est inférieur au nombre requis pour l'obtention d'une connexion complète. Dans ce cas, il existe un glissement à l'interface acier-béton. La ruine de la poutre mixte avec une connexion partielle sera atteinte par l'épuisement de sa résistance à la flexion.

Dans le cas de **la connexion totale**, on suppose l'absence de glissement relatif à l'interface acier béton. En général, on fait cette hypothèse pour simplifier les calculs, puisque cette hypothèse est équivalente à la conservation des sections planes. Cette hypothèse se justifie par le fait qu'une connexion complète donne lieu à un glissement qui reste faible. Dans le cas des goujons, la connexion complète n'existe pas, on est toujours en connexion partielle puisque c'est précisément le glissement à l'interface acier béton qui permet la sollicitation des goujons. Les goujons, en résistant au glissement, assurent la transmission des efforts tangentiels entre la section d'acier et la dalle de béton et par conséquent, assurent le caractère mixte de la section [Newmark, 1951] [8]. En pratique, la connexion partielle devrait être prise en compte dans les études élastiques des poutres, par exemple aux états limites de service, plus particulièrement pour le calcul de la flèche ou pour les problèmes de vibration. Cependant, en ce qui concerne les déformations, l'expérience a montré que lorsqu'il y a connexion totale l'augmentation de la

flèche due au glissement est négligeable quand on la compare à l'augmentation de la flèche due aux déformations dépendantes du temps, tel que le fluage [Oehlers, 1995]. En pratique, l'augmentation due au glissement est très rarement prise en compte, à cause de son importance mineure et de la complexité des méthodes qui permettent de la calculer.

I-10-3- Degré d'interaction:

a) interaction totale

Les poutres mixtes pour les bâtiments simplement pris en charge en utilisant des matériaux d'acier et béton son meilleur. La compression du béton et de l'acier à la traction. En outre, le béton augmente la capacité du profilé en acier de la table comprimé comme le flambage local. Pour ces raisons, les poutres composites sont simplement appuyés éléments mixtes de grande application pratique. Trois cas peuvent se produire, en fonction de la géométrie de la section et de la résistance matériaux: la ligne neutre en chape de béton, ligne neutre sur la table en profilé d'acier et la ligne neutre dans l'âme du profilé en acier figure1-21.

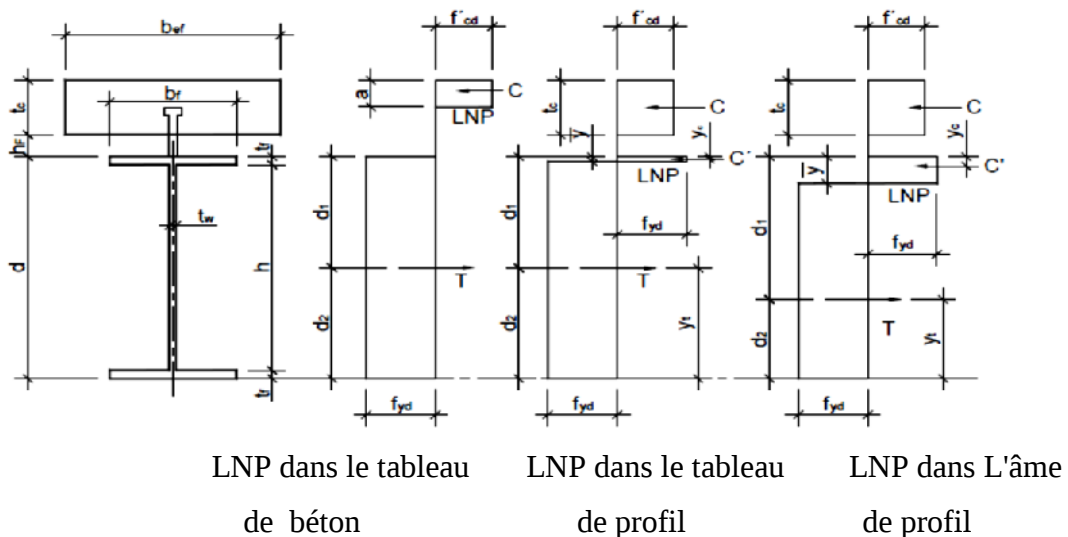


Figure 1-21 : Distribution des déformations plastiques dans la section transversale de la poutre composite.

b - interaction partielles

L'interaction entre la dalle de béton et le profilé en acier est considérée comme partielle lorsque la résistance des connecteurs est plus petite que la résistance de la dalle de béton et de profil en acier.

De cette façon, l'effondrement se produit par la rupture de la connexion au lieu de disposer d'acier ou l'écrasement du béton, que l'interaction totale. Ainsi, le coulisant à l'interface des deux matériaux est autorisé, puis à former deux rangées plastiques neutres, une dans la dalle de béton et le profilé en acier dans un autre.

L'interaction partielle peut être envisagée que dans les régions du moment positif. En régions négatifs lorsque le nombre de connecteurs doivent être telles que le ruissellement dalle d'armure. La répartition des déformations plastiques est illustrée à la figure 1-22.

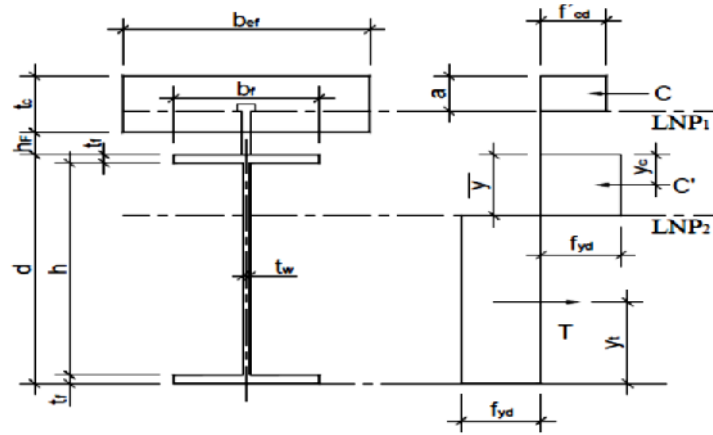


Figure 1-22 : Distribution des déformations plastiques avec interaction partielle. [21]

I-11-Comportement des connecteurs

Dans une poutre mixte, la dalle en béton est soumise au moment fléchissant M , à l'effort tranchant V et à l'effort normal F . Sur le connecteur, l'effort tranchant V et l'effort normal F s'intervertissent. L'effort normal appliqué sur le connecteur est V , et F l'effort tranchant (figure 1-23)

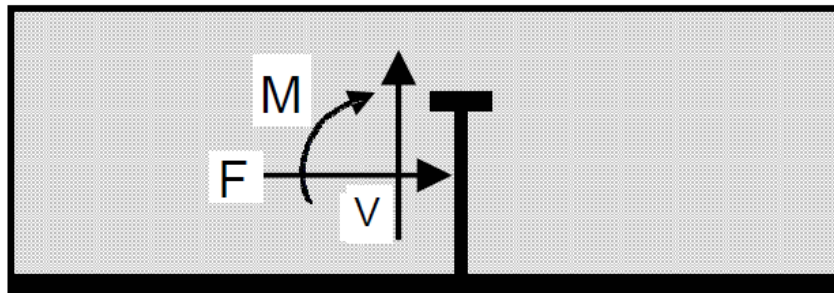


Figure 1-23 : Différents efforts appliqués au connecteur dans une poutre mixte chargée.

Par suite, le connecteur risque d'être cisailé ou endommagé par déformations successives.

De nombreux essais ont été mis au point pour caractériser le comportement au cisaillement des connecteurs. [17]

I-12-Calcul des efforts intérieurs :

Les efforts intérieurs prédominants pour les poutres mixtes de bâtiment sont les moments de flexion et les efforts tranchants qui leur sont associés. La détermination de ces efforts peut être effectuée par un calcul élastique ou par un calcul plastique. [27]

a -Calcul élastique de la connexion :

La détermination du nombre et de l'espacement des connecteurs peut relever d'une méthode de calcul élastique ou, sous certaines conditions, d'une méthode de calcul plastique. La méthode élastique, présentée ici, a l'avantage d'être générale si elle s'applique obligatoirement dans le cas de poutres mixtes avec des sections de classe 3, elle peut s'appliquer également au cas des poutres de sections de classes 1 ou 2.

Le principe de la méthode s'applique indifféremment d'ailleurs aux poutres isostatiques et aux poutres continues. Cette méthode peut être utilisée avec tous les types de connecteurs, qu'ils soient ductiles ou non ductiles elle est toutefois vivement recommandée dans le cas de connecteurs non ductiles dans la mesure où elle permet de réaliser une adéquation parfaite entre la distribution des connecteurs et la distribution du flux de cisaillement à l'interface acier-béton, et de limiter en conséquence les glissements le long de l'interface qui pourraient entraîner la rupture de connecteurs fragiles.

La méthode consiste tout d'abord à déterminer l'effort de cisaillement longitudinal par unité de longueur le long de l'interface acier- béton, soit $V_{Ed}(x)$ où x représente l'abscisse des sections suivant l'axe longitudinal de la poutre. La théorie élastique des poutres, considérée ici avec des sections homogénéisées, permet le calcul de cet effort à l'aide de l'expression :

$$V_{Ed} = \frac{V * S_c}{I_m * n} \quad (1.3)$$

Avec :

V_{Ed} : effort tranchant de calcul,

I_m : Moment d'inertie en flexion de la section mixte homogénéisée.

n : Coefficient d'équivalence ($n = \frac{E_a}{E_c}$).

S_c : Moment statique, par rapport à l'axe neutre élastique, des aires de la section de dalle capables de reprendre des contraintes normales.

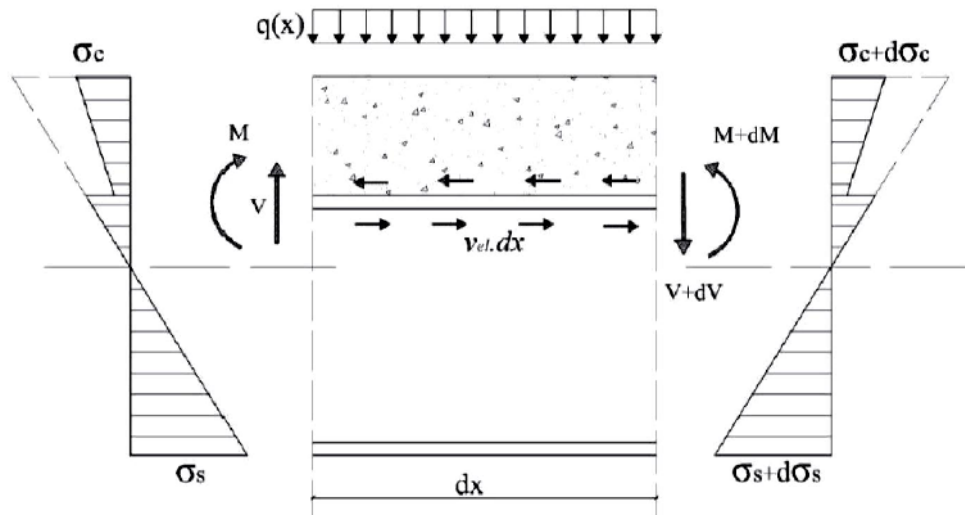


Figure 1-24 : Modèle de calcul élastique de l'effort rasant. [28]

I-13-1- Nombre de connecteurs :

Le nombre de connecteurs à disposer sur une poutre est déterminé en comparant l'effort rasant à reprendre avec la résistance d'un goujon. En calcul élastique (méthode EE), le nombre de connecteurs par unité de longueur varie proportionnellement au diagramme des efforts rasants V_{eL} tirés des efforts tranchants V , Le nombre N_{el} (par unité de longueur) est donné par:

$$N_{el} = \frac{V_{d,el}}{V_{RD,el}/\gamma_{Rb}} \dots \dots \dots (1.4)$$

$V_{d,el}$: Valeur de dimensionnement de l'effort rasant élastique.

$V_{RD,el}$: Résistance ultime élastique d'un connecteur.

γ_{Rb} : Facteur de résistance relative aux structures mixtes ($\gamma_{Rb} = 1.1$). [19]

I-13-2-Espacement des connecteurs (e) :

Pour des raisons pratiques de construction, on choisit des connecteurs identiques sur toute la longueur de la poutre.

- On fait donc varier leur écartement (e) de façon à s'adopter à la variation de l'effort rasant qui suit la variation de l'effort tranchant. [20]
- Le pas (e) entre deux connecteurs est donné par la relation

$$e = \frac{P \cdot N}{V_{ed}} \dots \dots \dots (1.5)$$

I-14-Résistance des connecteurs et calcul de la connexion :

I-14-1-Résistance des goujons à tête soudés :

On se contente ci-après de donner des formules de résistance en cisaillement pour les goujons à tête soudés qui sont aujourd'hui fréquemment utilisés en bâtiment, avec des dalles pleines ou mixtes. On peut trouver dans l'ENV 1994-1-1-DAN des formules, parfaitement

calibrées en sécurité, pour de nombreux autres types de connecteurs tels que butées, cornières, crochets, arceaux, butées équipées de crochets ou arceaux, etc. [4]

a- Goujons en présence d'une dalle pleine

La résistance de calcul d'un goujon à tête, soudé au pistolet automatique et présentant en pied un bourrelet de soudure normal (c'est-à-dire avec une forme régulière et une fusion sans défaut avec le fût du goujon), est donnée par la plus petite valeur des deux formules suivantes : formules (1.6) et (1.7)

$$P_{Rd}^{(1)} = 0.8f_u(\pi d^2/4)/\gamma_v \quad (1.6)$$

$$P_{Rd}^{(2)} = 0.29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} / \gamma_v \quad (1.7)$$

La première formule concernant la ruine du goujon en tant qu'élément en acier, et la seconde celle du béton enrobant le goujon.

Dans ces formules, on désigne par (figure 1-25).

d: le diamètre du fût du goujon, avec la condition : $16 \text{ mm} \leq d \leq 25 \text{ mm}$

α : un facteur correctif, égal à 1 pour $h/d > 4$ et égal à $0,2 [(h/d) + 1]$ pour $3 \leq h/d \leq 4$

h : la hauteur hors tout du goujon

f_u : la résistance ultime en traction spécifiée de l'acier du goujon (Ne devant pas dépasser 500 N/mm²).

f_{ck} : la résistance caractéristique du béton en compression ;

E_{cm} la valeur moyenne du module sécant du béton ;

γ_v : le facteur partiel de sécurité, pris égal à 1,25 dans les deux formules (en conformité avec l'indice de fiabilité adopté dans les Eurocodes structuraux).

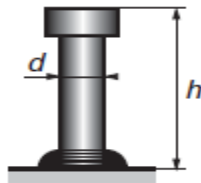


Figure 1-25 : Goujon à tête soudé.

I-14-2-Résistance de connecteur en équerre clouée:

Les essais sur ce type de connecteurs (figure 1-26) ont montré que leur comportement était souple et que ces équerres pouvaient être utilisées en cas de calcul plastique de la résistance ultime des sections mixtes, au même titre que les goujons soudés, pour des qualités de béton B25/15 ($f_{ck} > 10 \text{ N/mm}^2$) à B45/35 ($f_{ck} > 23 \text{ N/mm}^2$), leur résistance ultime est toujours dictée par la rupture des connecteurs lui-même ou de sa fixation par clous, C'est pourquoi il n'existe pas de

formule donnant cette résistance , mais seulement des valeurs fixes expérimentales dépendant de la taille de l'équerre , En cas de calcul élastique de la résistance ultime des section mixtes le facteurs de réduction à appliquer sur ces valeurs est $\alpha = 0.7$, pour les mêmes raison qu'avec les goujons.

Les valeurs de résistances V_{rd} , établie sur la base d'essais, sont reportées au tableau I-1, Elles sont valables pour un calcul plastique et pour un calcul élastique de la résistance des sections, indépendamment de la direction de l'effort rasant.

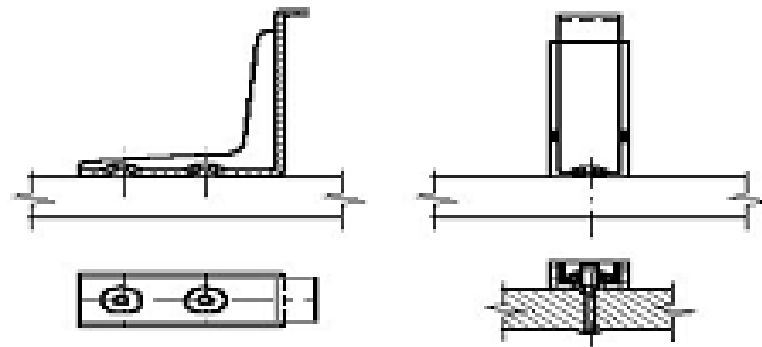


Figure-1.26 : Connecteur en équerres clouée.

Types d'équerres	Calcul Elastique	Calcul Plastique
HVB 50à80	23KN	16 KN
HVB 95à110	28 KN	20 KN
HVB 125 et 140	31 KN	22 KN

Tableau I-1-Résistances au cisaillement V_{rd} des équerres HVB [19].

I-14-3-Connecteurs en cornières soudées dans les dalles pleines :

Dans la norme européenne, la force (P_{rd}) d'un connecteur de cisaillement d'angle dans une dalle pleine (suivant les indications de figure. 1-27) est donnée comme :

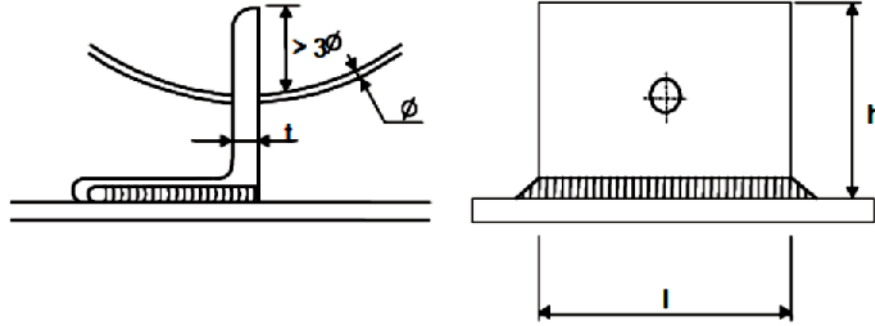


Figure1-27 : Connecteur en cornière.

$$P_{rd} = \frac{10bh^{\frac{3}{4}} * f_{ck}^{2/3}}{\gamma_v} \quad (1.8)$$

Où :

P_{rd} : Est en newton ou l'on désigne par

b : longueur de la cornière en (mm).

h : la hauteur de l'aile verticale de la cornière (mm).

f_{ck} : la résistance caractéristique du béton en N/mm²

γ_v : facteur de sûreté partiel, pris en tant que 1.25 pour l'état final de limite

Des essais réalisés au LCPC sur des connecteurs en cornière ont montré que le rapport soulèvement / glissement est faible, et l'EC-4 recommande l'utilisation d'une barre d'armature filante traversant l'aile de la cornière afin de s'opposer au soulèvement de la dalle. lorsque la poutre fléchit, une armature filante doit traverser l'aile de la cornière, son diamètre minimum est pris égale à :

$$\phi_{min} \geq \sqrt{0,4 \cdot P_{rd} \cdot \frac{\gamma}{\pi \cdot f_{sk}}} \quad (1.9)$$

f_{sk} : Limite élastique caractéristique de l'armature.

γ_s : Facteur partiel de sécurité.

Suivant les indications de la figure1.27, le renfort de cercle est fourni pour empêcher le soulèvement. Un connecteur de canal dans une orientation verticale (c.-à-d. se reposant sur une semelle et l'autre semelle incorporée dans le béton), serait une meilleure alternative car la

semelle supérieure du connecteur fournirait la résistance au soulèvement, l'élimination de la nécessité de fournir un cercle, aussi bien que fournissent un connecteur plus flexible de cisaillement.

I-14-4-Résistance de connecteur en U:

Un type de connecteur suffisamment utilisé est le profil "U". ¶Ce type de profil est trouvé ¶plaque et formé au froid (plat plié). ¶L'expression qui le NBR les 8800 (inverseur 2006) et AISCLFRD

¶(1994) ils apportent est le suivant :

$$Q_{Rd} = \frac{0.3 * (t_{fs} + 0.5 * t_{ws}) * L_{cs} * \sqrt{f_{ck} * E_c}}{y_{cs}} \quad (1.10)$$

être:

t_{fs} , t_{ws} et L_{cs} en mm comme dans la Figure 1.28.

γ_{CS} est le coefficient de pondération de la résistance du connecteur; combinaisons à 1,25 ou la construction spéciale et 1,10 pour les combinaisons exceptionnelles.

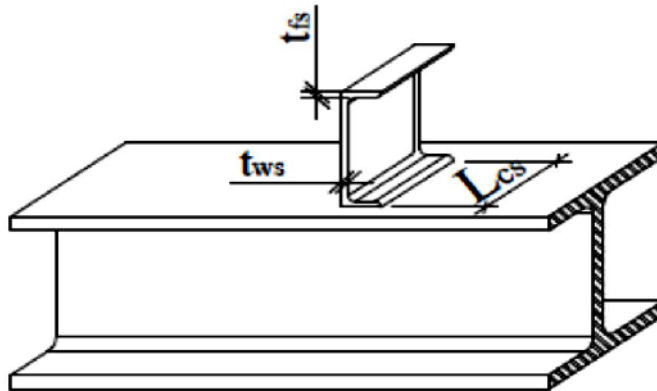


Figure 1-28 : Type profil Connecteurs "U".

Le Profils de type "U" doit avoir une hauteur supérieure à 75 mm, doivent être pleinement intégré dans la dalle de Béton et sont installés âme plan perpendiculaire à l'axe longitudinal de la poutre. Les profils formés à froid doivent avoir l'épaisseur de l'âme et de la table correspondant à la plaque et Des précautions particulières doivent être prises pour éviter l'apparition de fissures dans la région de Kinks.[21]

I-15- Classification des connecteurs :

Le règlement Européen l'Eurocode 4 propose deux classes de connecteurs selon leur comportement (Figure 1-29) :

Les connecteurs rigides

Les connecteurs ductiles.

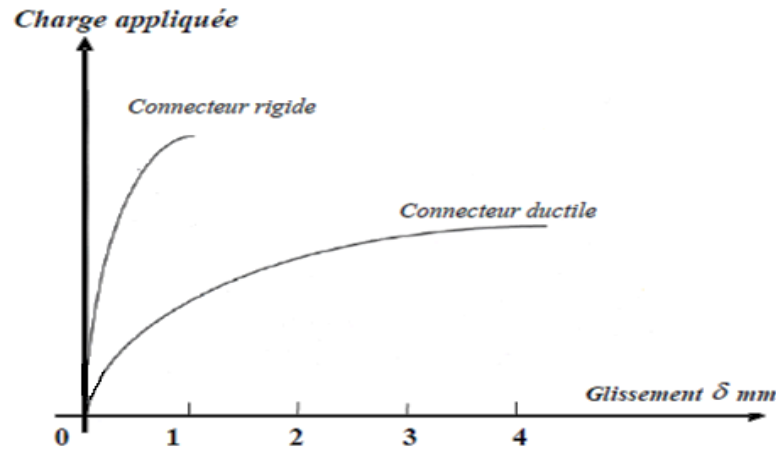


Figure 1- 29 : Classification des connecteurs par rapport à leurs comportements caractérisés par le rapport glissement/charge appliquée.

I-15-1- Connecteurs ductiles (souples):

Les connecteurs ductiles sont ceux qui offrent une capacité de déformation suffisante pour justifier l'hypothèse d'un comportement plastique idéal de la connexion (La façon de ruine est plus malléable et n'est pas brutale). Si les connecteurs sont insuffisamment ductiles, l'effort rasant ne peut pas être uniformément redistribué entre tous les connecteurs. On peut classer comme connecteurs ductiles les connecteurs à goujon, boulons, crochets ou arceaux, en équerre (acier façonné) ou en cornière

L'Eurocode 4 considère que les goujons à tête d'une longueur hors-tout après soudage d'au moins 4 fois le diamètre, et d'un diamètre de fût d'au moins de 16mm sans dépasser 22 mm, peuvent être considérés comme connecteurs ductiles. Les connecteurs les plus utilisés en pratique sont les goujons à tête grâce à leur facilité et leur rapidité de pose (10-15 s/goujon) .De plus, ces connecteurs ont l'avantage de présenter la même résistance dans toutes les directions. Ils permettent également une bonne redistribution des efforts de cisaillement grâce à leur flexibilité. La tête du goujon permet d'empêcher la perte d'adhérence de celui-ci et le soulèvement de la dalle en béton .En Algérie on a tendance à employer les connecteurs en arceau ou crochet pour assurer la liaison entre la dalle et la poutre métallique.

I-15-2- Connecteurs non ductiles (rigides) :

Les connecteurs rigides ne permettent pas la redistribution des efforts rasants, le cisaillement longitudinal est déterminé à partir de la répartition des contraintes dans les sections transversales critiques par la méthode élastique. On considère comme connecteurs non ductiles (rigides) :

Les connecteurs en butée en forme de barreau, en U en T, en fer à cheval et plaque linéaire perforée.

L'Eurocode 4 considère que les connecteurs qui possèdent une capacité de déformation au moins égale à 2 mm sont des connecteurs rigides et 6 mm pour les connecteurs ductiles et de considérer comme non ductile tout connecteur qui n'est pas classé comme ductile, sans introduire de classe intermédiaire (semi ductile)

I-16- Mise en place des connecteurs :

Une série de formes et dispositifs ont été en service comme connecteurs de cisaillement et les considérations économiques continuent à motiver le développement de nouveau produit. Actuellement, le goujon dirigé est le connecteur de cisaillement le plus employé couramment dans la construction composée. Sa popularité provient de l'exécution prouvée et la facilité de l'installation utilisant un pistolet de soudure, suivant les indications de figure 1-30. [12]



Figure 1-30 : soudure du connecteur de cisaillement de goujon en utilisant un pistolet de soudure.

Cependant, quelques inquiétudes ont été exprimées quant à la fiabilité de la technique d'installation. À moins que le soin spécial soit pris, la force de la soudure peut être compromise par le temps pauvre, la condition extérieure du decking en métal ou l'enduit sur les poutres en acier (Chien et Ritchie 1984) [5]. En outre, en raison de la petite portance d'un connecteur, connecteurs de goujon doivent être installés dans de grands nombres, suivant les indications de

(Figure1-31). Ceci produit habituellement un effet d'encombrement et un lieu de travail peu sûr. En raison de ces inconvénients, le nouveau connecteur de nervure de perfobond (Figure 1-32) est favorisé en tant que viable alternative aux connecteurs dirigés de goujon (Zellner 1987[33], Veldanda et Hosain 1992 [32]). Quelques générations plus anciennes des connecteurs de cisaillement tels que des canaux et de Tsections gagnent également la réapparition (Hidehiko et Hosaka 2002) [14].

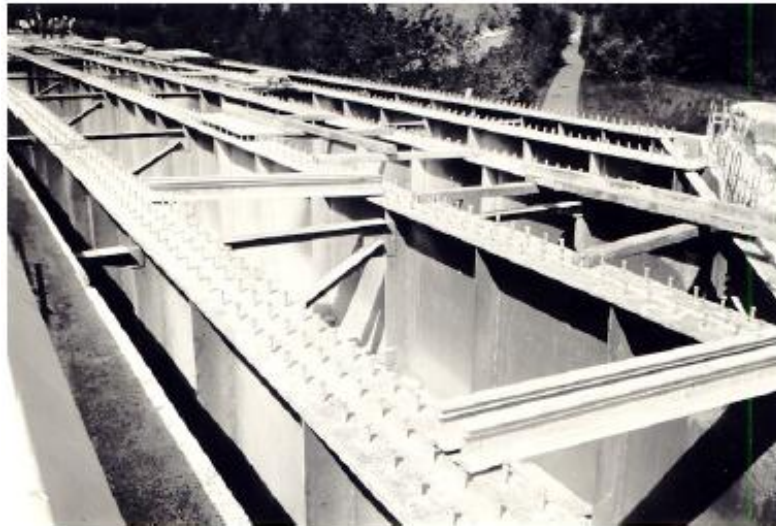


Figure 1-31 : effet d'encombrement des connecteurs de cisaillement de goujon.



Figure 1-32 : connecteur de nervure de Perforons a soudé pour rayonner la semelle.

Puisque le système conventionnel de soudure utilisé pour des connecteurs de canal de soudure est très fiable, les procédures d'inspection telles que l'essai de pliage pour les goujons dirigés (Chien et Ritchie 1984) [5] peuvent ne pas être nécessaires pour le canal connecteurs. Un

connecteur de cisaillement de canal a une charge considérablement plus élevée capacité de charge qu'un connecteur de cisaillement de goujon. En conséquence, quelques connecteurs de canal remplaceront un grand nombre de goujons dirigés. Ceci éviterait l'image de fond habituellement produite par des connecteurs de goujon. Cette thèse traite des connecteurs de cisaillement de canal.

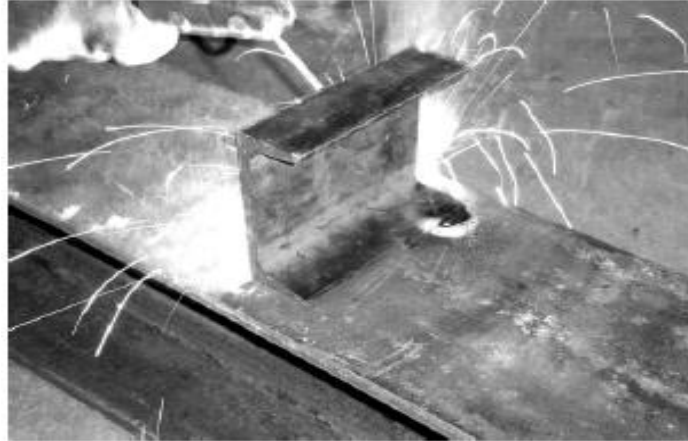


Figure 1-33 : connecteur de cisaillement de la Manche a soudé pour rayonner la semelle. [1]

I-17- Raisons d'utiliser des structures mixtes

Tout dimensionnement doit non seulement prendre en compte l'optimisation de la résistance aux charges, de la raideur et de la ductilité mais également les aspects architecturaux, économiques, de fabrication et d'utilisation des poutres, dalles et poteaux.

I-17-1- Aspects architecturaux

Les structures mixtes permettent de nombreuses variations architecturales pour combiner les différents types d'éléments mixtes.

En plus de réduire les dimensions des poutres, la construction mixte permet

- des portées plus importantes
- des dalles plus minces
- des poteaux plus élancés et offre une grande flexibilité et de nombreuses possibilités lors de la conception.

I-17-2- Aspects économiques

L'intérêt économique des structures mixtes provient de dimensions plus réduites (la rigidité plus élevée entraîne des flèches plus faibles, des portées plus grandes et des hauteurs totales plus faibles) et d'une construction plus rapide.

Les rapports portée sur hauteur ($l/h=35$) des poutres sont faibles et peuvent présenter plusieurs avantages:

- La réduction des hauteurs permet de réduire la hauteur totale du bâtiment et permet dès lors une diminution de la surface des murs extérieurs
- Les portées plus grandes pour des hauteurs identiques (par rapport aux autres méthodes de construction) permettent de réduire le nombre des poteaux par plancher ce qui offre plus de flexibilité
- Pour une même hauteur totale de bâtiment, celui-ci peut présenter plus d'étages.

Les structures mixtes sont simples à construire et présentent des temps de construction réduits:

--> Économie de coûts suite à la réalisation plus rapide du bâtiment

-->coûts de financement plus faibles

-->prêt à l'emploi plus rapidement et donc revenu d'utilisation plus élevé

I-17-3- Fonctionnalité

Les structures métalliques traditionnelles présentent des systèmes de protection au feu rapportés qui permettent d'isoler l'acier de la chaleur due à l'incendie. Les structures métalliques et mixtes actuelles peuvent présenter une résistance au feu en utilisant les principes des constructions en béton armé dans lesquelles le béton protège l'acier grâce à sa masse élevée et sa conductivité thermique relativement faible.

Tout comme les planchers mixtes qui peuvent résister au feu, les poutres mixtes peuvent également être utilisés sans protection des semelles mais avec un enrobage de béton armé entre les semelles. Ce béton ne sert pas uniquement à maintenir des températures relativement basses dans la semelle supérieure et dans l'âme mais également à apporter de la résistance flexionnelle compensant la perte de résistance de la semelle inférieure portée à haute température.

I-17-4- Equipements et utilisation flexible du bâtiment

Les structures mixtes s'adaptent aisément aux modifications susceptibles de se produire durant la vie d'un bâtiment. Cela est particulièrement le cas lorsque la dalle est en présence de structures en portiques. Il est alors toujours possible de créer une nouvelle cage d'escalier entre deux planchers en ajoutant simplement les poutres de renvoi nécessaires. Les évolutions récentes dans les technologies informatiques, de communication et d'information ont montré l'importance d'être capable de modifier rapidement l'organisation des équipements d'un bâtiment. De plus, dans les bâtiments commerciaux ou en copropriété, il doit être possible de

modifier les équipements sans occasionner d'inconvénient aux autres occupants. Pour résoudre ces problèmes, les ingénieurs doivent choisir entre plusieurs solutions. Il y a généralement trois manières d'installer les équipements:

- dans les faux-plafonds
- dans un faux-plancher
- dans des caissons situés le long des murs

L'espace entre les semelles d'une poutre mixte constitue une zone idéale dans laquelle les équipements peuvent être installés.

I-18- Les inconvénients

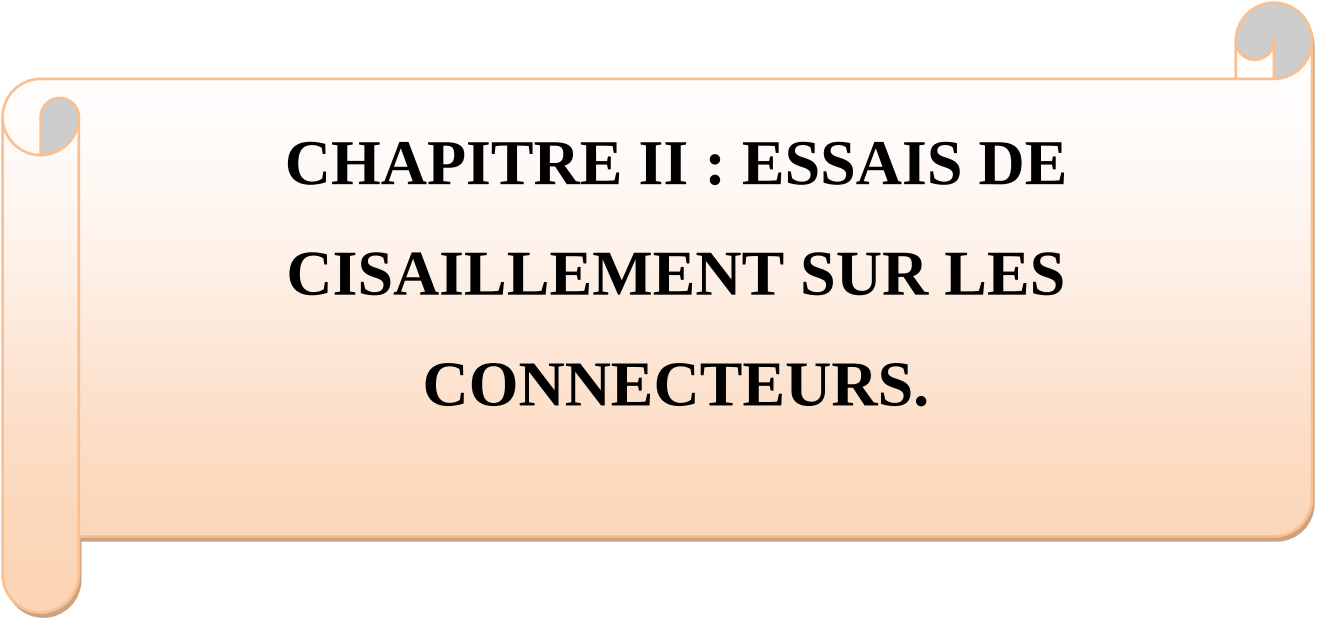
- L'inconvénient principal de la construction mixte est la nécessité de la connexion au niveau de l'interface ce qui augmente le temps d'exécution et des dépenses.
- La difficulté de réaliser des assemblages lorsque l'élément mixte est complètement enrobé (exemple semelle de la poutre enrobée).
- Une méthode de construction légèrement plus compliquée par rapport aux méthodes traditionnelles et demande une main d'œuvre plus qualifiée.

Mais ces inconvénients sont rattrapés par le nombre important d'avantages déjà cités. [26]

I-19- Conclusion :

D'une manière générale, la construction mixte, présente un pas en avant pour la construction moderne, avec ces avantages on a présenté les éléments de structures mixtes acier-béton (poutres mixtes) l'historique d'Evolution des systèmes de connexion, le rôle des connecteurs et les différents types de connecteur utilisés dans les poutres mixtes, ainsi de connexion qu'elle apparait peut être totale ou partielle Elle dépend essentiellement du nombre de connecteurs placés dans la longueur critique d'une poutre, Le calcul de la résistance de ces connecteurs

Dans le chapitre suivant nous allons montrer le rôle des connecteurs sur l'interface acier - béton à travers une série d'essais de poussé dite : « Push-out ».sur un connecteur en cornière soudée pour évaluer sa résistance au cisaillement.



CHAPITRE II : ESSAIS DE CISAILLEMENT SUR LES CONNECTEURS.

Chapitre II : Essais de cisaillement sur les connecteurs.

INTRODUCTION :

Dans la littérature, les résultats d'essais Push-Out, dans le but de dégager le comportement expérimental des connecteurs, sont nombreux : par exemple Newmark et al. en 1951, Chapman et al. en 1969 - Aribert et al. en 1982, Housain et al. En 1999 et tant d'autres. Toutefois dans ces travaux, l'attention est surtout portée sur le comportement des connecteurs types goujon à têtes. Quelques chercheurs se sont penchés sur le domaine des connecteurs de type cornière, parmi lesquels nous pouvons citer J. Trinh en 1993 [15] ainsi que M. Rabih et M. Gueury et M. Rabih [18] en 1995.

II-1 – L'ESSAI PUSH-OUT EST-IL REPRESENTATIF ?

En vue de représenter le comportement des connecteurs au cisaillement, plusieurs essais sont envisageables :

- L'essai « *Push-Out* » (figure 2-1);
- L'essai « *Double Push-Out* » (figure 2-2);
- L'essai « *Push-Off* » ;
- L'essai « *Push-Around* » ;
- L'essai « *Push- in* » (figure 2-3).

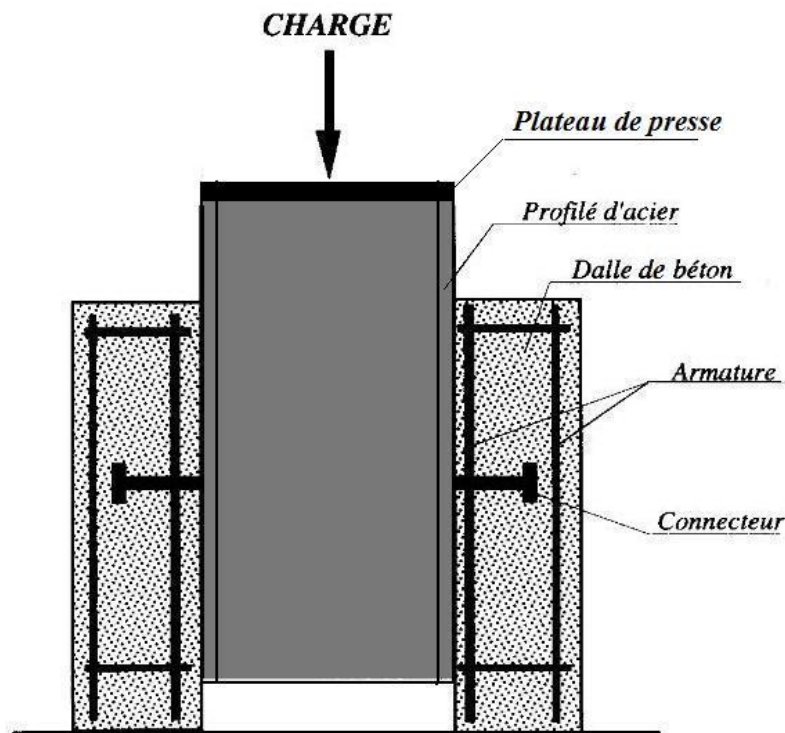


Figure 2-1 : Principe de l'essai Push-Out.

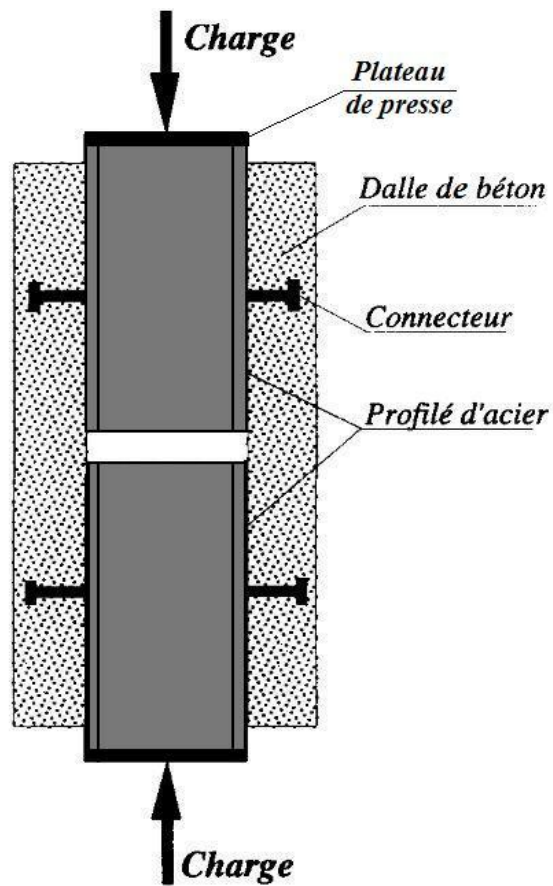


Figure 2-2 : Principe de l'essai Double Push-Out.

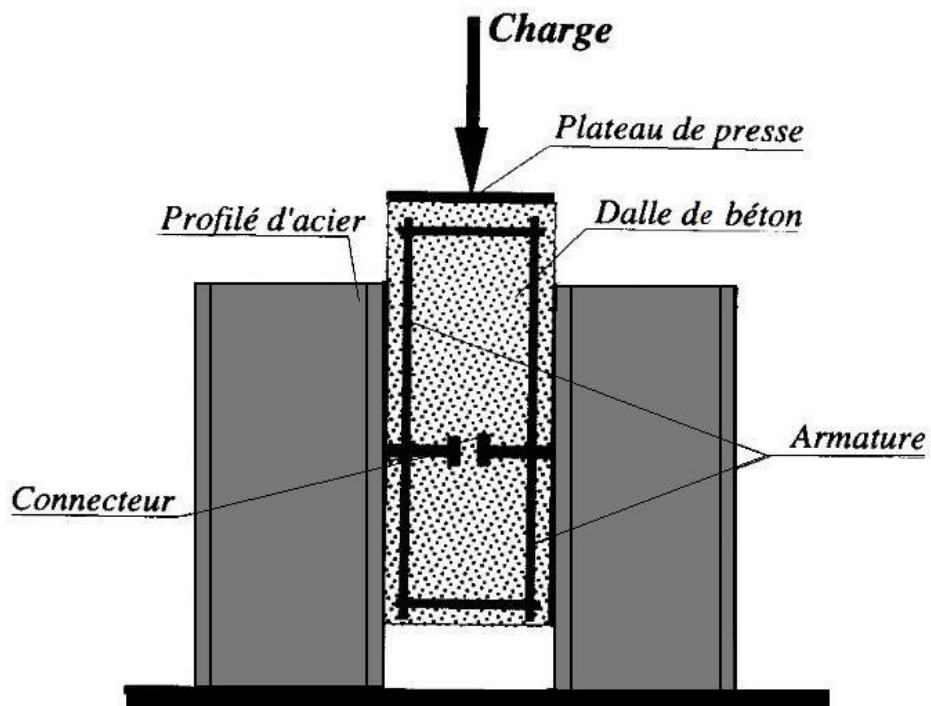


Figure 2-3 : Principe de l'essai Push-In.

Dans le présent travail, parmi les essais cités précédemment, nous avons choisi l'essai « *Push-out* » afin d'étudier le comportement au cisaillement des connecteurs dans une poutre mixte pour les raisons suivantes :

➤ Dans l'essai *Push-Out*, le plateau de la presse limite les possibilités de soulèvement au moins à son voisinage, ce qui n'est pas le cas dans l'essai *Double Push-Out*. Ces deux types d'essais ne diffèrent que par la longueur de la dalle et le type de sollicitation. Terasz et Kiewicz (1965) constatent que pour une charge très faible, environ la moitié de la charge ultime, les glissements et les soulèvements sont beaucoup plus importants dans l'essai *Double Push-Out* que dans l'essai *Push-Out*.

Canciani et Puhnalie (1981) indiquent que le mécanisme de ruine, lors de l'essai *Double Push-Out*, n'est pas conforme à celui observé sur les poutres.

Compte tenu de sa faible crédibilité, l'essai *Double Push-Out* n'est plus réalisé actuellement.

➤ Terasz et Kiewicz (1965) comparent les essais *Push-Out/Push-Off* à l'aide de l'indicateur charge/glissement. On constate que la réponse de deux types de corps d'épreuves est identique pour une charge de l'ordre de 0,6 fois la charge ultime Q_u . Au-delà de cette charge, le glissement croît de façon très importante dans l'essai *Push-Off*. En vertu de cette dernière observation et en raison de sa complexité, ce dernier n'est plus réalisé.

➤ La difficulté d'obtenir deux dalles de béton présentant des résistances quasi identiques avait amené, entre autres, à la réalisation d'essai *Push-In*. En fait, dans ces essais, deux connecteurs sont testés simultanément dans la même masse de béton, ce qui pose des problèmes de fonctionnement et d'interprétation. Ces essais présentés à titre indicatif, n'ont été réalisés que rarement.

➤ Sur les dalles mixtes ou poutres mixtes, l'effort de cisaillement varie en intensité mais aussi en direction selon la proximité du point d'impact de la charge par rapport au connecteur. De ce fait, l'essai de cisaillement giratoire, appelé aussi *Push-Around*, n'est pas représentatif de la réalité des sollicitations d'un connecteur.

➤ En 1988, après multiples essais entre *Push-Out* et une poutre mixte grandeur nature, ARIBERT affirme que l'essai *Push-out* est le plus représentatif de la réalité physique.

On conclut que le comportement général des connecteurs ainsi que celui de la dalle en béton et du profilé sont presque identiques, comme représenté sur la figure 2.4, ce qui revient à dire le comportement en charge/glissement, la charge de ruine et les déformations des connecteurs.

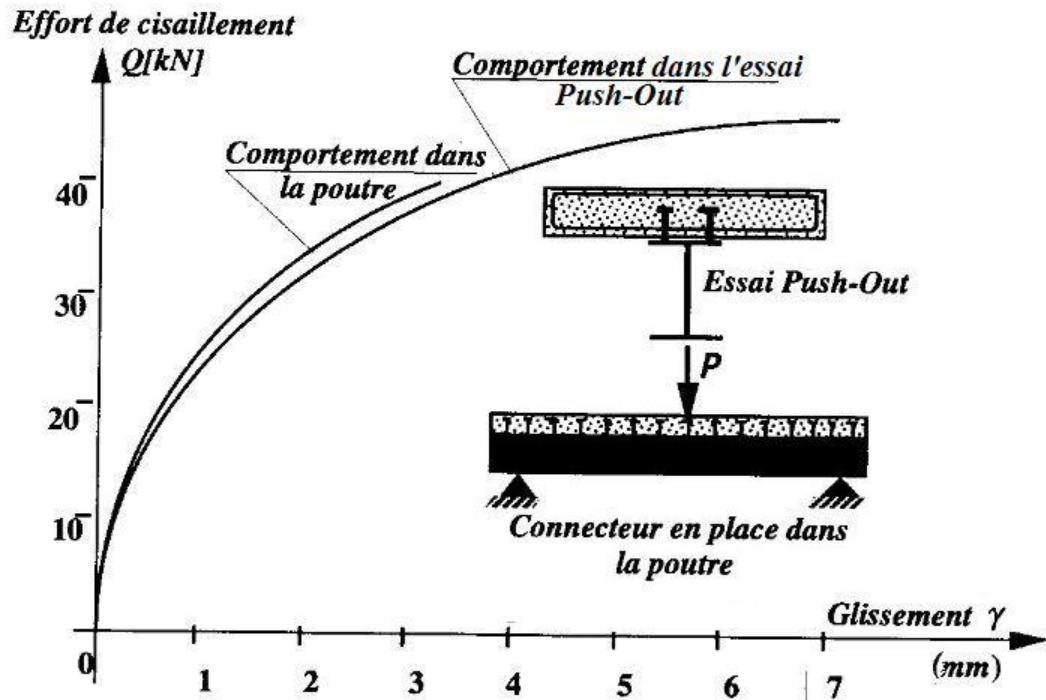


Figure 2-4 : Comparaison entre le comportement d'un connecteur en place dans la poutre et son comportement au cours d'un essai Push-Out. (Aribert, 1988)

Par ailleurs, quatre points faibles peuvent être notés :

- i. La dalle est soumise à une contrainte sur toute sa largeur, ce qui n'est pas le cas dans l'essai Push-Out pour lequel une concentration de contrainte est observée à l'endroit du connecteur ;
- ii. La taille de la dalle et la densité de ferrailage peuvent être différents dans l'essai Push-out et dans la réalité ;
- iii. Le nombre de sections connectées est différent : une seule dans le cas de l'essai Push-Out, plusieurs dans le cas de la poutre. Ceci pose alors la question de l'effet de groupe ;
- iv. La flexion transversale n'est pas bien représentée dans l'essai Push-Out.

Il est maintenant admis communément que l'essai Push-Out est le plus représentatif parmi les catégories d'essais envisagés ainsi qu'en matière de réalité physique.

II-1.1- Soulèvement :

A notre connaissance, l'étude de la séparation par soulèvement entre la dalle et le profilé métallique n'a fait l'objet que de rares recherches. Le phénomène de soulèvement a été signalé par Chapman au début des années 60 [Chapman, 1964] , lors de recherches expérimentales sur plusieurs poutres mixtes isostatiques à degré de connexion variable.

En 1985, Aribert [Aribert, 1985] a intégré la séparation éventuelle des parties acier et béton dans le calcul des poutres mixtes jusqu'à l'état ultime.

Afin de limiter ce phénomène, l'Eurocode 4 précise que les connecteurs doivent être munis d'un dispositif capable d'équilibrer un effort de soulèvement égal au dixième de l'effort de cisaillement..

II-2 - BUT DE L'ESSAI :

L'essai Push-Out consiste à évaluer la résistance ultime au cisaillement, le mode de ruine et la courbe cisaillement/glissement d'un connecteur dans une poutre mixte acier-béton.

II-3 - DISPOSITIFS D'ESSAI ET CORPS D'EPREUVE :

Les figures 2.5 et 2.6 illustrent le principe de l'essai *push-out*. L'éprouvette est constituée de deux blocs en béton liés à un profilé métallique au moyen de la connexion à tester (cornière avec filant). Lors de la mise en charge, une force est appliquée sur une plaque d'acier indéformable qui surmonte le profilé métallique, force qui doit être transmise par cisaillement à travers la connexion aux deux blocs de béton qui prennent appui au sol.

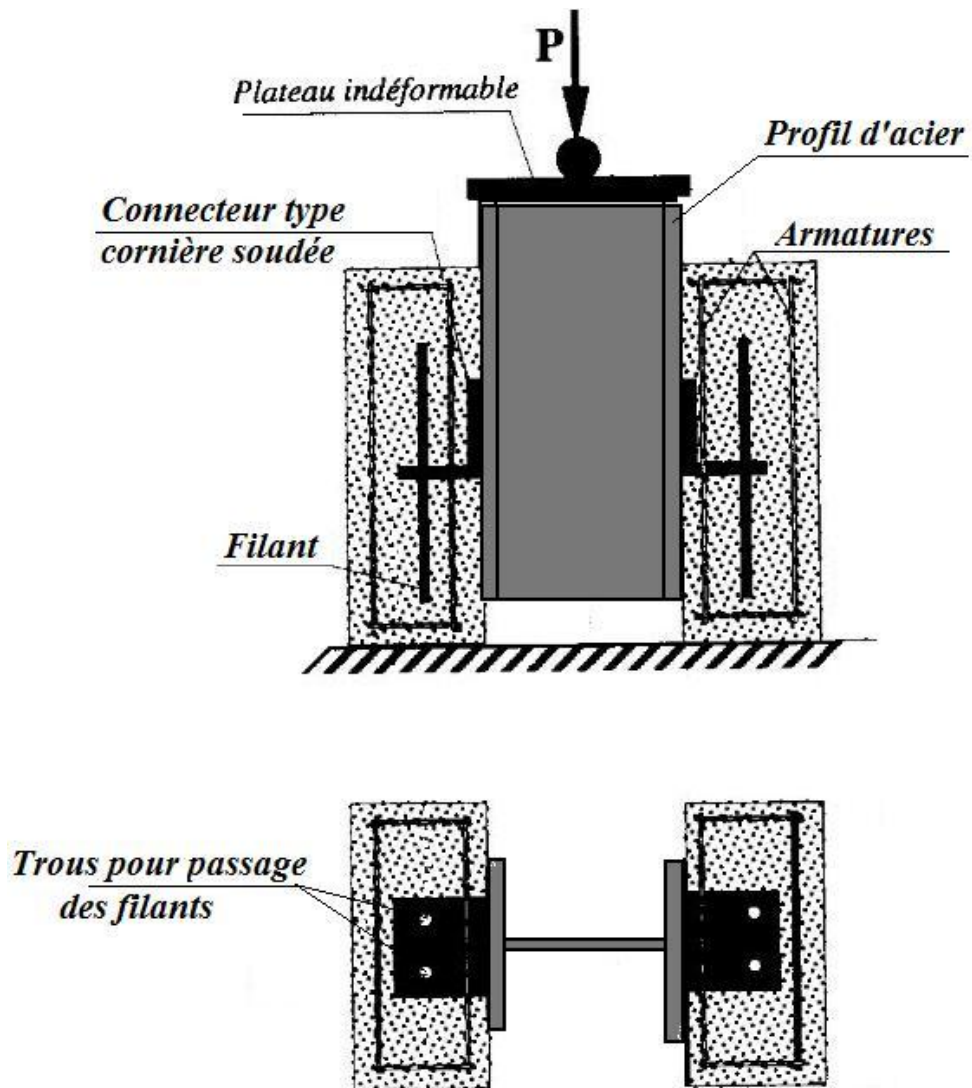


Figure 2-5 : Corps d'essai Push-Out sur un connecteur type cornière avec filant. [18]

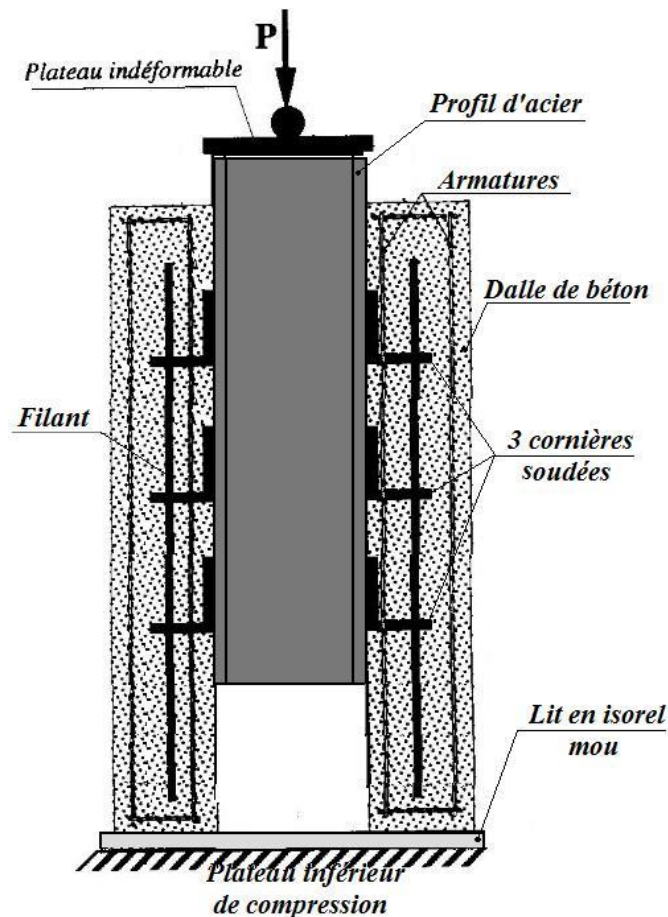


Figure 2-6 : Corps d'essai Push-Out sur un connecteur type cornière avec filant. [15]

L'Eurocode 4 recommande de dimensionner convenablement les dalles et armatures utilisées pour les essais *Push-Out* en fonction des poutres pour lesquelles l'essai est conçu. En particulier, il convient d'adopter :

- a) une longueur l pour chaque dalle qui soit en rapport avec l'espacement longitudinal des connecteurs dans la structure mixte ;
- b) une largeur b pour chaque dalle qui ne dépasse pas la largeur efficace de la dalle de la poutre ;
- c) une épaisseur h pour chaque dalle qui ne dépasse pas l'épaisseur minimale de la dalle de la poutre ;
- d) le même renformis et la même armature pour les dalles de l'éprouvette que pour la dalle de la poutre lorsque cette dernière présente un renformis qui ne respecte pas les dispositions données dans l'Eurocode 4 dans la section 6.6.5.4.

Il propose alors une éprouvette normalisée pour les essais sur des connecteurs types goujons à tête comme représentée sur la figure 2.7. Il est à noter que ce règlement ne propose pas des dimensions normalisées pour l'essai *Push-Out* sur des connecteurs en cornières soudées.

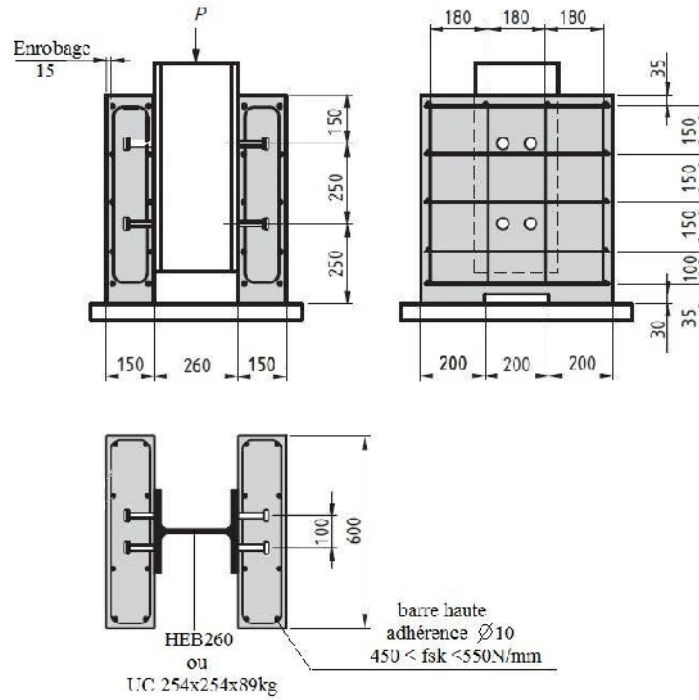


Figure 2-7 : Eprouvette pour un essai normalisé sur connecteur type goujon à tête.

II-3-1 - Caractéristiques géométriques du connecteur « cornière soudée » :

Les caractéristiques géométriques du connecteur à tester sont indiquées sur la figure 2.8. Ils varient d'un auteur à un autre comme représentés sur la figure suivante.

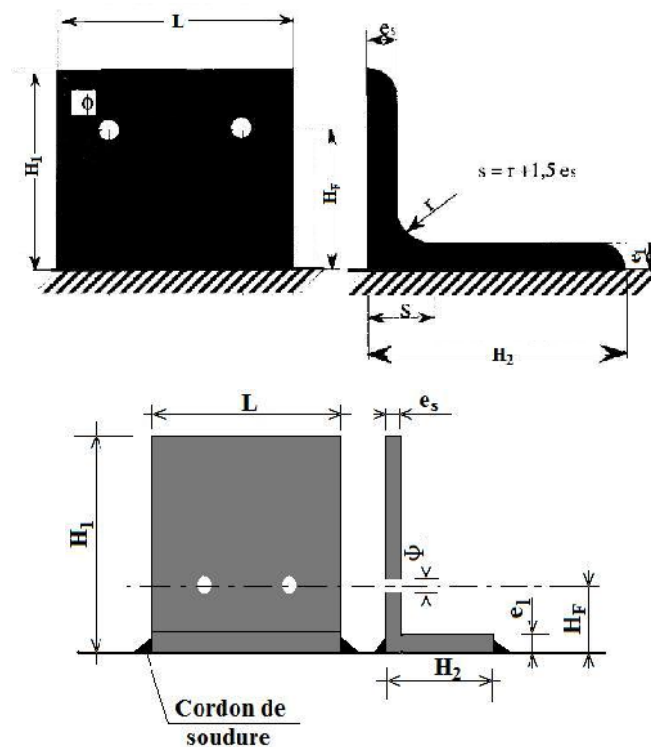


Figure 2-8 : Caractéristiques géométriques de la cornière [En haut: M.Rabih et M.Gueury, 1995 ; en bas : J.Trinh, 1993]

Dans cette figure :

L : désigne la largeur du connecteur,

H_1 : hauteur de l'aile de la cornière par rapport à la semelle du profil d'acier (poutre),

e_s : épaisseur de l'aile du connecteur,

H_2 : longueur de la base du connecteur,

e_1 : épaisseur de la base du connecteur,

H_F : hauteur de l'axe du filant par rapport à la semelle du profil d'acier (poutre) et

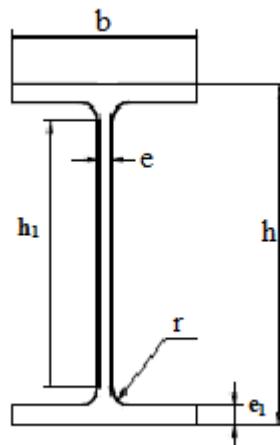
ϕ : diamètre de filant.

	N°Essai :	Détail du Connecteur en cornière soudée (mm)							Résistance du béton (MPa)
		H_1	H_2	L	e_s	e_1	H_F	ϕ	Rcb
1	2	100	100	90	10	10	75	10	36.0
2	3	100	100	90	10	10	75	10	37.0
3	9c	100	100	90	10	10	75	10	40.2
4	20a	100	100	90	10	10	75	10	36.8

Tableau 2.1 : Caractéristique géométrique de du connecteur « cornière soudée »

II-3-2 - Caractéristique géométrique de profilé métallique:

Les Caractéristique géométrique et mécaniques sont montres dans le Tableau 2.2.



Profilé	Dimension (mm)							La section	
	h	b	e	e ₁	r	h ₁	u	A cm ²	Sx cm ³
HEB180	180	180	8.5	14	15	122	1040	65.3	241

Tableau 2.2 : Caractéristique géométrique de profilé métallique

II-3-3- Caractéristiques mécaniques des matériaux :

▪ L'acier du connecteur a un comportement élasto-plastique, avec un domaine de plasticité parfaite. En pratique, le diagramme contrainte déformation (σ, ϵ) est supposé symétrique en traction et en compression par rapport à l'origine (Figure 2-9). Il est caractérisé par la limite d'élasticité E_a et la déformation maximale $\mu\epsilon_e^a$. [18]

Les armatures sont des barres de haute adhérence, tandis que le filant est une tige en métal ductile permettant une déformation aisée de son corps.

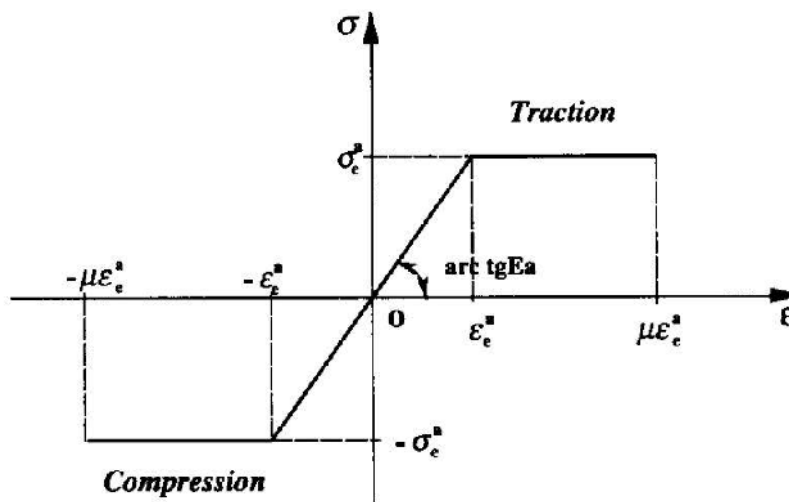


Figure 2-9 : Diagramme contrainte-déformation (σ, ϵ) de l'acier supposé élasto-plastique parfait. [18]

▪ Le comportement du béton est donné en figure 2.10. Dans le domaine de compression, la résistance du béton obéit à une loi non-linéaire marquée par la courbe AB limitant la zone élastique et par une partie décroissant BC indiquant le commencement de l'effondrement jusqu'à la rupture au point C. [18]

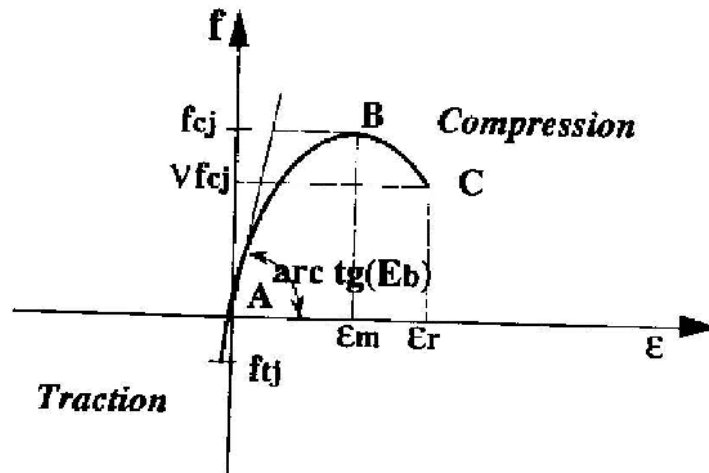


Figure 2-10 : Diagramme contrainte-déformation du béton.

II-4 - PREPARATION DES EPROUVETTES :

Selon l'Eurocode 4 :

- Il convient de couler chaque dalle de béton en position horizontale, comme c'est le cas en pratique pour les poutres mixtes.



Figure 2-11 : Mode de coulage du béton. [1]



Figure 2-12 : Vibration et finition du bloc de béton. [1]

- Il convient d'éliminer l'adhérence à l'interface entre les semelles de la poutre en acier et le béton, en graissant les semelles ou par un autre moyen approprié.
- Il convient de laisser durcir à l'air libre les éprouvettes destinées aux essais *Push-Out*.
- Pour chaque gâchée, il convient de confectionner au moment de la coulée au moins quatre éprouvettes de béton (cylindres ou cubes) pour la détermination de la résistance sur cylindre. Il convient que le durcissement de ces éprouvettes s'effectue à proximité de celles destinées aux essais de poussée. Il convient de prendre comme résistance du béton f_{cm} la valeur moyenne des résistances.



Figure 2-13 : Préparation des éprouvettes cylindriques. [1]

- Il convient d'avoir, au moment de l'essai, une résistance à la compression f_{cm} du béton égale à $70\% \pm 10\%$ de la résistance spécifiée f_{ck} du béton des poutres pour lesquelles l'essai fait

l'objet. Cette exigence peut être satisfaite en utilisant du béton de la qualité spécifiée, mais en procédant aux essais avant les 28 jours qui suivent le coulage des éprouvettes.

- Il convient de déterminer la limite d'élasticité, la résistance à la traction et l'allongement maximal d'une éprouvette représentative de l'acier des connecteurs.

- Lorsque des plaques nervurées en acier sont utilisées pour les dalles, il convient de déterminer la résistance à la traction et la limite d'élasticité des plaques par des essais réalisés sur des coupons prélevés dans les plaques utilisées dans les essais *Push-Out*.

II-5 - PROCEDURE D'ESSAI :

II-5-1- Recommandations de l'Eurocode 4 :

Sur la base des recommandations de l'Eurocode 4 :

- Il convient d'appliquer la charge d'abord par accroissements jusqu'à une valeur de 40 % de la charge de ruine supposée, puis d'effectuer 25 cycles entre 5 % et 40 % de la charge de ruine supposée.

- Il convient d'appliquer ensuite des accroissements de charge de sorte que la ruine ne survienne pas avant 15 minutes.

- Il convient de mesurer le glissement longitudinal entre chaque dalle en béton et le profilé en acier de manière continue au cours du chargement ou à chaque accroissement de charge (voir § II.6.2). Il convient de mesurer ce glissement au moins jusqu'à ce que la charge ait chuté de 20 % en dessous de la charge maximale.

- Il convient de mesurer la séparation transversale entre le profilé en acier et chaque dalle en béton aussi près que possible de chaque groupe de connecteurs (voir §II.6.2)

II-5-2- Installation et instrumentation :

Une plaque en acier épais, servant de plate-forme pour les éprouvettes d'essais, a été placée sur la machine d'essai. Deux panneaux épais de presse ont été mis en place au niveau du contact des spécimens avec la plaque d'acier pour aider à distribuer la charge uniformément aux dalles en béton. Les spécimens ont été placés sur la machine au moyen d'une grue. Sa position a été alors ajustée jusqu'à ce qu'elle ait été placée symétriquement sur la base de la machine. À l'extrémité supérieure des spécimens, une autre plaque en acier épais a été placée sur la section en acier. Un bloc sphérique de distribution a été disposé entre la plaque et la tête de chargement de la machine d'essai, suivant les indications de figure 2.13 [1].

Par le haut, le corps d'épreuve est soumis à un effort de compression Q appliqué sur le bout du profilé dépassant les blocs de béton. Le transfert du chargement Q à travers le corps

d'épreuve entraîne un effort de cisaillement de $Q/2$ dans chacune des interfaces acier-béton [15].

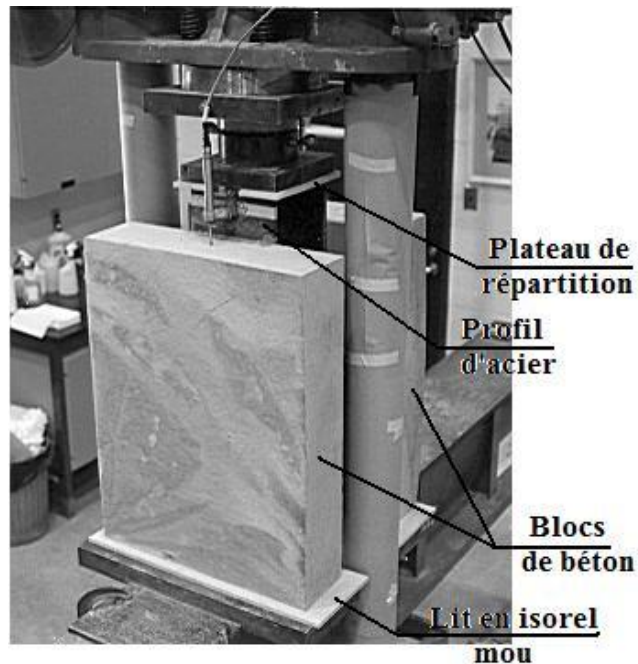


Figure 2-14 : Dispositif de l'essai Push-Out. [1]

Il existe plusieurs types de machine d'essai Push-Out, par exemple celle représentée sur la figure est un « Amsler Hydraulique », celle de la figure 2.14 est une presse « Trebel ».

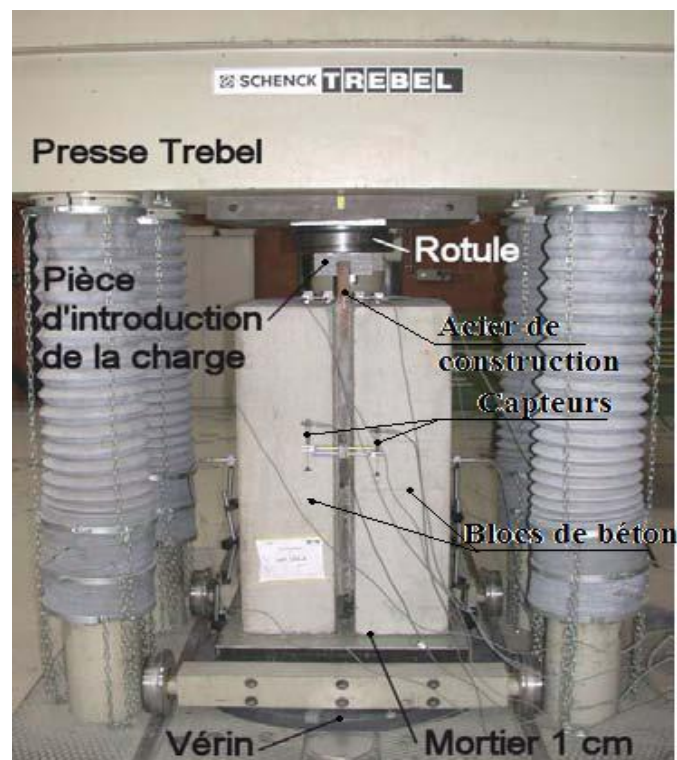


Figure 2-15 : Presse Trebel

II-5-3 - Points de mesure :

Des points de mesures ont été disposés sur le corps de la cornière, du profilé et du béton permettant d'enregistrer, en fonction de la charge appliquée, le taux de déformation et de déplacement de l'échantillon étudié.

a) Jauges de déformations :

La position des jauges de déformation doit permettre d'enregistrer la déformation de la cornière sur toute la hauteur de l'aile libre, dans l'axe de celle-ci compte tenu de la présence des perçages.

b) Capteurs de déplacements :

En prenant comme exemple les travaux de M.Rabih [18], les glissements et les soulèvements sont mesurés dans trois plans horizontaux, en quatre points de mesure coplanaires :

- deux plans en partie inférieure « devant » la cornière et
- un plan passant par le centre de gravité de celle-ci.

Deux comparateurs sont disposés en partie supérieure de la dalle.

II-6- Mode de ruine donné par EC-4:

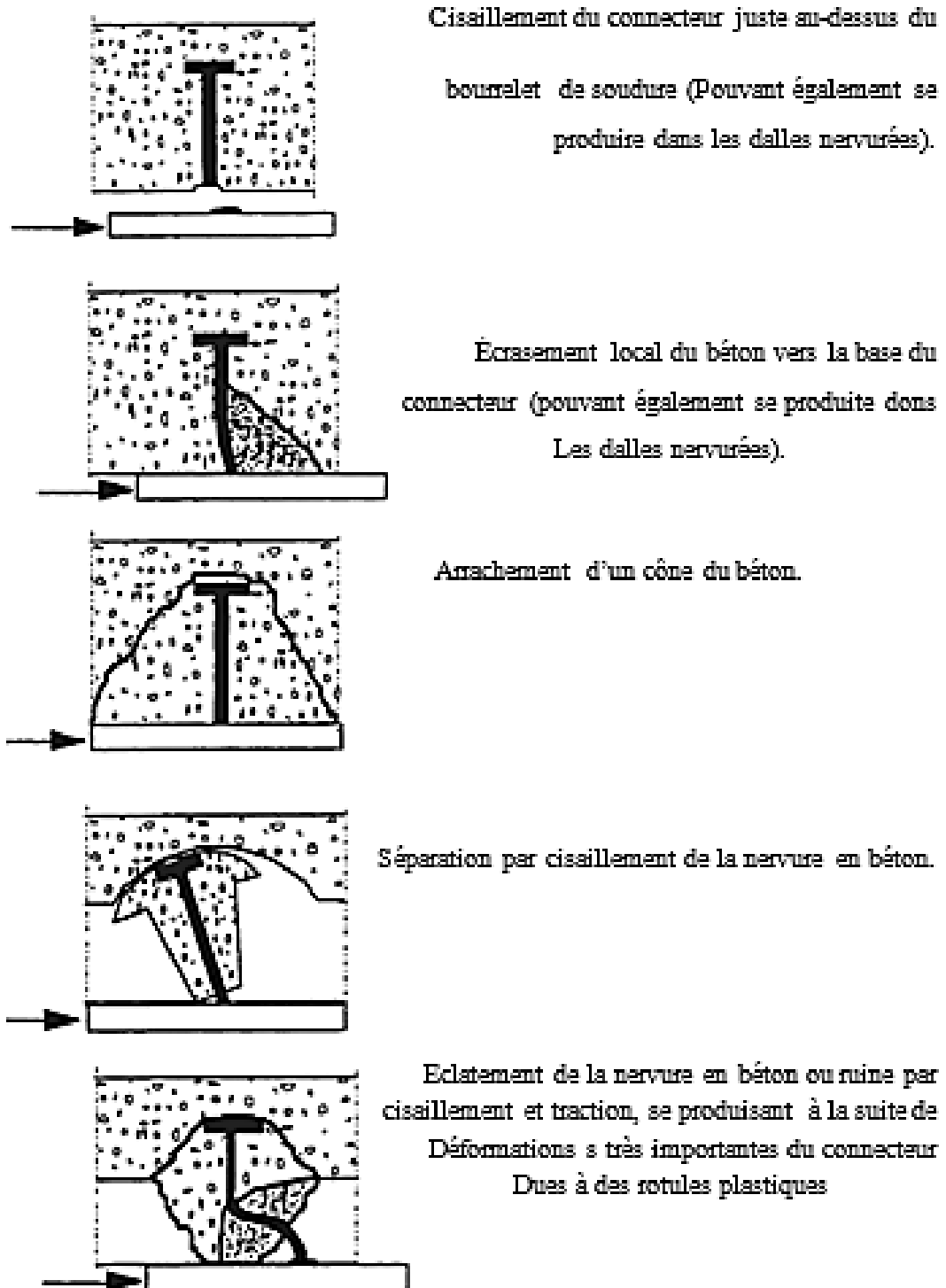


Figure.2-16: Modes de ruine des connecteurs selon l'EC-4.

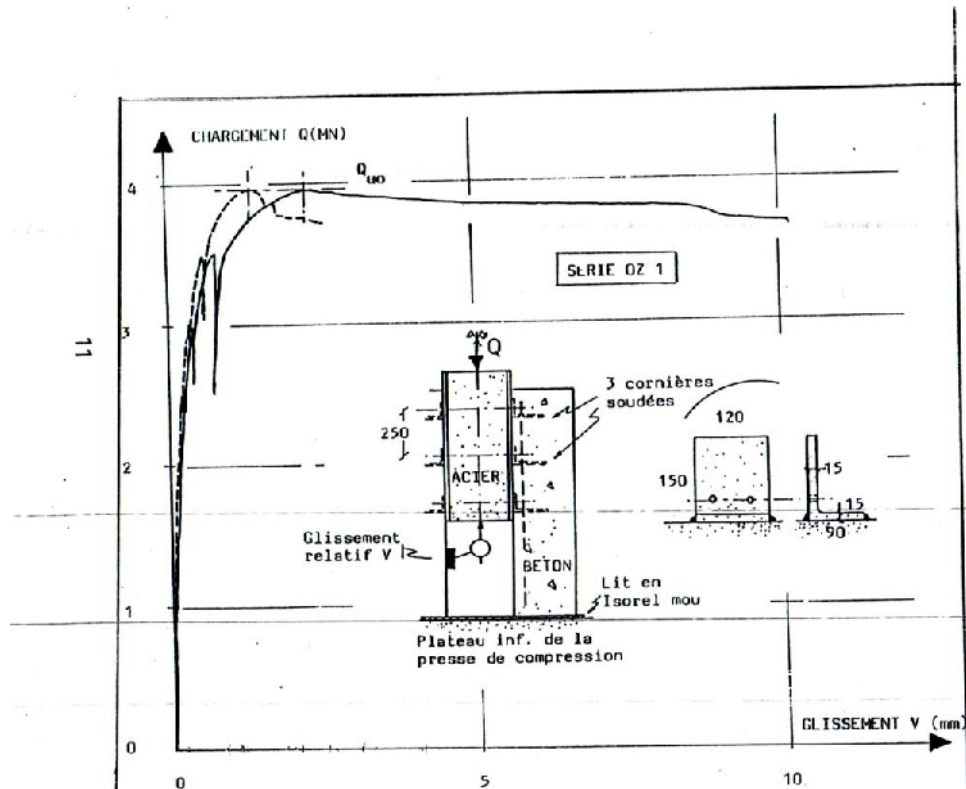


Figure 2-17 : Diagramme ((Charge-Glisement V))

Mesurés dans les essais des connecteurs (C), série1.

II-7 - INTERPRETATION DES RESULTATS :

- Lorsque trois essais sont réalisés sur des éprouvettes théoriquement identiques et lorsque l'écart de chaque résultat d'essai individuel ne diffère pas de plus de 10 % par rapport à la valeur moyenne obtenue sur l'ensemble des essais, la résistance de calcul peut être déterminée de la façon suivante :

- il convient de prendre la résistance caractéristique P_{Rk} égale à la charge de ruine minimale (divisée par le nombre de connecteurs) réduite de 10 % ;
- il convient de calculer la résistance de calcul P_{Rd} au moyen de l'expression :

$$P_{Rd} = \frac{f_u}{f_{ut}} \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \leq \frac{P_{Rk}}{\gamma_V} \quad (2.1)$$

Où :

f_u est la résistance ultime minimale spécifiée pour l'acier des connecteurs ;

f_{ut} est la résistance ultime réelle de l'acier des connecteurs utilisés dans l'éprouvette ;

γ_V est le coefficient partiel pour la connexion à l'état limite ultime.

La valeur recommandée pour γ_V est 1,25.

A partir de ces résultats on peut déterminer la charge ultime, la charge de plastification et tracer la courbe cisaillement/glisement d'un connecteur dans une poutre mixte acier-béton.

–Lorsque l'écart par rapport à la moyenne dépasse 10 %, il convient d'effectuer au moins trois essais supplémentaires du même type. Il convient de procéder ensuite à l'interprétation des résultats conformément à l'EN 1990.

–Lorsque le connecteur est composé de deux éléments distincts, l'un destiné à reprendre le cisaillement longitudinal et l'autre à résister aux efforts tendant à séparer la dalle de la poutre en acier, les dispositifs d'attache s'opposant à la séparation doivent posséder une rigidité et une résistance suffisantes pour que la séparation, mesurée lors des essais Push-Out lorsque les connecteurs sont soumis à 80 % de leur charge ultime, reste inférieure à la moitié du glissement longitudinal de la dalle par rapport à la poutre.

– Il convient d'adopter comme capacité de glissement δ_u d'une éprouvette, le glissement maximal mesuré au niveau de charge caractéristique, comme indiqué sur la figure 2.15. Il convient d'adopter comme capacité de glissement caractéristique δ_{uk} , la valeur minimale δ_u des essais réduite de 10% ou la valeur déterminée par évaluation statistique à partir de l'ensemble des résultats d'essais .

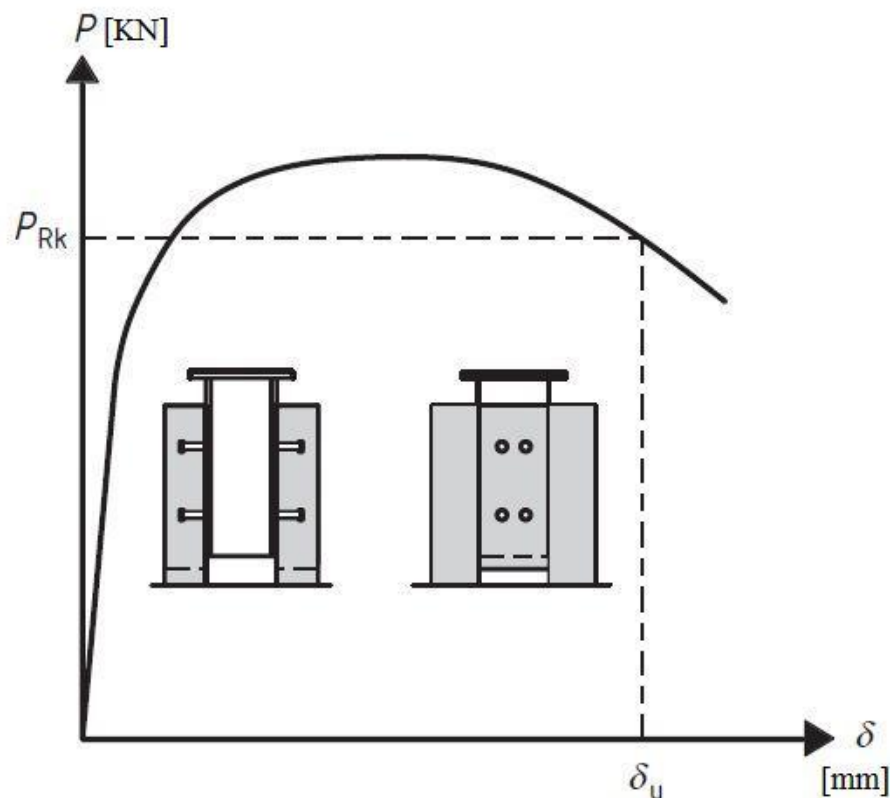


Figure 2-18: Détermination de la capacité de glissement δ_u correspondant à P_{Rk} .

II-8– CONCLUSION :

Ce rapport de recherche avait pour but de développer une synthèse bibliographique d'un essai qui consiste à évaluer la résistance ultime au cisaillement, le mode de ruine et la courbe cisaillement/glissement d'un connecteur dans une poutre mixte acier-béton. Plusieurs essais permettent d'évaluer ces paramètres mais le plus représentatif est l'essai Push-Out, malgré ses limites. Les travaux de quelques auteurs ayant traité le cas de connecteurs de type cornière soudée ont été exposés, comme J. Trinh [15] et M. Rabih [18], sans oublier les recommandations pour ce type d'essai fournies par le règlement en vigueur qui est l'Eurocode 4.

An orange scroll graphic with a gradient, featuring a vertical strip on the left and a horizontal strip on the right, both with rounded ends and a slight shadow.

CHAPITRE III : MODELISATION PAR ELEMENTS FINIS DE L'ESSAI PUSH-OUT.

Chapitre III : Modélisation par éléments finis de l'essai Push-out.

INTRODUCTION :

Après avoir développé l'essai *Push-Out* dans le chapitre précédent, nous procédons maintenant à une modélisation numérique de notre structure suivie d'une simulation numérique. Cette simulation est effectuée au moyen du logiciel d'éléments finis ANSYS version 12, il permet l'utilisation de nombreux types d'éléments finis car il est conçu pour résoudre numériquement une large variété de problèmes mécaniques en modélisant le comportement mécanique des solides et des structures sous un chargement extérieurement appliqué. Ces problèmes incluent l'analyse statique/dynamique, structurale (linéaire et non linéaire), le transfert de chaleur, et les problèmes de la mécanique des fluides, aussi bien que des problèmes acoustiques et électromagnétiques.

Ce chapitre a pour but la modélisation du comportement des connecteurs de type cornière soudée tel qu'observé dans les essais *Push-Out*, qui permette de déterminer la relation charge/glisement. La validation du modèle proposé sera effectuée à l'aide des résultats expérimentaux des essais *Push-out* en comparant les courbes charge-glisement.

III-1- ETAPES DE LA MODELISATION NUMERIQUE :

D'une manière générale, la modélisation par éléments finis comporte les étapes qui seront citées ci-dessous. Il est à noter que chaque étape dépend de celui qui le précède.

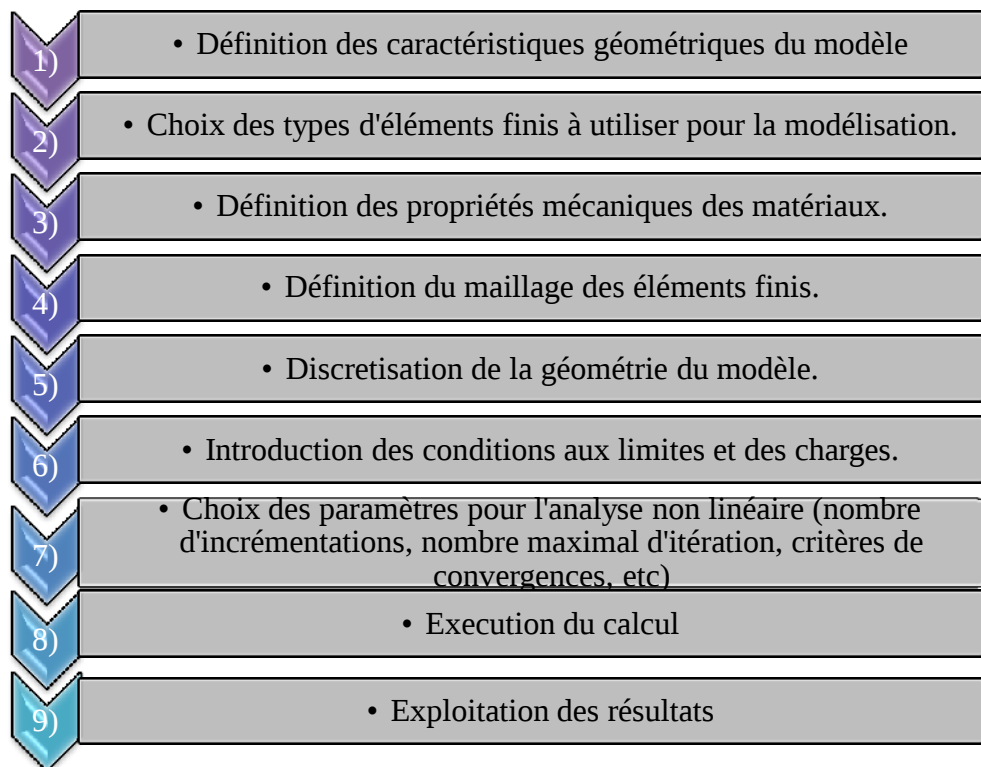


Figure 3-1 : Etapes pour l'élaboration d'un modèle numérique.

III -2 - PRESENTATION DU MODELE :

La structure à modéliser est l'éprouvette de l'essai Push-Out réalisé par J.Trinh (1993) [15] déjà présentée dans la partie expérimentale.

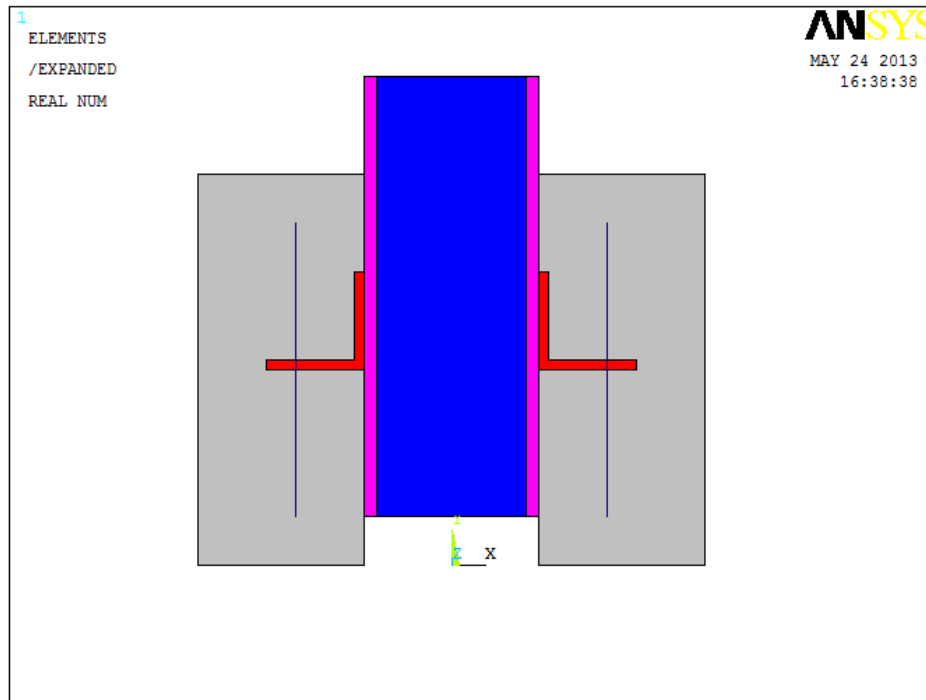


Figure 3-2 : Epreuve d'essai Push-Out à modéliser.

III -2-1 - Symétrie :

En raison du caractère symétrique du dispositif à modéliser, l'étude est réduite à la moitié du modèle uniquement. Ainsi, il est possible d'obtenir un maillage plus fin pour obtenir une meilleure précision.

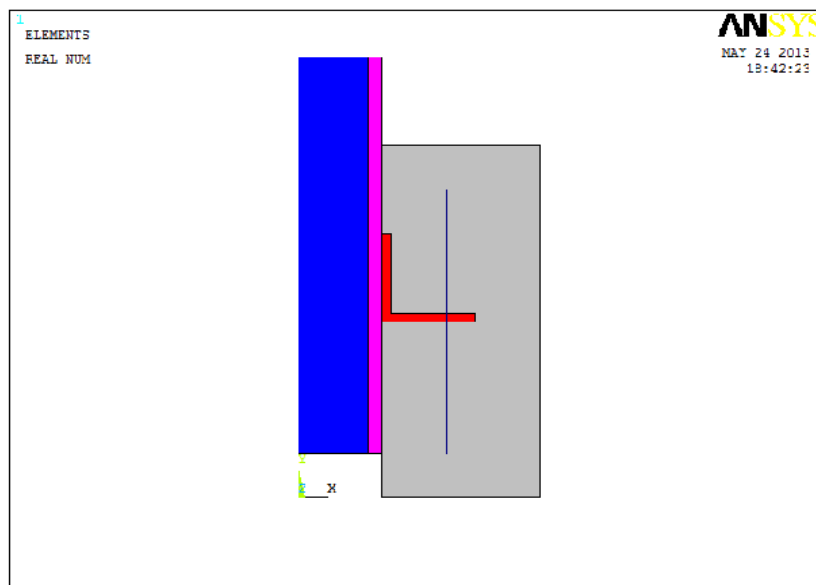


Figure 3-3 : Modèle proposé.

III-2-2 – Eléments finis utilisés :

La modélisation bidimensionnelle est aujourd'hui la plus simple et la plus efficace pour modéliser les poutres mixtes. Les maillages sont faciles à effectuer et les calculs sont rapides car le nombre d'éléments est restreint.

a) Elément plan quadrilatéral « PLANE 42 » :

Dans la modélisation, les blocs de béton, le profil d'acier et la cornière soudée sont discrétisés en éléments plans quadrilatéraux appelés « PLANE 42 », dans le logiciel ANSYS, avec une épaisseur qui correspond à la largeur effective de la dalle pour le béton, ainsi que la largeur et l'épaisseur des pièces métalliques.

L'élément « PLANE 42 » est employé pour la modélisation bidimensionnelle des structures planes. Il est défini par quatre nœuds ayant deux degrés de liberté chacun: translation dans les directions x et y. Etant donné le fait qu'il ne possède que quatre nœuds, il emploie moins de mémoire donc moins de temps pour l'analyser.[8]

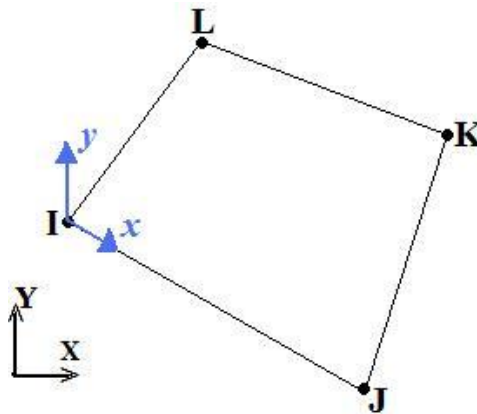


Figure 3-4 : Elément plan quadrilatéral « PLANE 42 ».

b) Elément barre « LINK 1 » :

Le filant ainsi que les barres d'armatures sont discrétisés en éléments barres nommés « LINK 1 ».

Cet élément est employé pour la modélisation bidimensionnelle des éléments barres dans le logiciel ANSYS. C'est un élément uniaxial de traction-compression comportant deux nœuds avec deux degrés de liberté au niveau de chaque nœud : translation suivant la direction des axes x et y [Help de ANSYS v 12]. Comme il est utilisé pour modéliser les armatures et le filant, dans ce cas, son nœud et le nœud du PLANE 42 qui lui est adjacent sont connectés.

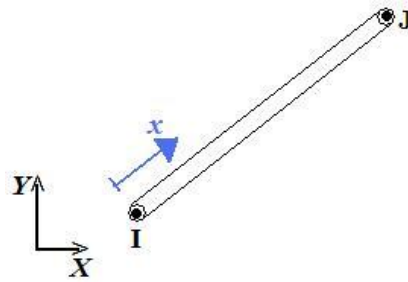


Figure 3-5 : Elément « LINK 1 ».

III-2-3 – Lois de comportement des matériaux :

L'amélioration de la discrétisation de la géométrie réelle du modèle a conduit à une meilleure modélisation du comportement mécanique des matériaux. [30]

a) Béton :

Le modèle utilisé pour le béton est de forme multilinéaire en compression et bilinéaire en traction. La particularité principale du béton est de ne pas présenter le même comportement en compression et en traction ; son comportement à la traction est différent de son comportement en compression à cause de sa faible résistance à la traction. La figure 3.6 présente l'allure de la courbe expérimentale et numérique (contrainte déformation) d'un béton normal ayant une résistance à la compression sur cylindre f_{ck} et une résistance à la traction f_{ct} .

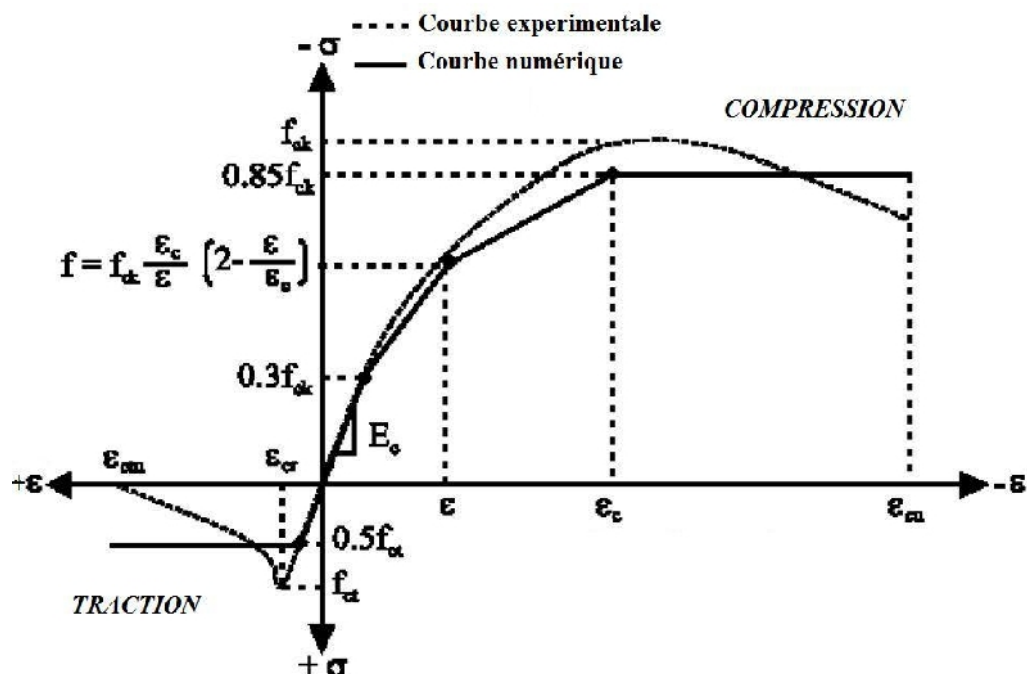


Figure 3-6 : Diagramme contrainte-déformation du béton

ϵ_c : déformation correspondant à la résistance maximale f_{ck} ,

ϵ_{cu} : déformation ultime correspondant à la rupture du béton comprimé,

E_c : module d'élasticité.

Vu le comportement non linéaire du béton, le module d'élasticité doit être interprété comme un module sécant moyen pour de contraintes de courte durée notée E_{cm} . Selon l'Eurocode 2, E_{cm} peut être établi à l'aide de la relation suivante :

$$E_{cm} = 9,5 (f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (3.1)$$

(E_{cm} en KN/mm²; f_{ck} en N/mm²)

b) Acier:

Le modèle utilisé pour l'acier est un modèle élasto-plastique bilinéaire symétrique en traction et en compression comme illustré sur la figure 3.7.

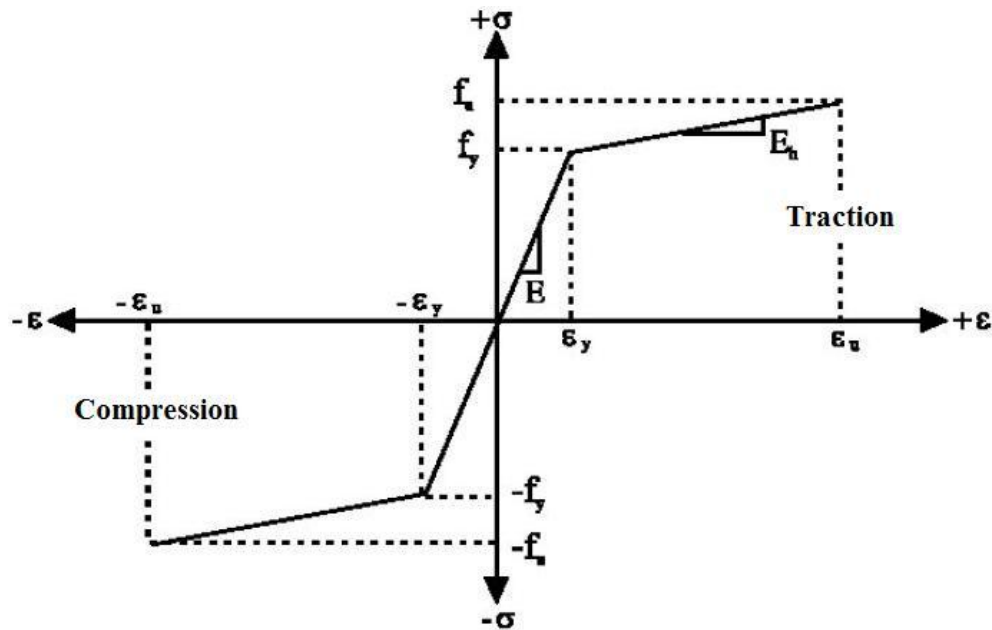


Figure 3-7 : Diagramme bilinéaire de contrainte déformation de l'acier.

E : module d'élasticité,

f_y : Limite d'élasticité de l'acier,

f_u : Résistance ultime en traction et en compression,

ϵ_y : Déformation élastique,

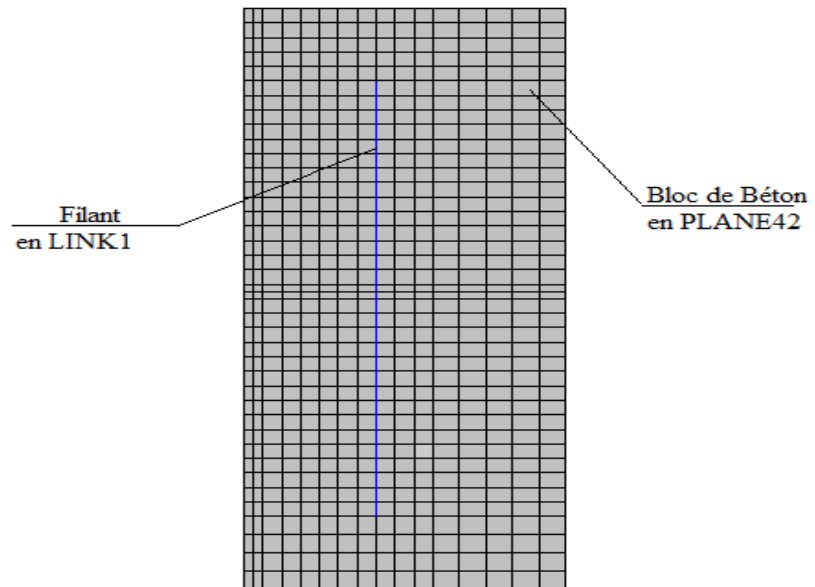
ϵ_u : Déformation ultime en traction et en compression,

E_h : Module d'élasticité caractérisant la considération de l'écrouissage de l'acier.

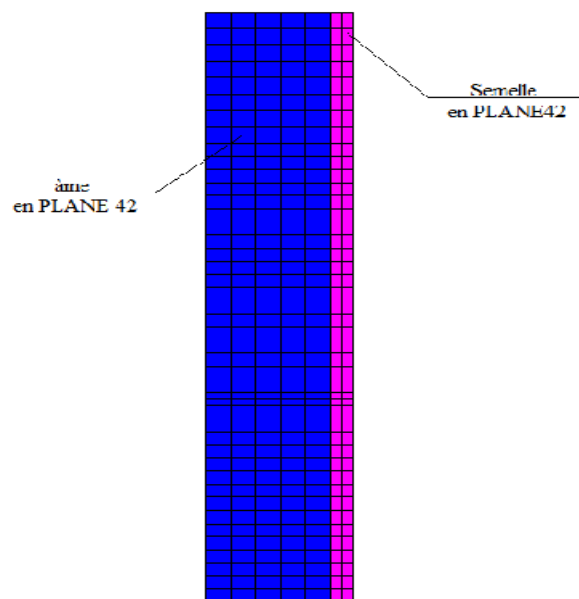
III-2-4- Définition du maillage :

Le modèle est constitué par quatre ensembles d'éléments tels que : les blocs de béton(1), l'acier de construction âme et semelle (2), le connecteur et le filant (3). Le maillage doit reproduire la géométrie de l'éprouvette le plus fidèlement possible.

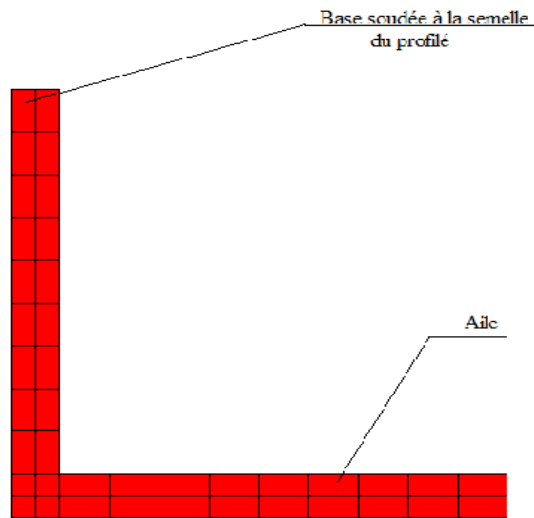
Le degré de raffinement du maillage a été adopté en prenant en considération le temps de calcul et la fidélité du résultat.



(1)



(2)



(3)

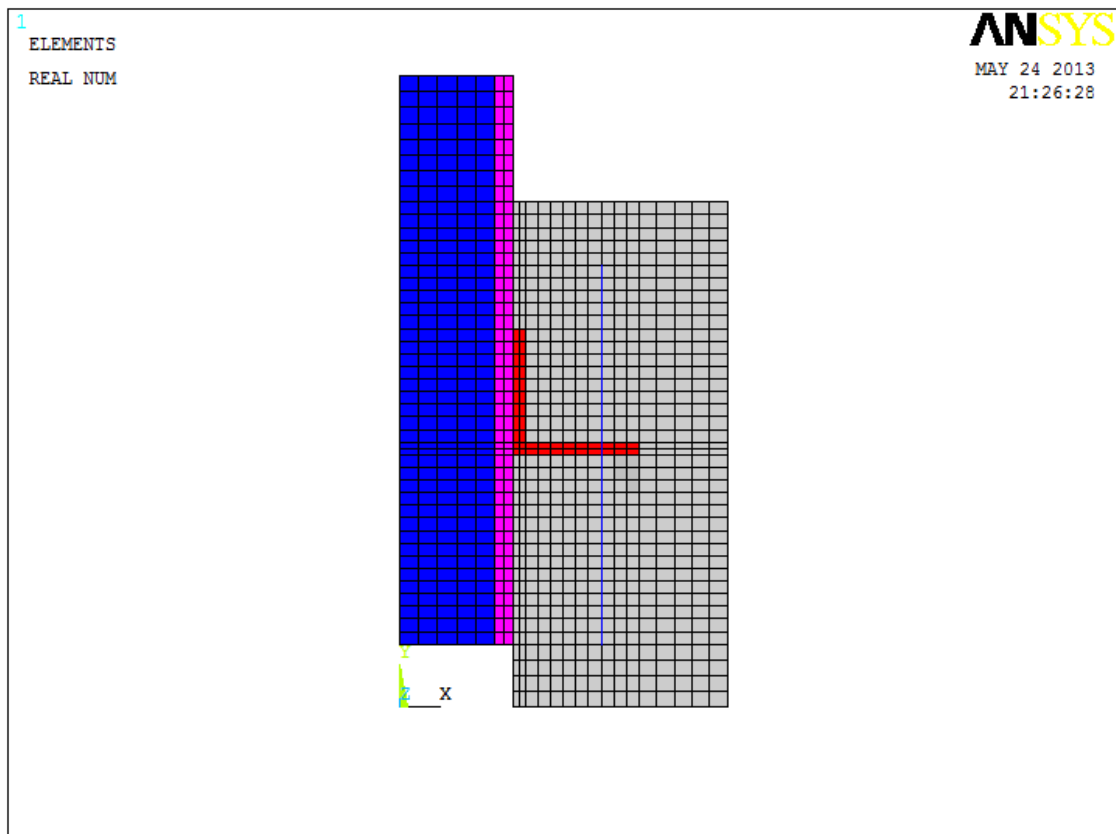
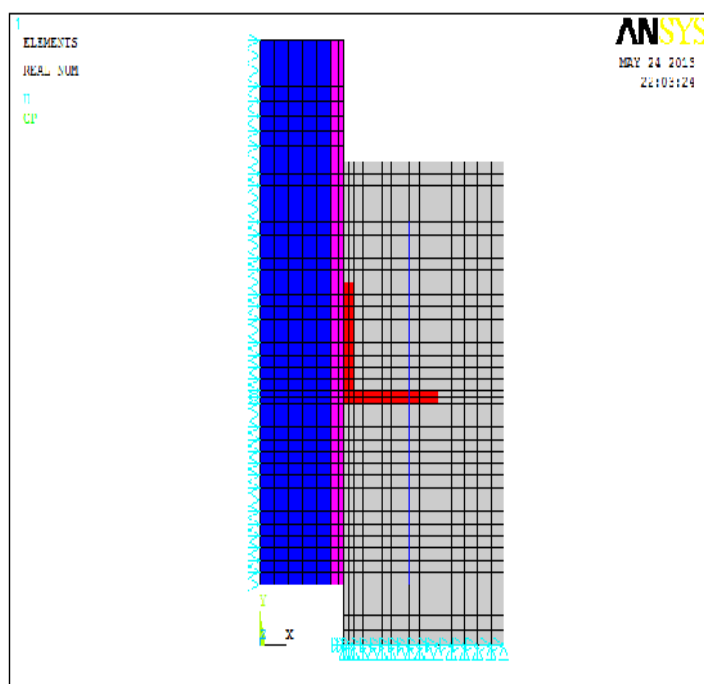


Figure-3-8 : Les différents éléments constituant le Maillage complet du modèle d'essai Push-Out : (1) ; Maillage du bloc de béton, (2) ; Maillage de l'acier de construction, (3) ; Maillage du connecteur en cornière

III-2-5 – Conditions aux limites :**Figure 3-9 : Maillage du modèle avec conditions aux limites.**

Les nœuds à la base du bloc de béton sont bloqués dans les deux directions x et y pour traduire le fait que le bloc de béton repose sur une plateforme.

Par symétrie, on ne représente que la moitié de la structure modélisée, ceci implique que les nœuds du profilé par lesquels passe l'axe de symétrie sont bloqués horizontalement (dans la direction x)

Afin de transmettre les charges de la poutre métallique à la dalle en béton, on fait le couplage des nœuds qui sont situés en coïncidence à l'interface acier-béton. Cet arrangement empêche le chevauchement ou la séparation des nœuds à l'interface de liaison acier-béton tout en permettant leur glissement relatif.

III-2-6 - Application des charges :

La charge est appliquée sur la partie supérieure du profilé comme décrit dans le chapitre précédent. Elle est répartie uniformément sur tous les nœuds de la partie supérieure du profilé.

Le chargement est appliqué par incrémentation, due à la non linéarité. L'incrément du chargement est activé en utilisant une commande de ANSYS appelée : « *Automatic Load Stepping* ».[16]

ANSYS utilise l'approche de Newton-Raphson pour résoudre les problèmes non linéaires, caractérisée par l'actualisation de la matrice de la rigidité de la tangente à chaque itération [16]. Le programme est dirigé pour exécuter plusieurs solutions (*substeps*) pour appliquer la charge

graduellement. À chaque *substep*, le programme exécutera un certain nombre d'itérations pour obtenir une solution convergée.

En outre, à chaque *substep* on peut obtenir un glissement correspondant à la charge appliquée. Par conséquent la courbe de charge/glissement peut être tracée.

III-3- VALIDATION DU MODELE PROPOSE:

En vue de valider le modèle numérique proposé et décrit précédemment, plusieurs modèles avaient été construits et simulés, dont les résultats ont été comparés aux résultats expérimentaux de J. Trinh [15].

Après les expériences de Trinh [15], il a établi des diagrammes charge/glissement, c'est pour cela que le paramètre utilisé pour cette validation est le glissement au niveau de l'interface acier-béton en fonction de l'application du chargement.

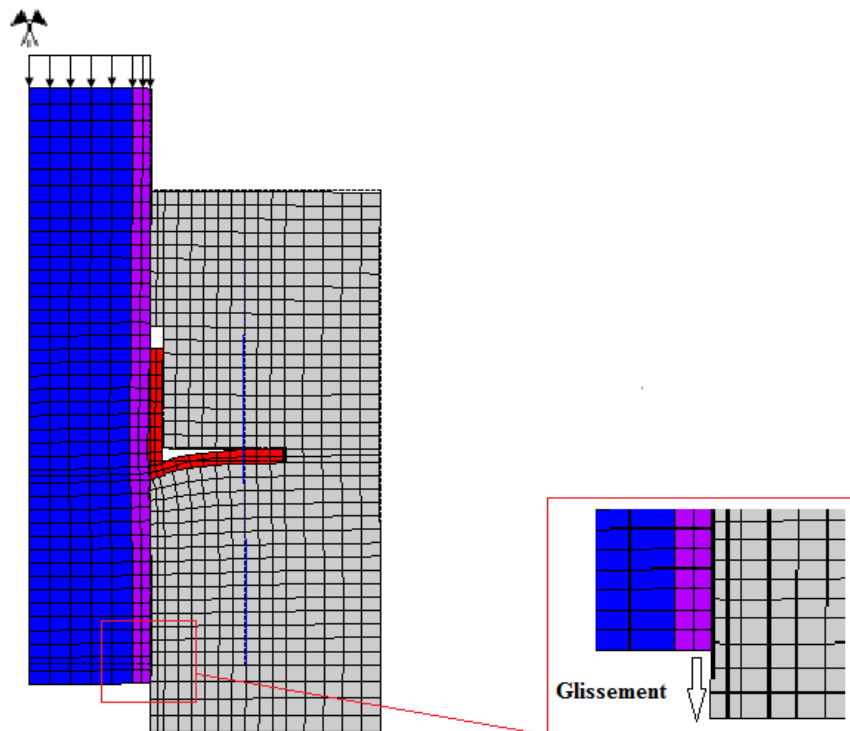


Figure 3-10 : Glissement à l'interface acier-béton.

La figure 3.10 montre le glissement relatif qui se produit à l'interface acier béton mesurée à l'extrémité inférieure du profilé en fonction de la charge appliquée. Il est clair qu'il existe un bon accord entre les valeurs expérimentales et les valeurs numériques.

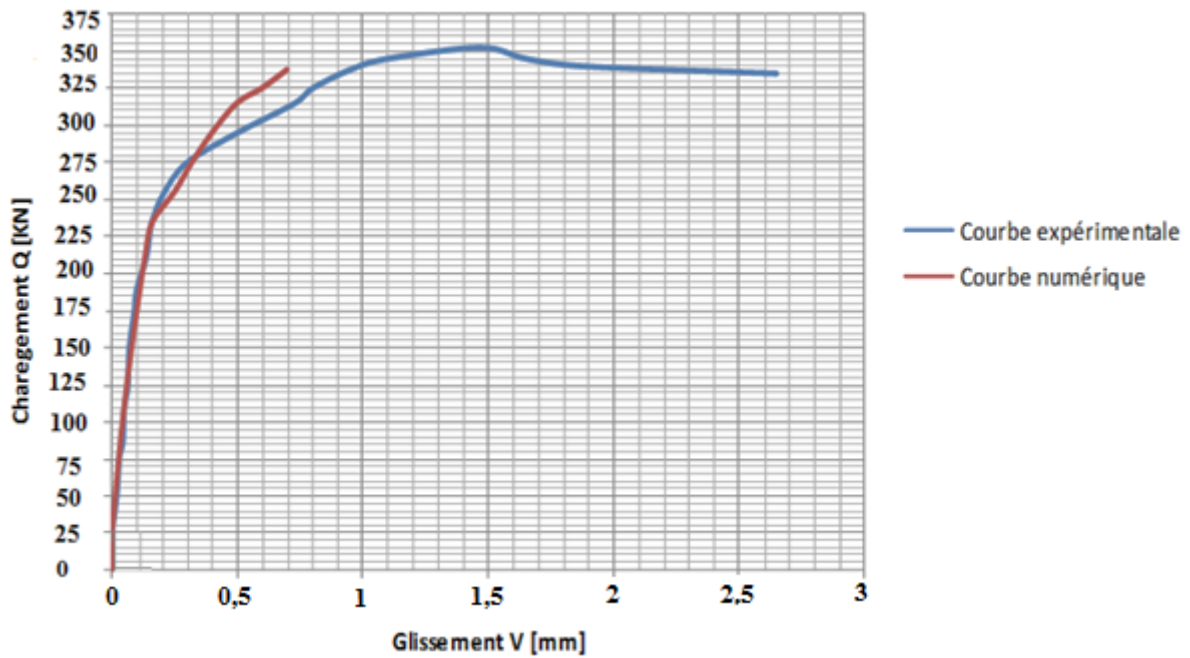


Figure 3-11 : Courbe charge/glissement donnée par un capteur de déplacement placé à l'extrémité inférieure du profilé.

En 1995, M.Rabih [18] a effectué des essais Push-Out sur des connecteurs en cornière et a tiré les observations suivantes :

- A l'avant de la cornière :
 - Une pyramide de concentration des contraintes de compression dans le bloc du béton ; cette pyramide a été effectivement observée lors de la modélisation numérique de notre modèle comme illustrée sur la figure ci-dessous.
 - Ecrasement local du béton comprimé.

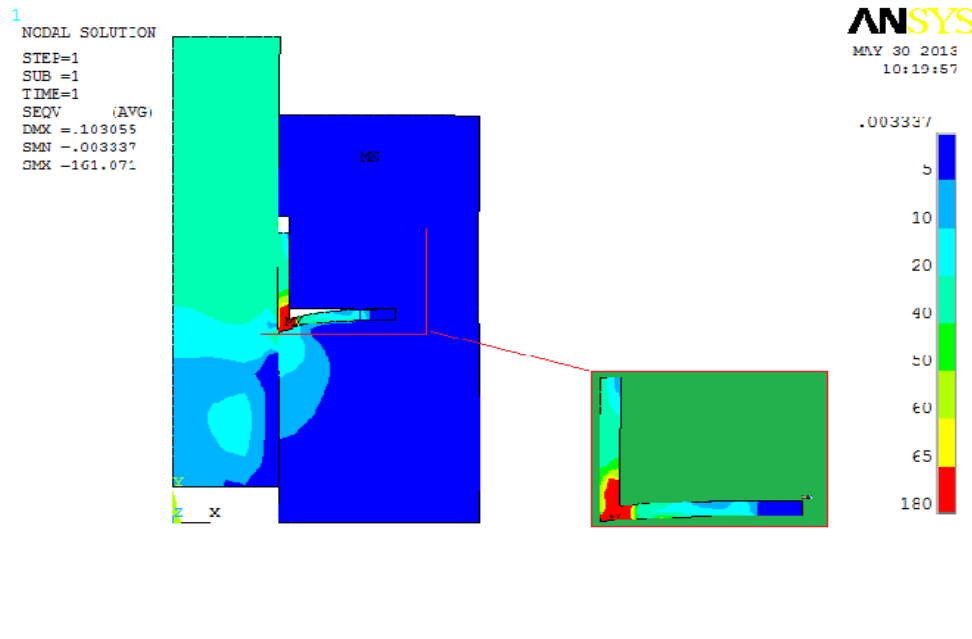


Figure 3-12 : Contraintes de Von Mises : Pyramide de diffusion des efforts.

- A l'arrière de la cornière :
 - Un décollement du béton au droit du congé (cavité vide) [18] comme représenté sur la figure 3.13, ce qui a été également notée lors de la modélisation avec ANSYS
 - Une fissuration délimitant une bielle interne légèrement inclinée [18],
 - Une fissuration horizontale [18].

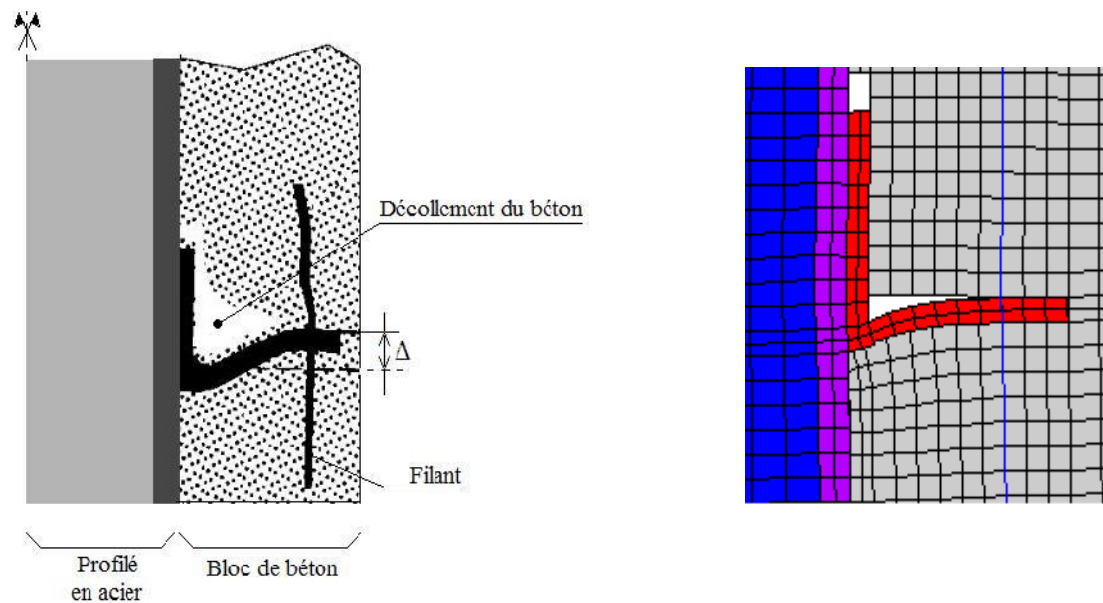


Figure 3-13 : Déplacement et déformation réel des connecteurs en cornière. [18]

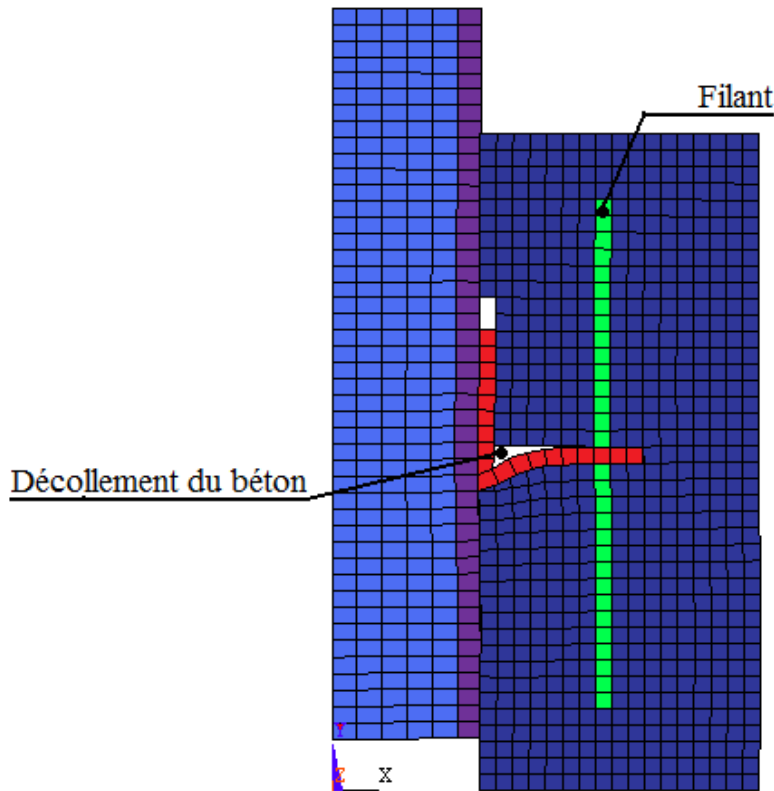


Figure 3-14 : Forme de la déformée : Décollement entre le béton et la cornière dans le modèle numérique.

III-4 – CONCLUSION:

Par le moyen du logiciel ANSYS, un modèle numérique bidimensionnel a été proposé pour simuler le comportement charge-glissement des connecteurs en cornières dans les poutres mixtes acier-béton en se basant sur les travaux de Trinh [15]. Nous avons modélisé la moitié du corps d'épreuve à cause de sa symétrie : le profil d'acier, le bloc en béton ainsi que la cornière en PLANE42 et le filant en LINK1.

La simulation numérique a été effectuée de manière à reproduire le plus fidèlement possible l'essai Push-Out (géométrie, conditions aux limites, lois de comportement des matériaux et mode de chargement). De cela une courbe cisaillement-glissement a été tracée.

Les prédictions du modèle numériques ont été ensuite comparées avec les résultats expérimentaux des essais Push-Out réalisé par Trinh [15]. Cette comparaison donne une excellente correspondance. Le modèle est alors validé.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail de recherche avait pour objectif de présenter l'essai « Push-Out » effectué sur les connecteurs afin de déterminer leur résistance au cisaillement, leurs modes de ruines et leurs lois de comportement (cisaillement-glissement). Le but était de proposer un modèle d'éléments finis pour la simulation du comportement au cisaillement d'un connecteur type « cornière soudée » dans une éprouvette d'essai « *Push-Out* ».

Pour cela, comme point de départ, une large recherche bibliographique a été réalisée, se référant au sujet en question, visant à étudier la connexion acier-béton dans les poutres mixtes à travers les essais standard de cisaillement « *Push-Out Tests* ».

Grâce à cette recherche bibliographique, nous avons pu comprendre que :

- il existe quatre classes de sections mixtes selon leur capacité de rotation et de voilement local éventuel ;
- on distingue deux types d'analyse globale des sections mixtes : l'analyse élastique applicable à toutes les classes de section mixte et l'analyse rigide plastique ;
- les connecteurs, dont leur rôle est primordial car sans eux il n'y a pas de collaboration entre la section en acier et la dalle de béton, peuvent être qualifiés par leur degré de connexion et d'interaction. Cela implique que le calcul de la connexion dans les poutres mixtes de bâtiment et de pont doit être réalisé avec soin (type, nombre et espacement des connecteurs) ;
- ces connecteurs peuvent être ductiles ou rigides selon la capacité de glissement du connecteur concerné ;
- dans le but d'évaluer la résistance ultime au cisaillement, le mode de ruine et la courbe cisaillement-glissement un essai dit « *Push-Out* » peut être envisagé.

Ensuite, un modèle numérique a été proposé afin de simuler l'essai « *Push-Out* » sur des connecteurs en cornière soudée. La simulation a été effectuée, par le moyen du code de calcul ANSYS version 12, de manière à reproduire le plus fidèlement possible cet essai (géométrie, types d'éléments finis : PLANE42 et LINK1, maillage, conditions aux limites, lois de comportement des matériaux et mode de chargement). Une courbe cisaillement/glissement a été

tracée par la suite et le modèle proposé a été validé en comparant cette courbe aux résultats expérimentaux.

PERSPECTIVES

Les recherches présentées dans cette étude touchent à une problématique vaste :

- l'amélioration de la modélisation en modélisation tridimensionnelle permettrait non seulement d'affiner la simulation mais permettrait aussi de faire une étude paramétrique;
- la réalisation des essais expérimentaux « Push-Out » sur les connecteurs ;
- la modélisation d'une poutre mixte de pont dont la connexion est assurée par des cornières soudées afin d'observer son comportement global.
- le béton utilisé dans les poutres mixtes est anisotrope et sa fissuration est souvent inévitable. au lieu d'utiliser un béton ordinaire, on utilise un béton de fibre, il permet de réduire davantage la fissuration du béton. actuellement, il n'y a pas assez de recherches menées dans cette direction, cette voie reste à explorer.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1]: Amit Pashan Saskatoon, Saskatchewan Canada « Behaviour Of Channel Shear Connectors: Push-Out Tests» 2006
- [2] Arcelor: Construction mixte Acier – béton à base de poutrelles laminées.
Arcelor Sections Commercial S.A. 66, rue de Luxembourg.
www.sections.arcelor.com
- [3] : Bouazaoui-l : «contribution à l'étude expérimentale et théorique de structures mixtes acier-béton assemblées par collage» thèse de doctorat université de reims
- [4] CCM 97. 1998. D.T.R.-B.C.-2.44 :«Règles de Conception et de Calcul des Structures Métalliques», Ministère de l'habitat Algérie. Editions O.P.U, Algérie.
- [5] Chien, E.Y.L. And Ritchie, J.K. 1984. Design And Construction Of Composite Floor Systems. Canadian Institute Of Steel Construction, Toronto, Ontario
- [6] Comité Européen De Normalisation (CEN) – EUROCODE 2 : « Calcul des structures en béton – partie1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments », ENV 1992-1-1(DAN) : Norme AFNOR-Décembre1992.
- [7] Delincé D: La construction mixte acier-béton 2e partie : Vérification des états limites de service selon l'Eurocode 4. Les Dossiers du CSTC – Cahier n° 7 – 4^e trimestre 2004 – p1-11
www.staalplaatbetonvloeren.be
- [8] DTR-BC 2.32 Conception et dimensionnement des structures acier-béton. Ministère de l'habitat et de la construction
- [9] EN 1994-1-1-Eurocode 4: « design of composite steel and concrete structures ». Part 1-1
General rules and rules for building: draft N°2, April 2000
- [10] ENV (Version Européenne nationale). 1994-1-1. 1992. Eurocode 4.« Design of composite steel and concrete structures». Pat 1.1: General rules and rules of building. European committee for standardisation.
- [11] Eurocode3. 1992. Calcul des structures en acier, partie 1.1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. ENV 1993-1-1.
- [12] Gustavo Alves Tristão «Comportamento De Conectores De Cisalhamento Em Vigas Mistas Aço-ConcretoCom Análise Da Resposta Numérica» São Carlos 2002
- [13] HELP ANSYS VERSION 12- :«ANSYS user's manual »Swanson Analysis systems Inc.2005

Références bibliographiques

- [14] Hidehiko Abe And Hosaka, T.2002. Flexible Shear Connectors For Railway Composite Girder Bridges. Composite Construction In Steel And Concrete Iv, Asce, February, 71-80
- [15] K.long Jacques TRINH« Connexion acier-béton. Influence de force transversale,1993»
- [16] KOTINDA, T. I. « Modelagem numérica de vigas mistas aço-concreto simplesmente apoiadas: ênfase ao estudo da interface laje-viga ». Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 116 p., São Carlos, 2006.
- [17] Loubna bouazaoui «contribution a l'étude expérimentale et théorique de Structures Mixtes Acier-Béton Assemblées Par Collage»
- [18] Mahmoud RABIH comportement et modélisation d'un connecteur en (corniere) d'une construction acier-béton
- [19] Manfred A. Hirt , Michel Crisinel (2000) «**Traité de Génie Civil** ,Charpentes Métalliques, volume11 ,Juillet 2000.
- [20] Manfred A HIRT. Rolf Bez (1996) « Trait génie civil, construction métallique volume 10 ,1996 .
- [21] MARCELA DE ARRUDA FABRIZZI Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço – concreto
- [22] Mimoune A.,; Slip measurement at the steel - concrete interface in push-outs tests. Application of Codes, Design and Regulations. pp. 119 – 125. Thomas Telford Publishing 2005. ISBN : 0 7277 3403 2. London
- [23] Newmark K. -“Tests And Analysis Of Composite Beams With Incomplete Interaction”. Proceeding, Society For Experimental Stress Analysis, 9, N° 1, Pp.75-92, 1951.
- [24] par Jean-Marie ARIBERT « Construction mixte acier-béton ;Calcul des poutres mixtes». Professeur des universités, Directeur du Laboratoire de mécanique des structures à l'INSA de Rennes, Conseiller scientifique au CTICM, Rédacteur de l'Eurocode 4 - Partie 1-1
- [25] Rachid-h« etude de la performance des poteaux mixtes acier-beton sous differentes sollicitations». magister 2008 universite mentouri constantine
- [26] Slimani Rachid, «Etude et caracterisation des Assemblages mixtes de type poutre-poteau selon l'EUROCODE4-2007»
- [27] Structural steelwork eurocodes development of atres-national approach (s.s.e.d.t.a).

Références bibliographiques

s.s.e.d.t.a-2 final version2000

[28] Tebbakh bachir ,«analyse expérimentale de la connexion acier-béton dans les structures mixtes-2011».

[29] Thomann M.,: Connexions par adhérence pour les ponts mixtes acier-béton .Thèse N° 3381 (2005) Lausanne, Suisse

[30] TITOU M., TEHAMI M., ACHOUR B., ET JASPART J.:«Analysis of semis-continuous composite beams with partial shear connection using 2-D Finite Element Approach». Asian Journal of Applied Sciences, 2008.

[31] Trouillet P. - “Comportement Local De Connecteurs Acier/Beton Sollicites Au Cisaillement Etude Bibliographique”. Rapports Des Laboratoires, Série : Ouvrages D’art Oa-3, 1987.

[32] Veldanda, M.R., And Hosain, M.U. 1992. Behavior Of Perfobond Rib Shear Connectors In Composite Beams: Push-Out Tests. Canadian Journal Of Civil Engineering, Volume 19, Number 1, Pp. 1-10.

[33] Zellner, W. 1987. Recent Designs Of Composite Bridges And A New Type OfShear Connectors. Proceedings Of The Asce/Iabse Engineering Foundation Conference On Composite Construction, Henniker, New Hampshire, June 7-12, 240-252.