Chapitre 3 : Modélisation par éléments finis de l'essai Push-out

Introduction :

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/glissement. La validation du modèle proposé sera effectuée à l'aide des résultats expérimentaux en comparant les courbes charge-glissement.

III. 1 - Etapes de la modélisation numériques

Le développement du modèle numérique se compose essentiellement de certaines étapes, qui seront énumérées ci-dessous. Il est à noter que chaque étape dépend de celle qui la précède.

1. • ***Définition des caractéristiques géométriques du modèle.***
2. • ***Choix des types d'éléments finis à utiliser pour la modélisation.***
3. • ***Définition des propriétés mécaniques des matériaux.***
4. • ***Définition du maillage des éléments finis.***
5. • ***Discrétisation de la géométrie du modèle.***
6. • ***Introduction des conditions aux limites et des charges.***
7. • ***Choix des paramètres pour l'analyse non linéaire (nombres d'incrémentation, nombre maximal d'itérations, critères de convergences, etc.)***
8. • ***Exécution du calcul.***
9. • ***Exploitation des résultats.***

III. 2 - Présentation du modèle :

La structure à modéliser est l'éprouvette de l'essai de push-out sur un connecteur en cornière soudé.

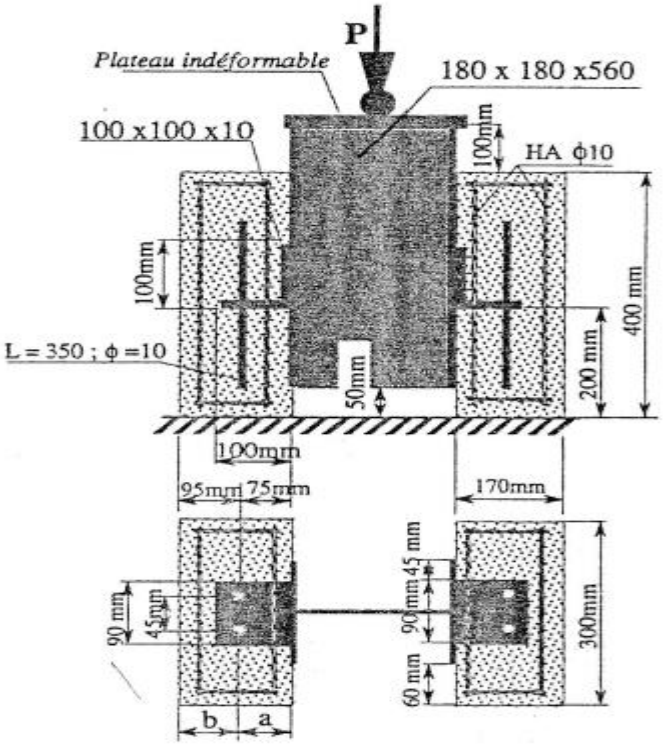
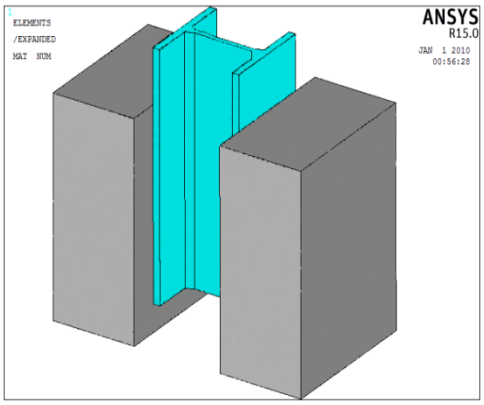


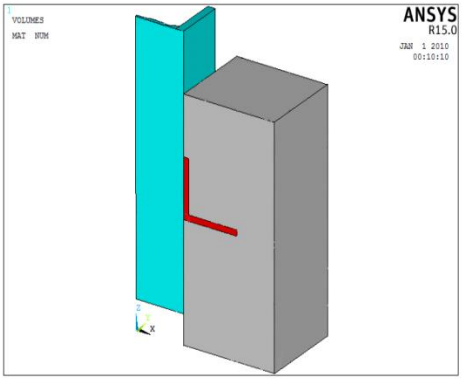
Fig.3.1 - Éprouvette d'essai push-out à modéliser.

III. 2. 1 - symétrie :

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



a. Le modèle typique pour le test push-out expérimental



b. Le modèle utilisé pour la simulation numérique

III. 2. 2 - Eléments finis utilisés :

Le code de calcul ANSYS possède une vaste bibliothèque d'éléments finis permettant à l'utilisateur d'outils qui peuvent l'aider à résoudre des différents problèmes. La modélisation tridimensionnelle est la plus efficace pour modéliser notre structure. Ce type de modélisation est d'ailleurs très utile dans le domaine de construction car il permet de visualiser en 3 dimensions des éléments qui ne sont pas visibles à l'œil nu.

a. Elément SOLID65 :

SOLID65 est utilisé pour la modélisation en 3D de matières solides, avec ou sans renfort barres (barres d'armature). Le solide est capable de fissuration en traction et à l'écrasement en compression. Dans des applications concrètes, par exemple, la capacité de l'élément solide peut être utilisée pour modéliser le béton alors que la capacité de barres d'armature est disponible pour la modélisation du comportement de renforcement.
D'autres cas pour lesquels l'élément est également applicable seraient les composites renforcées (tels que la fibre de verre), et des matériaux géologiques (tels que la roche).
L'élément est défini par huit nœuds ayant trois degrés de liberté à chaque nœud : translations dans les directions x, y et z.
L'aspect le plus important de cet élément est le traitement de propriétés des matériaux non linéaires.
Le béton est capable de fissuration (dans trois directions orthogonales), le broyage, la déformation plastique, et le fluage.

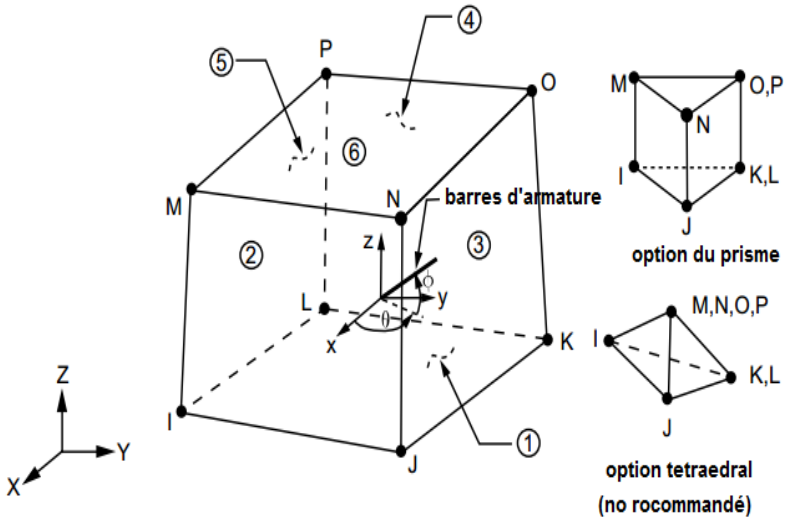


Fig.3.2 - Géométrie de SOLID65. [12]

b. Elément SOLID45 :

Le SOLID45 a été utilisé pour les plaques en acier, le profil d'acier et le connecteur. L'élément est utilisé pour la Modélisation 3 -D des structures solides. L'élément est défini par huit nœuds ayant trois degrés de liberté à chacun des directions x, y, et z.

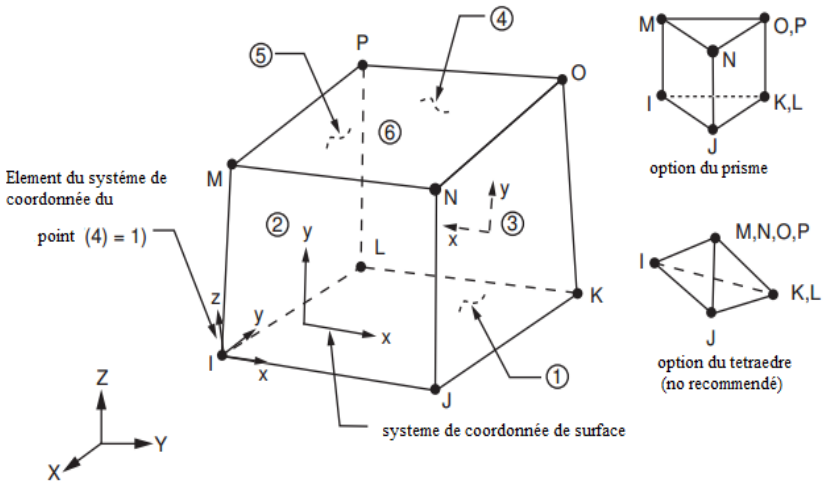


Fig.3.3 - Géométrie de SOLID45. [12]

c. Elément LINK8 :

LINK8 est un élément qui peut être utilisé dans une variété d'applications d'ingénierie. Cet élément peut être utilisé pour modéliser les fermes, les câbles tombants, des liens, des ressorts, etc.

Le longeron 3D élément est un élément de traction- compression uni axiale à trois degrés de liberté à chaque nœud : translations suivant les directions x, y et z.

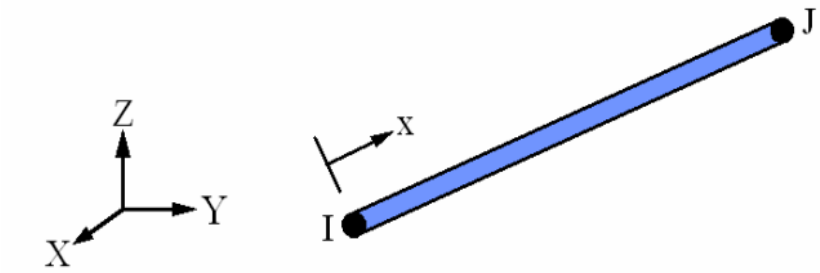


Fig.3.4 - Géométrie de LINK8. [1]

d. Elément CONTA173 et TARGET170

A trois dimensions non linéaire de surface à surface " contact paire " élément (CONTA- 173 & TARGE170) a été utilisé pour modéliser le comportement non linéaire de l'interface surface entre le béton et poutres en acier.

Le contact paire se compose du contact entre deux limites, l'une des limites représente un contact, glissé et déformable a la surface prise comme surface de contact (CONTA- 173 dans ANSYS) et l'autre représente la surface rigide considéré comme une surface cible.

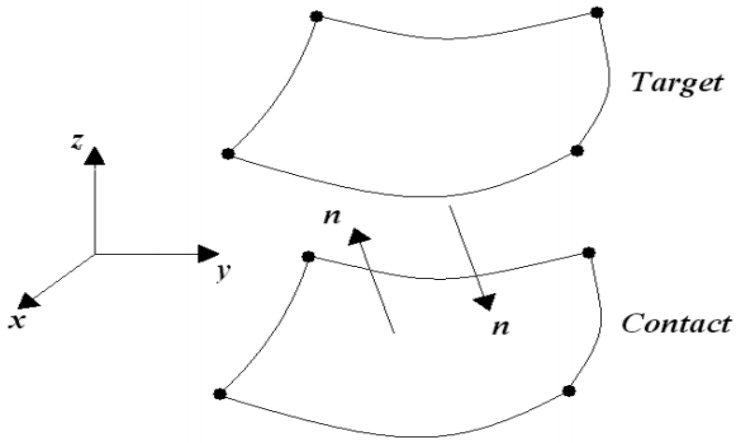


Fig.3.5 - Géométrie de CONTA173 et TARGET170

e. **Elément BEAM189** :

BEAM189 est un élément quadratique en trois dimensions. Il peut être utilisé avec une section transversale qui a été définie en utilisant l'outil BEAM.

Il est basée sur la théorie des poutres Timoshenko , qui est une théorie de cisaillement - déformation de premier ordre : la déformation transversale de cisaillement est constante à travers la section transversale

C'est un élément uni axial avec traction, compression, et les capacités de flexion. Et comporte trois degrés de liberté au niveau de chaque nœud.

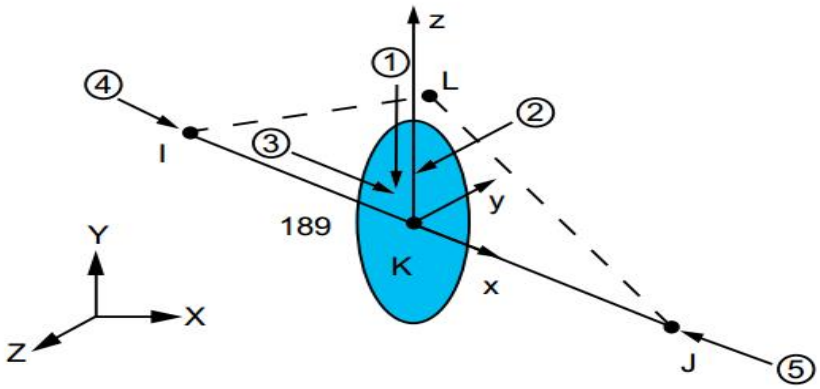


Fig.3.6- Géométrie de BEAM189. [1]

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.

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 (Fig.3.7) 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}.

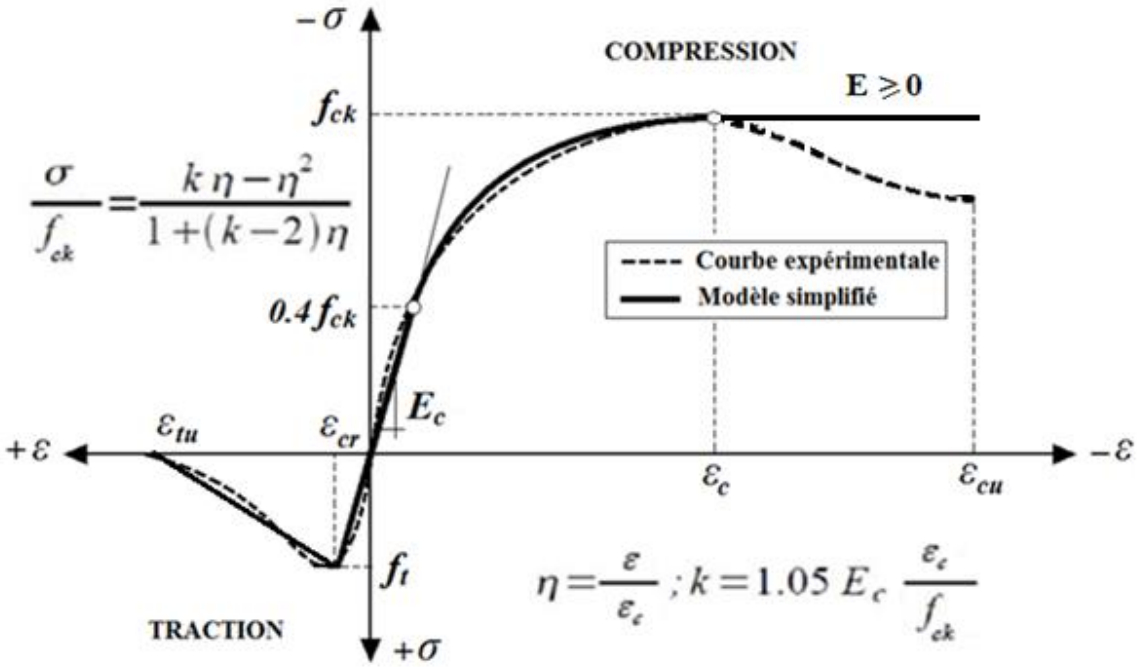


Fig.3.7 - Diagramme contrainte-déformation du béton [17]

ε_c: Déformation correspondant à la résistance maximalef_{ck},
ε_{cu}: Déformation ultime correspondant à la rupture du béton comprimé,
E_c: Module d'élasticité.
V_u : 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 :

$$E_{cm} = 22000[(f_{ck} + 8)/10]^{1/3} \qquad (3.1)$$

$$\frac{\sigma}{f_{ck}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k-2)\eta} \qquad (3.2)$$

Avec : (E_{cm} en N/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 Fig.3.8.

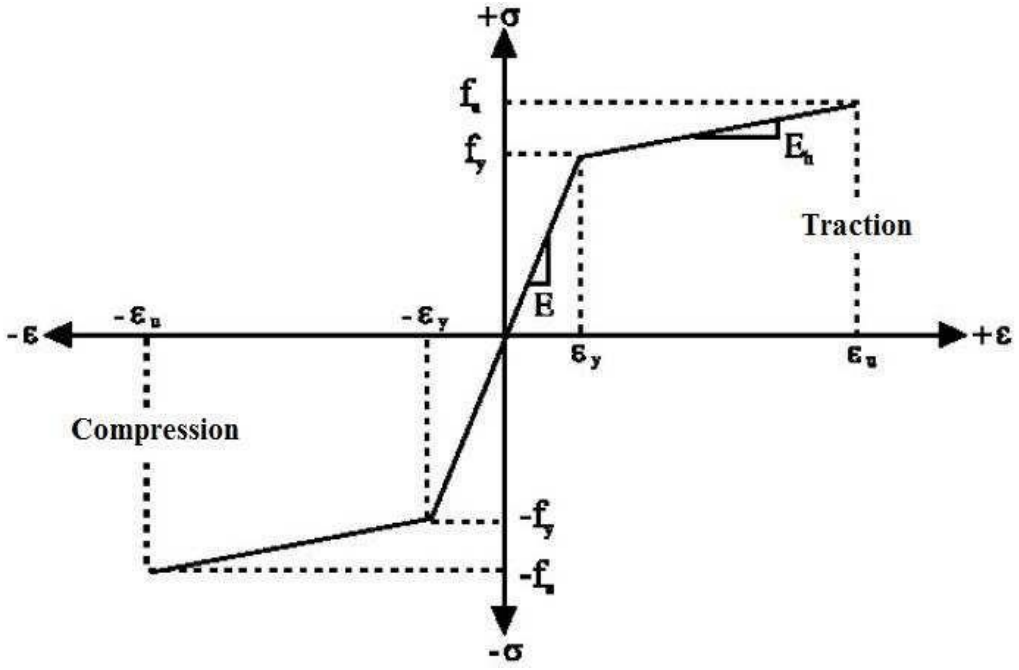


Fig.3.8 - Diagramme bilinéaire de contrainte déformation de l'acier. [17]

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_a : 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, l'acier de construction (âme et semelle), le connecteur et la paire de contact. 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 , la fidélité du résultat et aussi en le choisissant fin au niveau du connecteur, et devient de plus en plus grossier en s'éloignant de celui-ci.

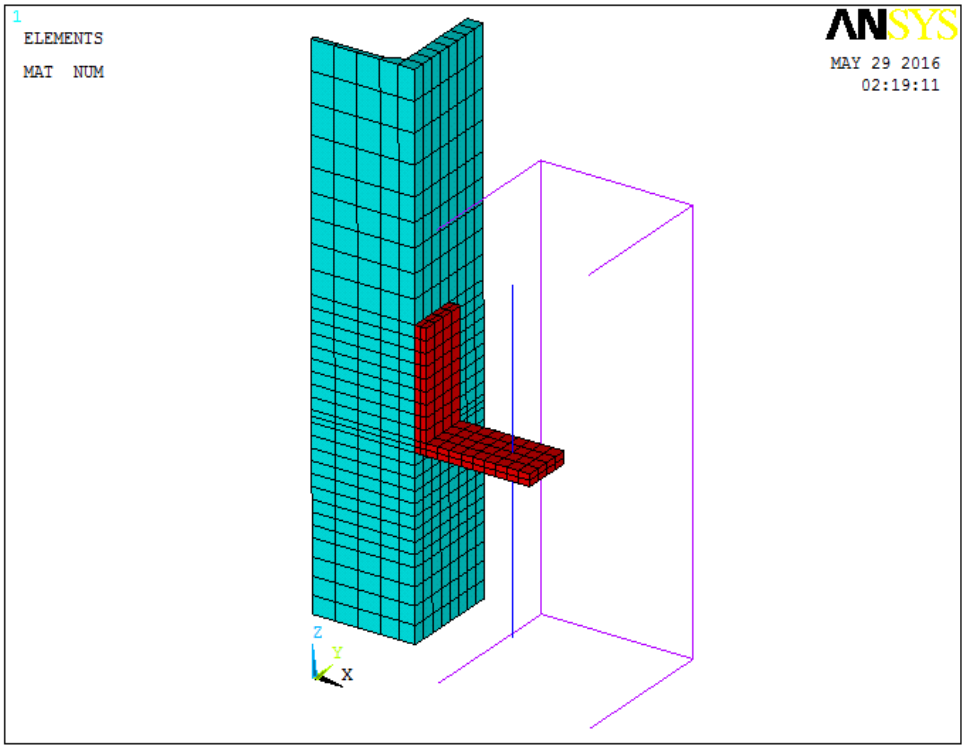


Fig.3.9 - Maillage de l'acier de construction HEB 180, du connecteur en cornière soudé et du filant plus les armatures.

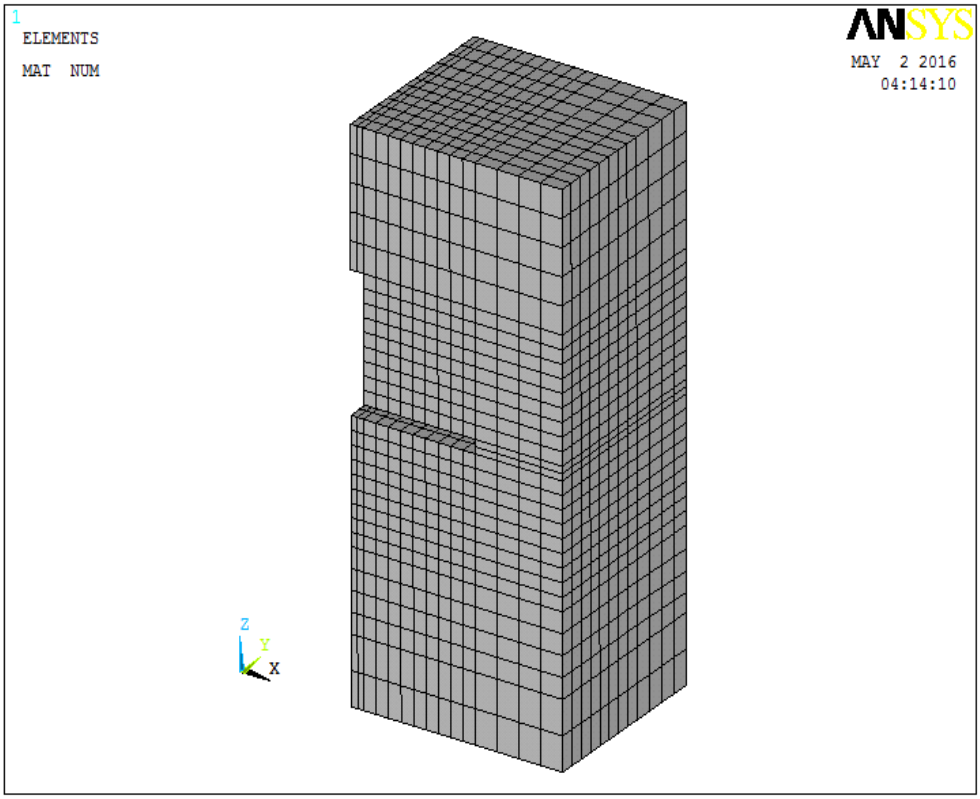


Fig.3.10 - Maillage du bloc de béton.

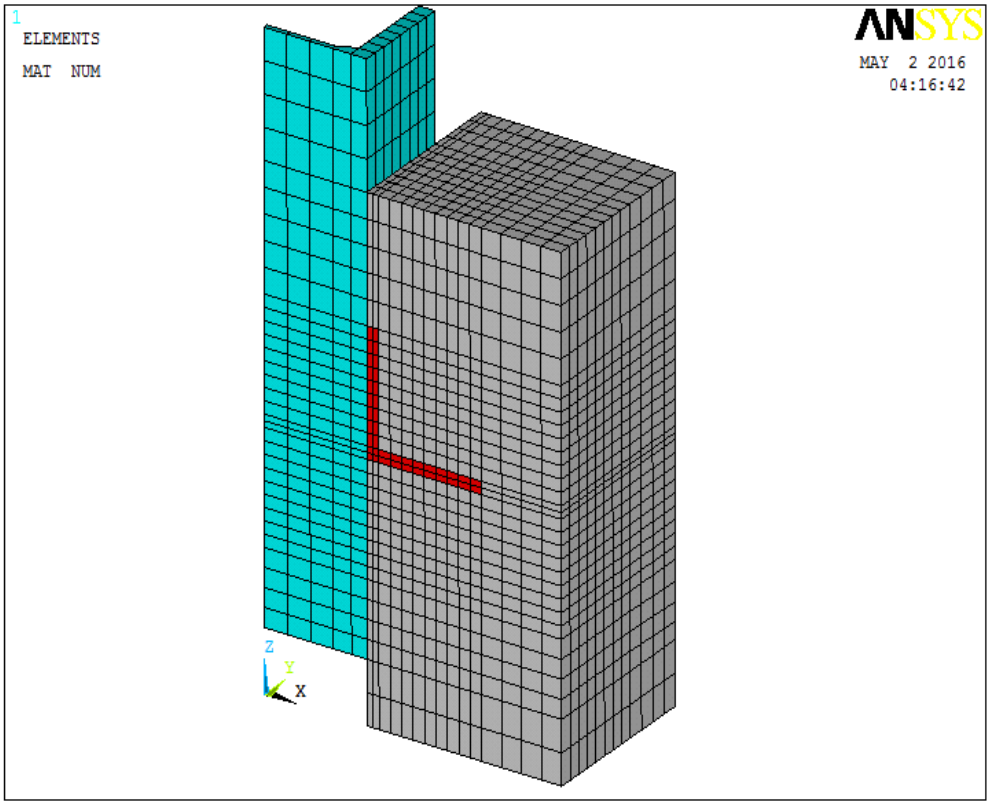


Fig.3.11 - Maillage complet du quart du modèle d'essai ≪Push-Out≫.

III. 2. 5 - Conditions aux limites :

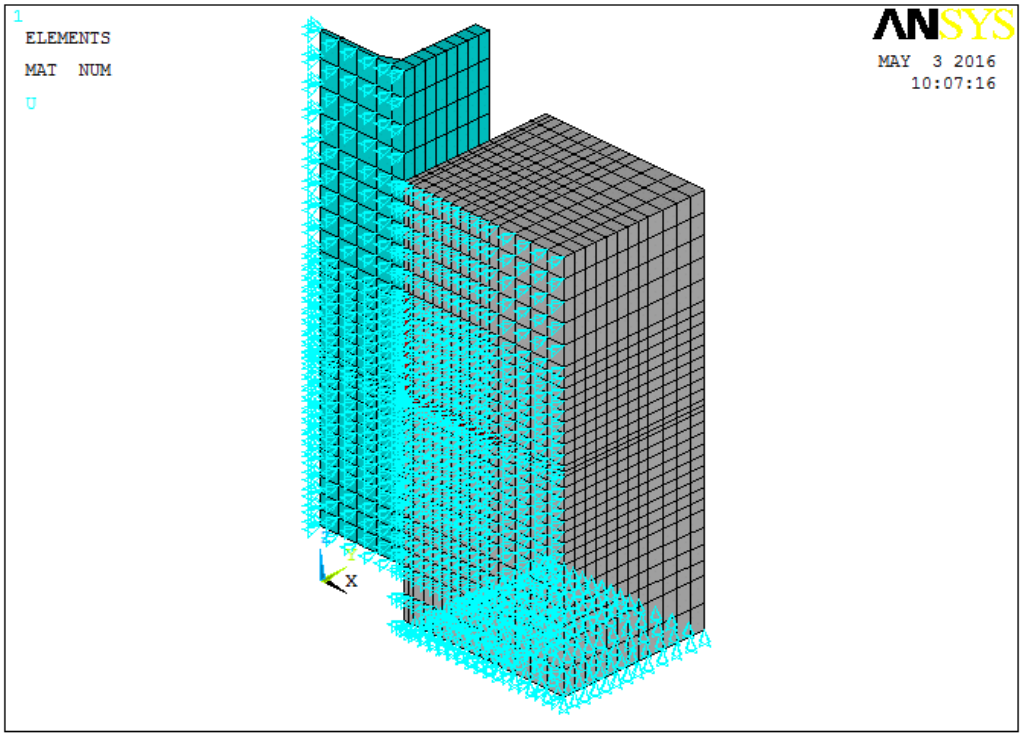


Fig.3.12 - Maillage du modèle avec conditions aux limites.

Les nœuds à la base du bloc de béton sont bloqués dans la direction de z pour traduire le fait que le bloc de béton repose sur une plateforme.
Par symétrie, on ne représente que le quart 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) et les nœuds qui passe dans le plan de symétrie (xoz) sont bloqués dans la direction y

III. 2. 6 - Application des charges :

La charge est appliquée sur la partie supérieure du profilé comme décrit dans le chapitre précédent. Elle est repartie 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 ».[13]
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 [13].
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.

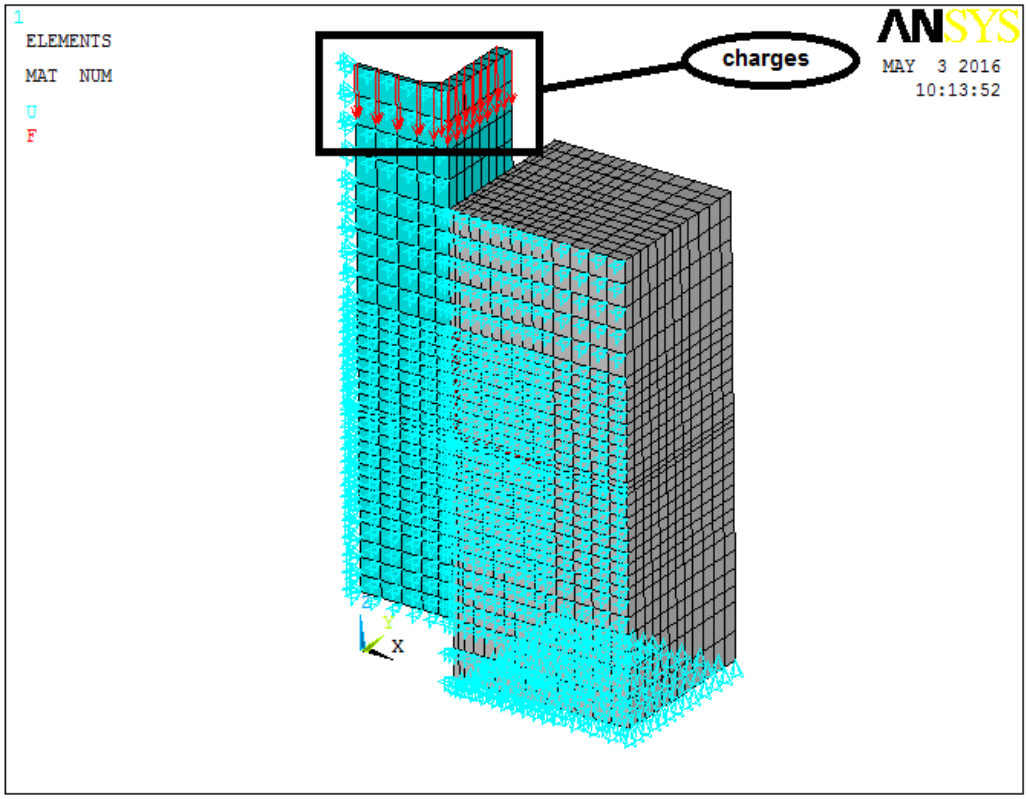


Fig.3.13 - Maillage du modèle avec conditions aux limites et applications des charges.

III. 3 - Validation modéle proposé:

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 Michel GUEURY et Mahmoud RABIH [15]. Après les expériences de Michel GUEURY et Mahmoud RABIH [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.

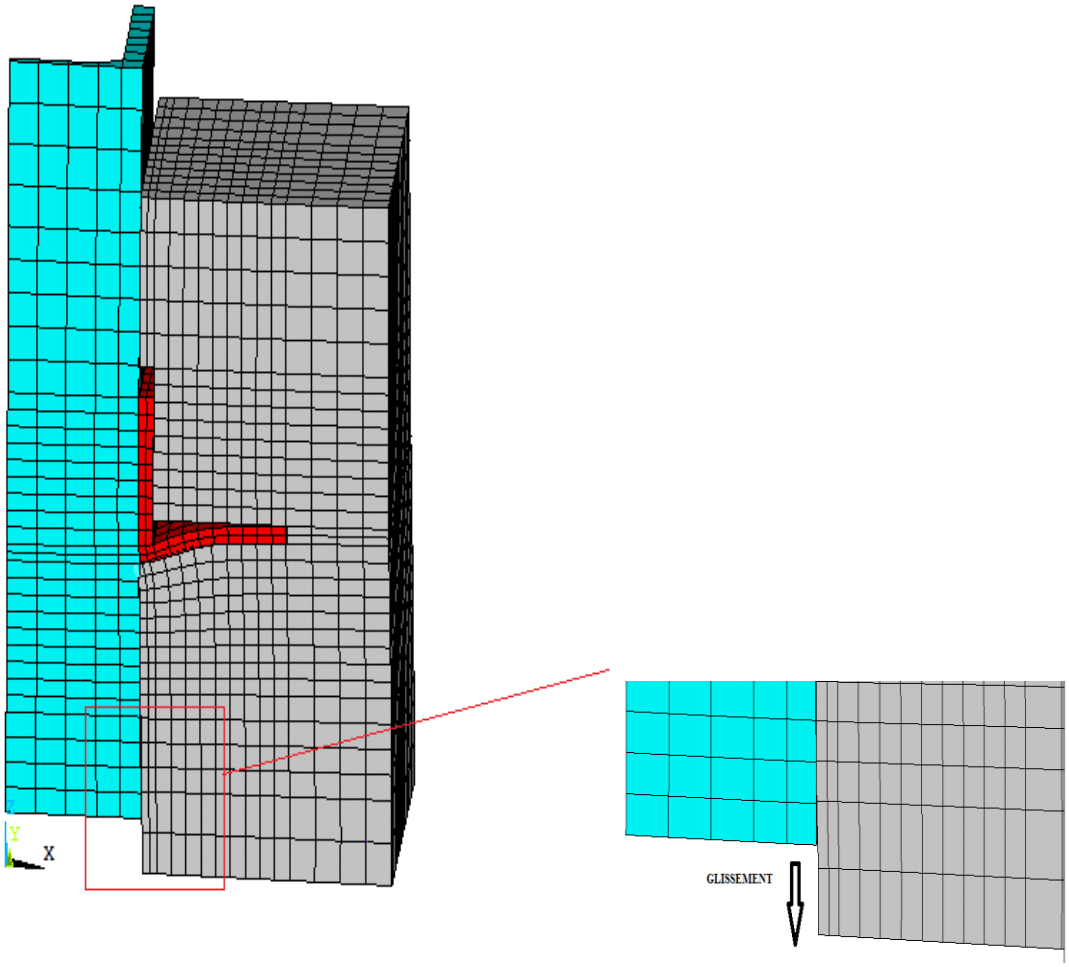


Fig.3.14 - Glissement à l'interface acier-béton.

La Fig.3.14 – 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 ya un bon accord entre les résultats expérimentaux et la simulation numérique.

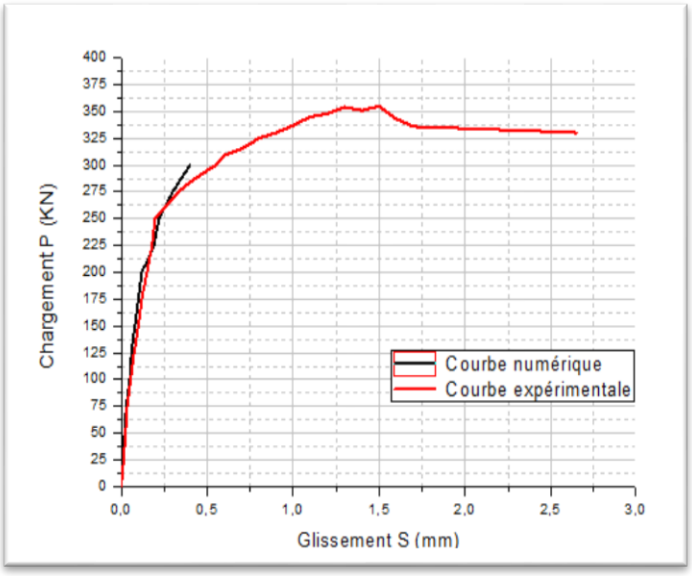


Fig.3.15 - Courbe charge/glissement donnée par un capteur de déplacement.

En 1995, M.rabih [15] 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 de 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

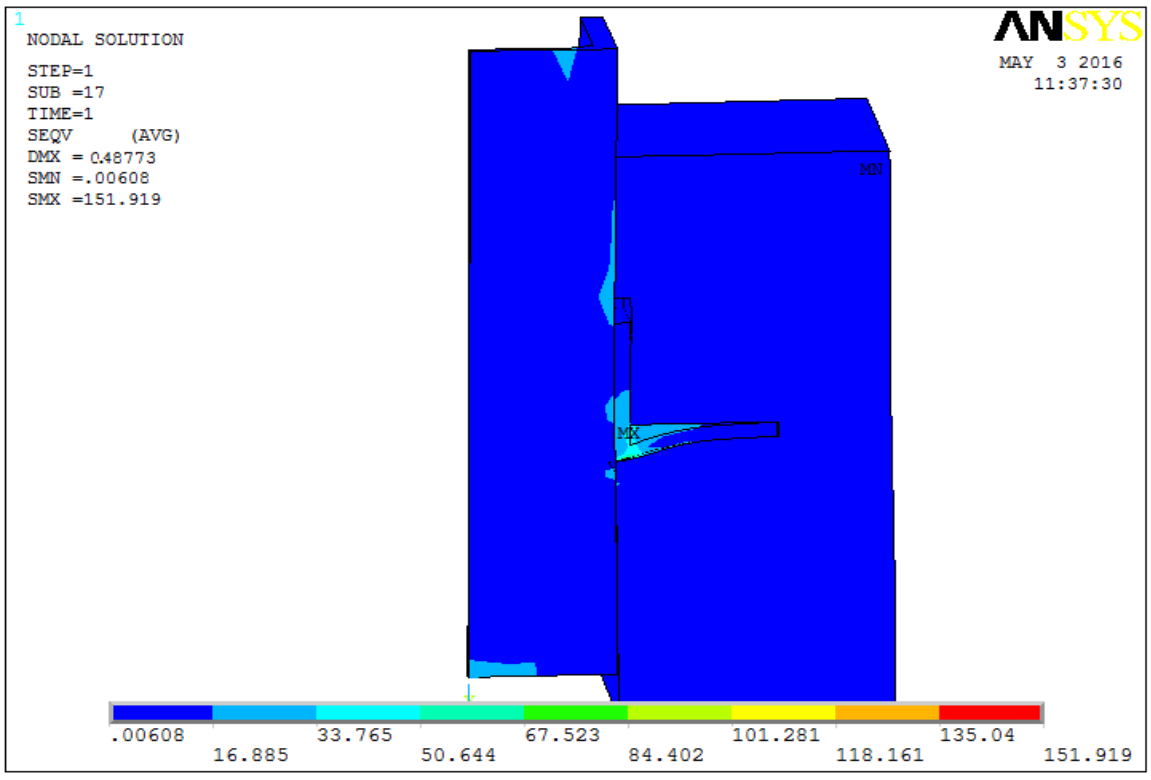


Fig.3.16 - Contraintes de Von Mises : Pyramide de diffusion des efforts.

- A l'arrière de la cornière :
  - Un décollement du béton au droit du congé (cavité vide) [15] comme représenté sur la figure 3.17, ce qui a été également notée lors de la modélisation avec ANSYS
  - Une fissuration délimitant une bielle interne légèrement inclinée [15],
  - Une fissuration horizontale [15].

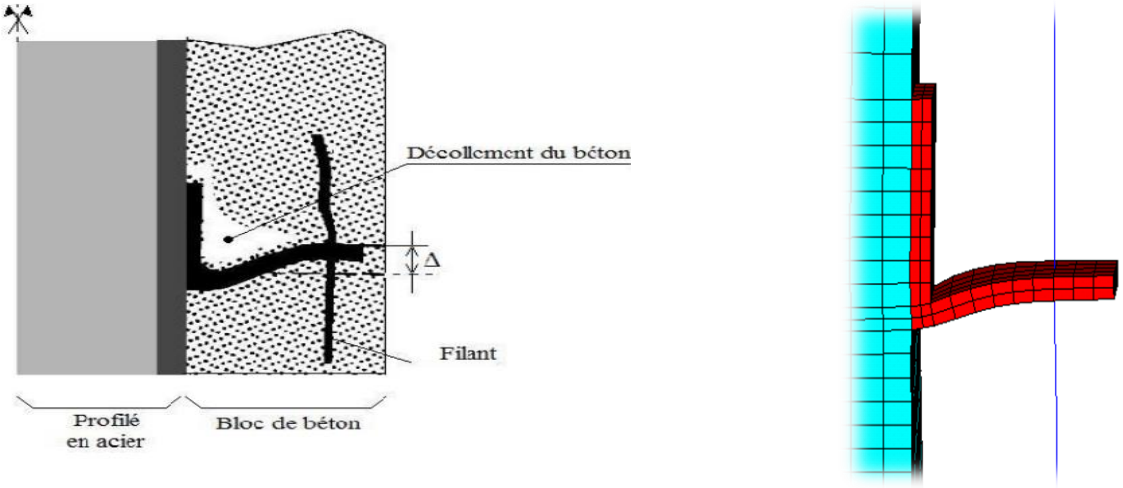


Fig.3.17 - Déplacement et déformation réel des connecteurs en cornière. [15]

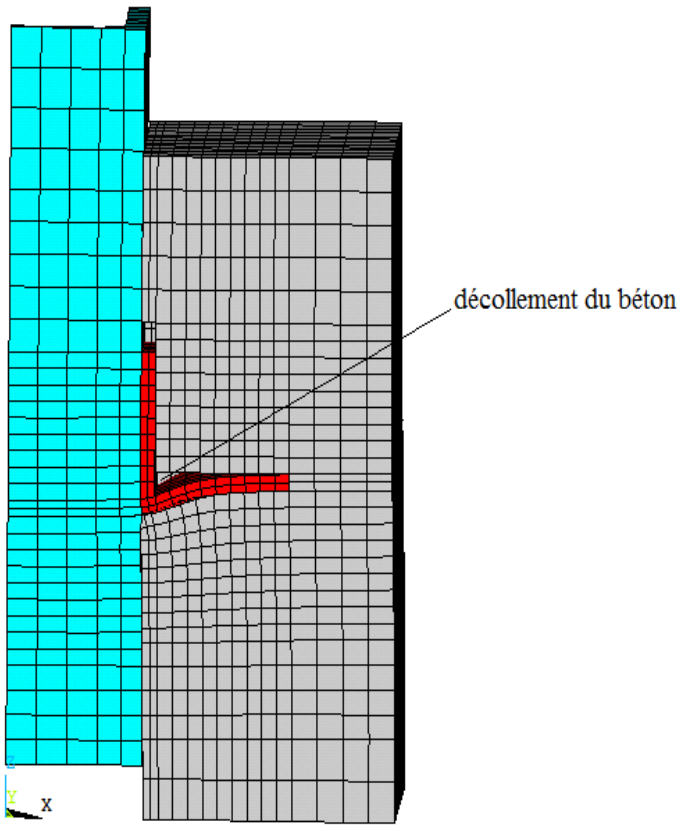


Fig.3.18 - Forme de la déformée : Décollement entre le béton et la cornière dans le modèle numérique.

III-4 – CONCLUSION:

Par le moyen du logiciel ANSYS, un modèle numérique tridimensionnel a été proposé pour simuler le comportement charge-glissement des connecteurs en cornières dans des spécimens de push-out en se basant sur les travaux de Michel GUEURY et Mahmoud RABIH [15]. Nous avons modélisé le quart du corps d'épreuve à cause de sa symétrie : le profil d'acier, la cornière en SOLID45, le bloc du béton en SOLID65, les barres d'armatures en LINK8, et le filant en BEAM189. 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 Michel GUEURY et Mahmoud RABIH [15]. Cette comparaison donne une excellente correspondance. Le modèle est alors validé.