

Printed from

Journal of Scientific Research

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>

La Fiabilité de l'Utilisation des Elements Finis Type Joint pour la Modélisation d'Adherence Acier-Béton.

Khelifi Naima, Hamouine Abdelmadjid, Mokeddem Youssef et Keddouci Taibia

Faculté des Sciences et Technologie Université de Bechar

Email : khelifi.naima@yahoo.fr

Published on 10 July 2013

The Editor, on behalf of the Editorial Board and Reviewers, has great pleasure in presenting this number of the Journal of Scientific Research. This journal (ISSN 2170-1237) is a periodic and multidisciplinary journal, published by the University of Bechar. This journal is located at the interface of research journals, and the vulgarization journals in the field of scientific research. It publishes quality articles in the domain of basic and applied sciences, technologies and humanities sciences, where the main objective is to coordinate and disseminate scientific and technical information relating to various disciplines.

The research articles and the development must be original and contribute innovative, helping in the development of new and advanced technologies, like the studies that have concrete ideas which are of primary interest in mastering a contemporary scientific concepts. These articles can be written in Arabic, French or English. They will not be published in another journal or under review elsewhere. The target readership is composed especially of engineers and technicians, teachers, researchers, scholars, consultants, companies, university lab, teaching techniques and literary ... The journal is obtainable in electronic form, which is available worldwide on the Internet and can be accessed at the journal URL:

<http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>.

Director of Journal
Pr. BELGHACHI Abderrahmane

Editor in Chief
Dr. HASNI Abdelhafi d

Co-Editor in Chief
Dr. BASSOU Abdesselam

Editorial Member

TERFAYA Nazihe
BOUIDA Ahmed
LATFAOUI Mohieddine
MOSTADI Siham

Reviewers board of the Journal.

Pr. KADRY SEIFEDINE (The American University in KUWAIT)
Pr. RAZZAQ GHUMMAN Abdul (Al Qassim University KSA)
Pr. PK. MD. MOTIUR RAHMAN (University of Dhaka Bangladesh)
Pr. MAHMOOD GHAZAW Yousry (Al Qassim University KSA)
Pr. KHENOUS Houari Boumediene (King Khalid University KSA)
Pr. RAOUS Michel (Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Pr. RATAN Y. Borse (M S G College Malegaon Camp India)
Pr. LEBON Frédéric (University of Aix-Marseille 1 France)
Pr. MONGI Ben Ouédou (National Engineering School of Tunis)
Pr. BOUKELIF Ouéd (University of Sidi Bel Abbes Algeria)
Pr. DJORDJEVICH Alexander (University of Hong Kong)
Pr. BENABBASSI Abdelhakem (University of Bechar Algeria)
Pr. BOULARD Thierry (National Institute of Agronomic Research France)
Pr. LUCA Varani (University of Montpellier France)
Pr. NEBBOU Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FELLAH Zine El Abidine Laboratory of Mechanic and Acoustic France)
Dr. ZHEN Gao (University of Ontario Institute of Technology Canada)
Dr. OUERDACHI Lahbassi (University of Annaba Algeria)
Dr. HADJ ABDELKADER Hicham (IBISC – University of Evry France)
Dr. KARRAY M'HAMED ALI (National Engineering School of Tunis)
Dr. ALLAL Mohammed Amine (University of Tlemcen Algeria)
Dr. FOUCHAL Fazia (GEMH - University of Limoges France)
Dr. TORRES Jeremi (University of Montpellier 2 France)
Dr. CHANDRAKANT Govindrao Dighavka (L. V. H. College of Panchavati India)
Dr. ABID Chérifa (Polytech' University of Aix-Marseille France)
Dr. HAMMADI Fodil (University of Bechar Algeria)
Dr. LABBACI Boudjema (University of Bechar Algeria)
Dr. DJERMANE Mohammed (University of Bechar Algeria)
Dr. BENSAFI Abd-El-Hamid (University of Tlemcen)
Dr. BENBACHIR Maamar (University of Bechar Algeria)

Pr. BALBINOT Alexandre (Federal University of Rio Grande do Sul Brazil)
Pr. TEHIRICHI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Pr. JAIN GOTAN (Materials Research Lab., A.C.S. College, Nandgaon India)
Pr. SAIDANE Abdelkader (ENSET Oran Algeria)
Pr. DI GIAMBERARDINO Paolo (University of Rome « La Sapienza » Italy)
Pr. SENGOUGA Nouredine (University of Biskra Algeria)
Pr. CHERITI Abdelkarim (University of Bechar Algeria)
Pr. MEDALE Marc (University of Aix-Marseille France)
Pr. HELMAOUI Abderrachid (University of Bechar Algeria)
Pr. HAMOUINE Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Pr. DRAOUI Belkacem (University of Bechar Algeria)
Pr. BELGHACHI Abderrahmane (University of Bechar Algeria)
Pr. SHAILENDHRA Karthikeyan (AMRITA School of Engineering India)
Pr. BURAK Barutcu (University of Istanbul Turkey)
Pr. LAOUFI Abdallah (University of Bechar Algeria)
Dr. SELLAM Mebrouk (University of Bechar Algeria)
Dr. ABDUL RAHIM Ruzairi (University Technology of Malaysia)
Dr. BELBOUKHARI Nasser (University of Bechar Algeria)
Dr. CHIKR EL MEZOUAR Zouaoui (University of Bechar Algeria)
Dr. BENACHAIBA Chellali (University of Bechar Algeria)
Dr. KAMECHE Mohamed (Centre des Techniques Spatiales, Oran Algeria)
Dr. MERAD Lotfi (Ecole Préparatoire en Sciences et Techniques Tlemcen Algeria)
Dr. BASSOU Abdesselam (University of Bechar Algeria)
Dr. ABOU-BEKR Nabil (University of Tlemcen Algeria)
Dr. BOUNOUA Abdennacer (University of Sidi bel abbes Algeria)
Dr. TAMALI Mohamed (University of Bechar Algeria)
Dr. FAZALUL RAHIMAN Mohd Hafiz (University of Malaysia)
Dr. ABDELAZIZ Yazid (University of Bechar Algeria)
Dr. BERGA Abdelmadjid (University of Bechar Algeria)
Dr. Rachid KHALFAOUI (University of Bechar Algeria)
Dr. SANJAY KHER Sanjay (Raja Ramanna Centre for Advanced Technology INDIA)

Journal of Scientific Research

P.O.Box 417 route de Kenadsa
08000 Bechar - ALGERIA
Tel: +213 (0) 49 81 90 24
Fax: +213 (0) 49 81 52 44

Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com
Submission mail: submission.bechar@gmail.com
Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>



La Fiabilité de l'Utilisation des Éléments Finis Type Joint pour la Modélisation d'Adhérence Acier-Béton.

Khelifi Naima, Hamouine Abdelmadjid, Mokeddem Youssef et Keddouci Taibia

¹khelifi.naima@yahoo.fr ²ahamouine@hotmail.com

³youssefmy@live.fr ⁴keddouci_t@yahoo.fr

Faculté des Sciences et Technologie Université de Bechar

Résumé – Cet article porte sur la modélisation du phénomène d'adhérence entre acier et béton, en utilisant la méthode des éléments finis par l'intermédiaire du code de modélisation numérique CASTEM2000, une comparaison entre simulations numériques et résultats expérimentaux a permis de mettre en évidence les points positifs de la modélisation actuelle de la liaison acier-béton. Et nous avons analysé l'influence de la contrainte du béton sur la liaison acier-béton.

Mots clés : Béton armé ; adhérence, contrainte, glissement, CASTEM 2000

I. Introduction

Le béton armé résulte de l'association des deux matériaux les plus utilisés en construction : le béton et l'acier. Le principe fondamental du béton armé réside dans la capacité de transmission des efforts du béton à l'acier et vice versa. La résistance d'un élément de structure en béton armé dépend principalement de la résistance à la fissuration au sein de la structure. Elle est conditionnée non seulement par les caractéristiques mécaniques de l'acier et du béton mais aussi de l'interface acier-béton.

L'efficacité du béton armé est également influencée par la liaison entre le béton et les barres d'armature. Cependant, la charge externe est très rarement appliquée directement à l'acier d'armature; elle est habituellement transmise du béton vers l'acier, ce transfert des efforts se fait selon trois mécanismes associés à trois types de liens d'après ACI (1992) [3]:

1-une adhésion d'origine chimique.

2-un mécanisme de frottement.

3-une action mécanique créée par la présence des crénelures dans la barre sur le béton avoisinant.

L'étude de l'interface a conduit au développement d'expérimentations sur des échantillons en béton armé afin de caractériser localement et globalement le comportement de la liaison, cette liaison d'adhérence s'exprime en deux aspects [5]:

A- L'adhérence –ancrage qui désigne l'ensemble des phénomènes en rapport avec la résistance de la liaison, on distingue trois principaux groupes d'essai: essai de descèlement, essai d'arrachement par traction et autre par flexion.

B- L'adhérence -fissuration qui concerne le développement du réseau de fissures, s'exprime par l'essai tirant.

II. Modélisation

Les structures en béton armé sont classiquement analysées d'une façon conservatrice en considérant une adhérence parfaite entre les deux matériaux ; mais dès qu'il y'a un transfert de charge ; il y'a une incompatibilité des déformations, qui doit être exprimée par un glissement relatif entre surface. Dans ce cas, le béton est déjà fissuré ; Quant'à la simulation de la liaison par éléments finis, la formulation la plus répandue se fait par l'un des deux approches :

1- modifier la loi de comportement d'un des deux matériaux, en général la loi de comportement de l'acier .Alors que le schéma rhéologique d'un élément en béton armé fissuré est constitué par: acier modifié par adhérence et zone de béton intègre traversé par des fissures qui transmettent à leur tours les efforts par l'effet d'engrènement ou l'effet de goujon.

2- identifier le rôle de la liaison ; alors que l'acier reste intègre. Quant à la simulation de cette liaison par éléments finis, les formulations les plus répandues sont en premier ; l'utilisation des éléments de type joint "bond link element", et en deuxième ; l'adoption d'une loi locale dans les éléments au voisinage de l'acier "Bond zone element".

L'essai choisi à étudier dans ce travail concerne l'aspect de l'adhérence –ancrage, la base de données introduite dans le calcul est inspiré du travail expérimental au niveau du laboratoire de structure de

L'INSA à Toulouse, c'est un essai sur cylindre contient une barre d'acier au milieu afin de l'arracher, la barre est sollicitée par un déplacement imposé de vitesse: 30mm/min.

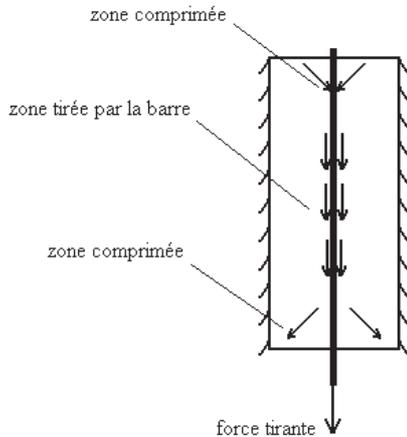


Figure1: distribution des efforts dans l'éprouvette

III. Introduction des données sur CASTEM et résultats:

Un modèle de comportement d'interface a été proposé en utilisant le modèle joint couplé avec un modèle d'endommagement de Mazars du béton; la symétrie du modèle expérimental était en faveur de l'étude en deux dimensions, simulé en contrainte plane : PLAN CONT.

Le maillage adopté pour la discrétisation est réalisé avec des éléments tri3 pour le béton, des éléments seg2 pour l'acier et des éléments joi2 pour l'interface.

Les propriétés des matériaux ainsi celle des éléments de type joint sont:

Le béton :

Le modèle d'endommagement de Mazars reste le plus fiable et le plus utilisé pour modéliser le comportement du béton [1]. Pour la discrétisation, le maillage adopté est réalisé avec des éléments (tri3). Le modèle comporte en plus des paramètres élastiques E et ν , des paramètres pour l'endommagement, qui peuvent s'identifier facilement à partir des caractéristiques géométriques et mécaniques.

Ces caractéristiques physiques sont comme suit :

Module de Young = $3.05 \cdot 10^{10}$ Pa (N/m²).

Coefficient de poisson = 0.2.

Poids volumique = 2500 kg/m³

Résistance du béton en compression $f_c = 25.10^6$ N/m²

Résistance du béton en traction $f_t = 2.28 \cdot 10^6$ N/m²

Déformation correspondant à f_c : $d_f = 2 \cdot 10^{-3}$

KTR0 = $8.19672 \cdot 10^{-5}$. ATRA = 1.0833.

BTRA = $2.08334 \cdot 10^4$.

ACOM = 0.85599 BCOM = 2357.0

L'acier :

Le maillage adopté est réalisé avec des éléments (seg2), accompagné avec le modèle élasto-plastique simplifié de PINTO MENEGOTTO ACIER_UNI [1].

La barre d'acier possède les caractéristiques suivantes :

Contrainte de plasticité STSY = $602 \cdot 10^6$ N/m²

Déformation de début d'écroutissage EPSH = 2%

Contrainte ultime STSU = $709 \cdot 10^6$ N/m²

Déformation ultime EPSU = 20%

Diamètre = 16 mm.

Module de Young = $1.98 \cdot 10^{11}$ Pa (N/m²)

Coefficient de poisson = 0.3

Poids volumique = 7850 kg/m³

L'interface :

L'interface acier béton est réalisé avec des éléments (joi2) d'épaisseur $e = 1$ mm (voir figure 2). La matrice de comportement associée à cet élément est de la forme:

$$d = \begin{bmatrix} K_s & 0 \\ 0 & K_n \end{bmatrix} \quad (01)$$

Raideur élastique tangentielle (N/m³)

$$K_s = \frac{E_b}{(2(1 + \nu_b))e} \quad (02)$$

Raideur élastique normale (N/m³)

$$K_n = \frac{E_b}{e} \quad (03)$$

Avec : E_b : le module de Young du béton.

ν_b : Le coefficient de Poisson du béton.

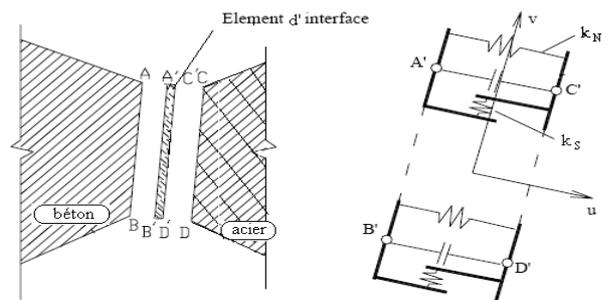


Figure 2 : détail de l'élément d'interface choisi

IV. Mode de rupture [1]:

A la ruine, les échantillons restent intacts dans le cas des barres lisses, l'armature étant extraite sans difficulté du bloc de béton. L'écrasement en compression diagonale de ce bloc permet de le couper en deux suivant un plan méridien et d'observer le faciès de l'interface d'adhérence qui reste net, le béton ayant été seulement décollé de la barre.

Dans le cas des barres de haute adhérence, un cône de béton reste solidaire de l'armature à son extrémité chargée, se détachant ainsi du bloc de béton.

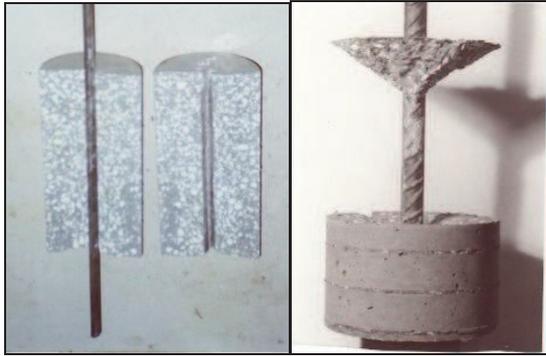


Figure 3: mode de rupture [2]

V. La courbe: contraintes d'adhérence – glissement [4] :

La liaison est caractérisée par une réponse non linéaire, Cette loi de caractère local, sera formulée en termes de contraintes –glissement, dans la direction tangentielle, repérée par rapport à l'axe longitudinal de la barre d'acier.

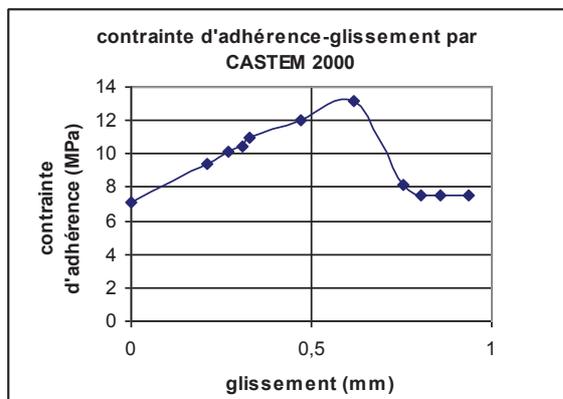


Figure 4 : contraintes d'adhérence en fonction de glissement

La courbe présente un comportement croissant jusqu'au pic désignant la contrainte maximale suivi d'une branche descendante qui le stabilisera vers un frottement quasiment constant entre acier et béton caractérisé par une contrainte d'interface fixe qui montre le frottement entre les deux matériaux.

La conformité des résultats numériques par CASTEM est cohérente vis-à-vis des résultats expérimentaux lorsqu'il s'agit de petit glissement. Les résultats tirés sont résumés dans le tableau:

Résultats	Contrainte d'adhérence maximale (MPa)	La force d'arrachement (KN)
Expérimentaux	12.5	62.83
CASTEM 2000	12.9113	65

Tableau : comparaison des résultats numériques et expérimentaux.

Cet essai permet de mettre en évidence le rôle des paramètres constitutifs de la liaison acier-béton, de plus il donne une loi bien définie déterminant la contrainte tangentielle moyenne en fonction du glissement relatif de la barre.

VI. Distribution des contraintes dans le béton :

La force qui sert la traction dans la barre ; aussi bien que dans le béton produit une compression dans deux parties : la force tire le béton et le comprime au voisinage des appuis côté bas et dans la partie haute de béton due par la liaison d'adhérence. Donc le béton est soumis simultanément à un effort de traction et de cisaillement. Lorsque la contrainte du béton atteint sa résistance de traction on remarque la naissance des fissures axisymétrique inclinées de 45°, La première fissure s'apparaît pour un déplacement imposé de 40

mm où la contrainte à la traction σ_{xx} est de 5.82 MPa, La contrainte d'adhérence s'annule au niveau de la fissure.

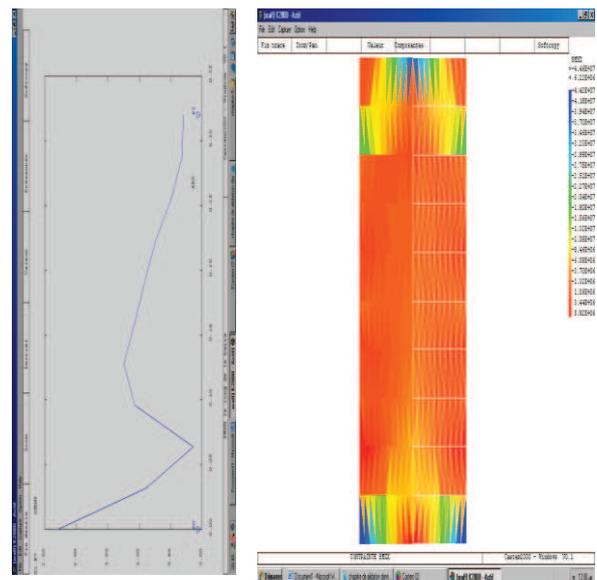


Figure 5: la contrainte dans le béton σ_{xx} avec la contrainte d'adhérence DIMP = 4 cm

La compression (la composante σ_{yy}) peut être très élevée aux points d'appuis ; elle atteint 14.6 MPa et moins importante dans d'autre zone.

VI.1. L'évolution de l'endommagement :

Le paramètre d'endommagement « D » est l'élément essentiel de description de la dégradation du béton. Il est directement créé par les extensions dans la direction de la sollicitation.

La zone endommagée semble d'être localisée dans la zone basse de l'éprouvette où les éléments sont susceptibles de se fissurer lorsque la résistance à la traction du béton est atteinte; ensuite il continue à se propager jusqu'en haut introduisant une détérioration progressive du béton autour de la barre ; du fait que la contrainte d'adhérence près des fissures est faible.

VI.2. La déformation inélastique du béton :

La déformation inélastique du béton apparue en même temps que l'endommagement; elle atteint 0.11 dans la partie basse, il implique le détachement entre les deux matériaux ; ce qu'on déjà constater par la contrainte d'adhérence qui s'annule dans ce niveau.

VI.3. Distribution de la contrainte d'adhérence le long de la barre :

La figure 6 présente la distribution de la contrainte d'adhérence. (Distance par rapport à l'extrémité chargée (m)). L'effort et la déformation le long de la barre sont très élevés dans le côté chargé, Ils vont se réduire chaque fois que l'adhérence entre acier et béton va briser.

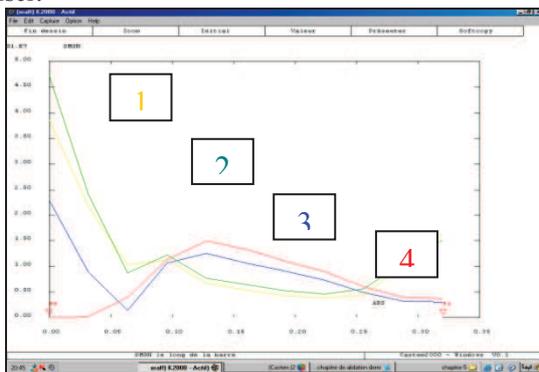


Figure6: la contrainte d'adhérence (Pa) le long de la barre

VI.4. L'essai d'arrachement et de descellement [4]

Pour une même force appliquée dans les deux essais on constate que la force d'arrachement totale est faible par rapport à celle qui offre un descellement total car ce dernier se fait vers l'intérieur ce qui exige une force plus importante qui s'oppose à deux forces encombrantes : la réaction d'appui et la résistance engendrée par le béton.

Pour cela le glissement dans le cas de descellement est très petit par rapport à un arrachement.

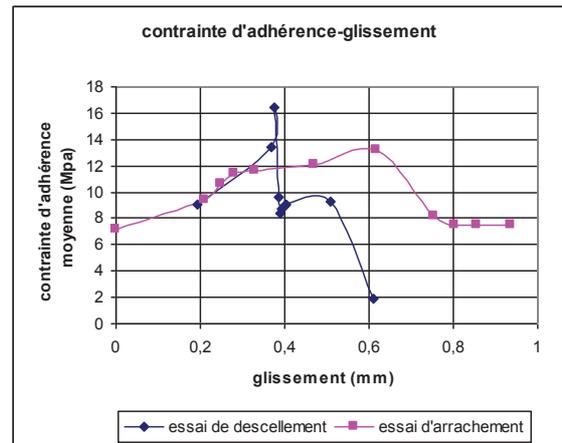


Figure 7: Courbe contrainte d'adhérence -glissement

Les courbes obtenues montrent que le frottement est plus grand dans le cas d'arrachement. La pente de la phase de dégradation de la liaison est calculée par la formule suivante :

$$\alpha = \frac{\tau_{max} - \tau_f}{g_{(\tau_{max})} - g_{(f)}} \quad (04)$$

On constate que la dégradation est plus rapide dans l'arrachement que dans le descellement.

VI.5. Influence de la contrainte de béton en compression sur la liaison [4]

Les résultats numériques s'accordent avec l'expérimental, la contrainte d'adhérence peut être assimilée par des fonctions linéaires de f_c ; ce qui implique que l'accroissement de la résistance du béton renforce la résistance de la liaison (voir figure 8).

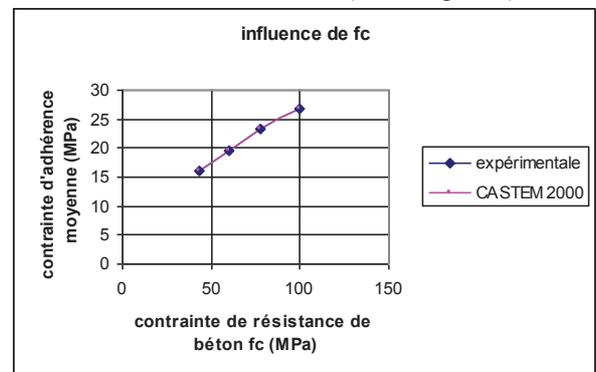


Figure 8: la contrainte d'adhérence en fonction de fc

La recherche bibliographique qu'on a menée, a montré que la contrainte de la liaison acier-béton est renforcée par les facteurs qui améliore la qualité du béton en particulière la résistance en compression : le degré de compaction du béton, la vibration du béton sec et le dosage en gros granulats.

VII. VARIATION DE LA LONGUEUR D'ENROBAGE :

La longueur d'enrobage joue un rôle très important dans d'adhérence ; vu la surface de contact direct enrobée par le béton. La déformation dans l'acier est tout dépend de la partie attachée au béton. Plus que L_{anc} est grande plus que cette déformation est plus élevée ainsi que la contrainte d'adhérence moyenne Figure 9.

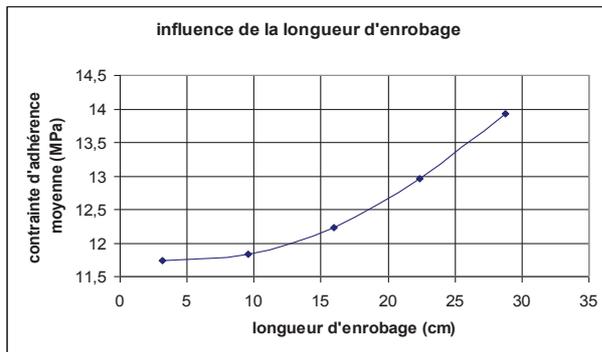


Figure 9 : influence de la longueur d'enrobage sur la contrainte d'adhérence

VIII. Variation du diamètre :

On va maintenir cette comparaison pour mieux comprendre l'influence de la variation de diamètre c'est-à-dire on peut le considérer comme l'influence de la section de contact. $f' = \tau_{max} / f_c$

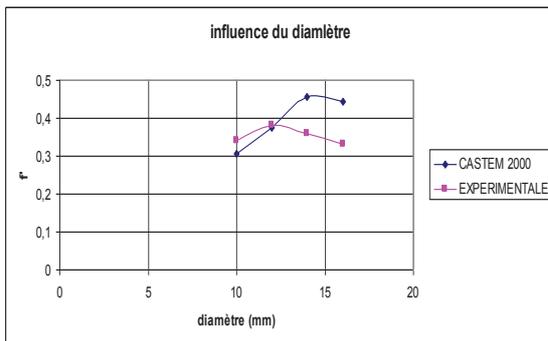


Figure 10 : influence du diamètre sur la contrainte d'adhérence

On constate théoriquement que τ_{max} décroît considérablement avec l'augmentation du diamètre; du fait que l'augmentation de l'effort de la barre compagne l'augmentation de la section. Cela est bien mentionné

soit expérimentalement soit numériquement par CASTEM 2000.

La concordance entre les résultats numériques et les résultats expérimentaux est meilleure et très acceptable dans l'ensemble; lorsqu'il s'agit de décrire le comportement local courbes contrainte d'adhérence; glissement.

VIII. Conclusion:

On a fait le choix d'utiliser un élément d'interface avec une épaisseur non nulle afin de pouvoir mettre au point une méthode par éléments fins d'évaluation du comportement de liaison acier-béton. Ce type d'élément a été validé par des essais expérimentaux antérieurs.

Le travail apporte une approche pour la modélisation du phénomène de liaison acier-béton dans un cadre 2D, traité par le code CASTEM 2000 ; Qui autorise une implémentation aisée de l'élément ainsi que la loi de comportement.

L'intérêt majeur d'une formulation d'un élément d'interface à partir de données locales est de permettre identifier la loi de comportement à partir des données des matériaux.

L'exemple traité sur un élément de béton armé associé à un modèle d'endommagement soumis à des efforts d'arrachement, nous a permis de mettre en évidence les principaux mécanismes introduits dans la formulation qui sont la dégradation et la fissuration symétrique sur la direction tangentielle.

Dans le cadre d'une étude sur la perte d'adhérence on a analysé l'influence de la contrainte du béton en compression, ainsi l'influence de la position du chargement considérant l'arrachement et le descellement.

Les résultats obtenus semblent sensiblement les mêmes que ceux obtenus par l'essai, particulièrement dans le domaine où le glissement est très faible.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] Combescur. D « Modélisation des structures de génie civil sous chargement sismique à l'aide de CASTEM 2000. » Rapport dm2s SEMT/EMSI/RT/01-008/A.
- [2] Hamouine. A « Contribution à l'étude de l'adhérence acier bétons de haute performance.» Thèse de Doctorat, INSA- Toulouse 1996.
- [3] Karin.L «Three-Di mensional Modelling of Bond in Reinforced Concrete Theoretical Model, Experiments and Applications. » Thèse de Docteur Philosophe, CUT, Göteborg, Sweden, 1999.
- [4] Khelifi naima « Contribution a la modélisation numérique du comportement de l'interface acier-beton.» Thèse de Magister c- u-de Bechar Alger 2007.
- [5] Robinson.J.R «Cours de béton armé» Presse de l'ENPC, Paris 1971.
- [6] Norberto.D «Etude de la Liaison acier-béton de la modélisation du phénomène à la formulation d'un élément fini enrichi (Béton Armé). » Thèse de Doctorat, ENS, Cachan, 2005.

Journal of Scientific Research

**P.O.Box 417 route de Kenadsa
08000 Bechar - ALGERIA
Tel: +213 (0) 49 81 90 24
Fax: +213 (0) 49 81 52 44
Editorial mail: jrs.bechar@gmail.com
Submission mail: submission.bechar@gmail.com
Web: <http://www2.univ-bechar.dz/jrs/>**
