

CARACTÉRISATION GÉOMÉTRIQUE DES BARRES D'ACIER POUR BÉTON ARMÉ PAR DES MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

Moncef MAKNI^{1,2}, Atef DAOUD^{2,3} (membre IUSF)

¹ Département de Génie Civil, Institut Supérieur des Etudes Technologiques Sfax, Tunisie ;

² Laboratoire de Génie Civil, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Tunisie ;

³ Département de Génie Civil, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, Tunisie

INTRODUCTION

L'aptitude d'une armature à rester solidaire au béton qui l'enrobe, sous l'effet des forces qui tendent à la faire glisser, est caractérisée par deux coefficients l'un, utilisé dans les calculs relatifs à la fissuration et par suite dans les sollicitations d'entraînement et l'autre, qui intervient dans les calculs relatifs aux scellements et par suite aux ancrages. L'adhérence entre l'acier et le béton n'est possible que grâce à l'existence d'un phénomène de liaison qui permet la transmission d'efforts entre l'armature et le béton qui l'enrobe. Ce phénomène complexe est la résultante de la combinaison des effets d'adhésion (fig.1-a), d'interaction mécanique (fig.1-b) et de frottement (fig.1-c).

L'adhésion est liée à la résistance au cisaillement de l'interface acier-béton, et elle est le résultat principal de la liaison chimique. L'interaction mécanique représentée par des forces perpendiculaires à la face de verrous surgit pendant que la barre est chargée et essaye de glisser. Ces forces, à leur tour, provoquent le frottement le long de l'interface acier-béton. Ces dernières forces sont de grande importance quand le mode de rupture est gouverné par fendage.

La butée mécanique, constituant la part importante de l'adhérence entre l'acier à haute adhérence et le béton, dépend des formes géométriques et des conditions de fabrication des armatures. Les normes actuelles relatives aux aciers définissent, pour les barres à haute adhérence, certains pro-

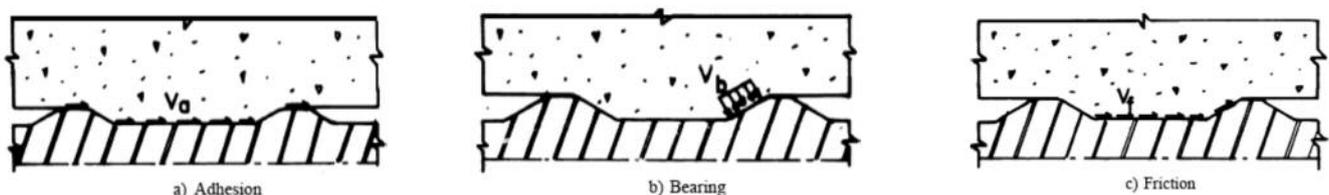


Fig.1 : Mécanismes de transfert d'efforts (ACI 408.2R-92) [1]

files types avec fixation de valeurs numériques minimales et/ou maximales des paramètres géométriques de forme ; si ces valeurs sont respectées, les coefficients de fissuration et de scellement sont réputés satisfaisants. Sinon, ces coefficients doivent être déterminés expérimentalement.

Les caractéristiques géométriques des armatures à savoir forme, hauteur et inclinaison et espacement des verrous, sont représentées par un coefficient noté (fR) appelé l'aire relative des verrous [2].

Certains chercheurs soulignent l'importance de ce paramètre ; selon Leonhardt et Mommig (1977)[3], la valeur de (fR) peut fournir le meilleur moyen de comparaison entre les barres de profils différents. Ce coefficient est défini comme le rapport entre la surface offerte des verrous projetée sur un plan perpendiculaire à l'axe longitudinal, et la surface cisailée (voir Fig. 2.).

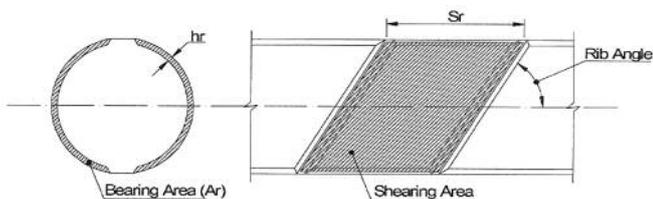


Fig. 2 : Paramètres de l'aire relative des verrous

D'après ACI 408.3-01[4], l'aire relative des verrous peut être exprimée comme suit :

$$\text{Aire relative} = \frac{\text{surface du verrou projetée sur l'axe normal de la barre}}{\text{diamètre} \times \text{espacement des verrous}}$$

L'expression de (fR) est donnée par la formule suivante :

$$fR = \sum_i \frac{A_{ri} \sin(\beta_i)}{\pi \phi S_{ri}} \quad [1]$$

Avec :

- A_{ri} : surface des verrous i ;
- β_i : inclinaison des verrous i par rapport à l'axe de la barre ;
- ϕ : diamètre extérieur de la barre (fig.3.);
- S_{ri} : espacement entre axe des verrous i ;

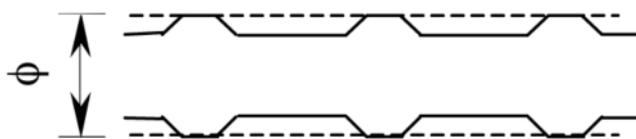


Fig.3 : Diamètre à prendre en compte dans la relation [4]

Clark [5][6], a analysé 17 configurations de barres et a suggéré que l'espacement moyen entre les côtes est égale à 70% du diamètre et la hauteur est égale à 4% du diamètre, pour les barres de diamètre inférieur ou égal à 13 mm. Pour

les barres de 16 mm de hauteur les valeurs doivent être comprises entre 4,5% et 5% du diamètre.

Dans une étude plus récente, conduite par Hamad [7] ont été analysées de différentes configurations géométriques des nervures. L'étude visant à varier l'écartement entre les nervures, les mêmes se situant entre 35 et 60% du diamètre, la hauteur du nervure, qui varie dans un intervalle de 5 à 12,5% du diamètre et la pente de la face de nervure a une valeur variable de l'ordre de 30° à 90°. Analysant les résultats de cette étude, il apparaît que la configuration qui a abouti à la meilleure performance a été : l'angle de vue de la côte à 60°, espacement de 50% et la hauteur de la nervure 10% du diamètre de la barre.

Ø (mm)	5-6	6,5-8,5	9-10,5	11-40
f_R	0,039	0,045	0,052	0,056

Tableau 1 : Valeurs minimales de (fR) (CEB-1999)

En ce qui concerne l'influence de l'angle des côtes, Lutz et Gergeley [8] n'ont observé que les angles entre 40° et 105° est suffisant pour qu'il n'y ait pas de mouvement sur l'interface entre la barre d'acier et de béton.

Selon CEB [9][10], les valeurs minimales requises pour l'aire relative de la nervure sont récapitulées dans le tableau 1.

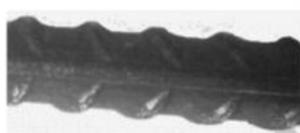
Ces valeurs ont été retenues par l'Eurocode 2 [11] ; l'ACI 408.2R-92 [1] met également l'accent sur l'importance de la détermination de la surface relative des nervures, cependant, les valeurs recommandées se trouvant entre 0,05 et 0,08.

Le calcul de (fR) passe par l'évaluation rigoureuse des paramètres A_n (fonction de la hauteur des verrous i), β_i , ϕ et S_{ri} .

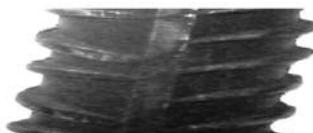
Dans ce contexte, avec la variété des produits sidérurgiques utilisés pour constituer les armatures des constructions en béton armé. Nous présentons une méthode de caractérisation de la géométrie d'une barre d'acier pour béton armé, basée sur deux techniques complémentaires. La première consiste à exploiter et traiter l'empreinte bidimensionnelle d'une barre d'acier tandis que la seconde consiste à utiliser la photoprojection.

1. INVESTIGATION EXPÉRIMENTALE

Trois types de barres, de trois continents différents, ont été analysé dans cette étude : une barre tunisienne de diamètre nominal 12mm (fig. 4-a), une barre française de diamètre nominal 12mm (fig. 4-b) et une barre brésilienne de diamètre nominal 12,5mm (fig. 4-c). Les différentes barres sont illustrées dans les images suivantes :



a) Barre tunisienne



b) Barre française



c) Barre brésilienne

Fig.4 : Photos des barres analysées

La barre tunisienne se présente sous la forme d'un rond portant deux nervures longitudinales continues qui séparent deux séries de verrous obliques hélicoïdaux et ne touchant pas les nervures longitudinales. La barre française a la forme d'un rond munie de deux nervures longitudinales opposées, d'une série de verrous obliques et hélicoïdaux dont la hauteur devient nulle au raccordement avec les nervures longitudinales et de deux rangs de verrous obliques dont l'inclinaison et l'espacement sont différents. La barre brésilienne se présente comme la barre tunisienne mais les deux séries de verrous touchent les nervures longitudinales.

1.1. Technique de l'empreinte bidimensionnelle

Cette technique est utilisée par les mécaniciens pour déterminer le nombre de filets et leur pas pour les vis sans fin en particulier et les axes filetés en générale. Le principe de cette technique est basé sur le traçage de l'empreinte des parties saillantes d'une pièce de révolution. Elle permet la mesure des inclinaisons et des espacements des verrous d'une barre. Pour y parvenir, des tronçons de barres ont été prélevés au hasard. Leurs verrous ont été soigneusement marqués par une encre noire puis roulés sur un papier blanc permettant de tracer le développement du cylindre à génératrice verticale (figure 5).

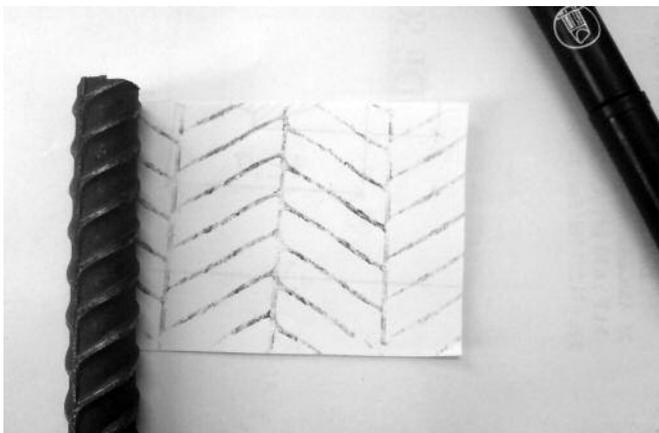


Fig.5 : Empreinte de la barre

Après avoir numérisé les images des empreintes obtenues à l'aide d'un scanner (figure 6), les fichiers ont été enregistrés dans le logiciel « Autocad 2009 » qui permet, après remise à l'échelle, de déterminer les inclinaisons et les espacements des verrous de chaque tronçon.

1.2. Technique de la photo-projection

L'appareil qui a été utilisé pour la photo-projection « Mitutoyo Corporation » est illustré dans la figure 7. Cet appareil permet de donner des mesures au dixième près grâce aux verniers manœuvrés par des vis micrométriques. Cette technique permet de mesurer la hauteur et la largeur des verrous ainsi que leur espacement ; les inclinaisons des faces de verrous peuvent être également mesurées (figure 8).

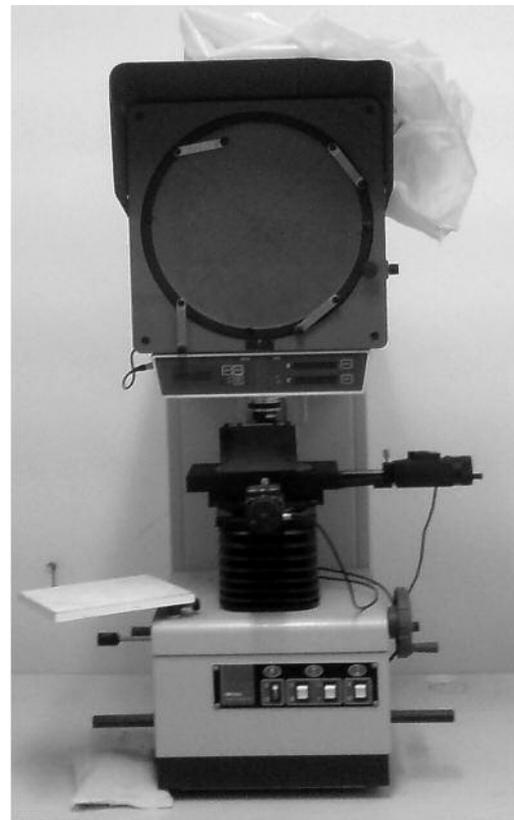


Fig.7 : Appareil photo-projecteur « Mitutoyo Corporation ».

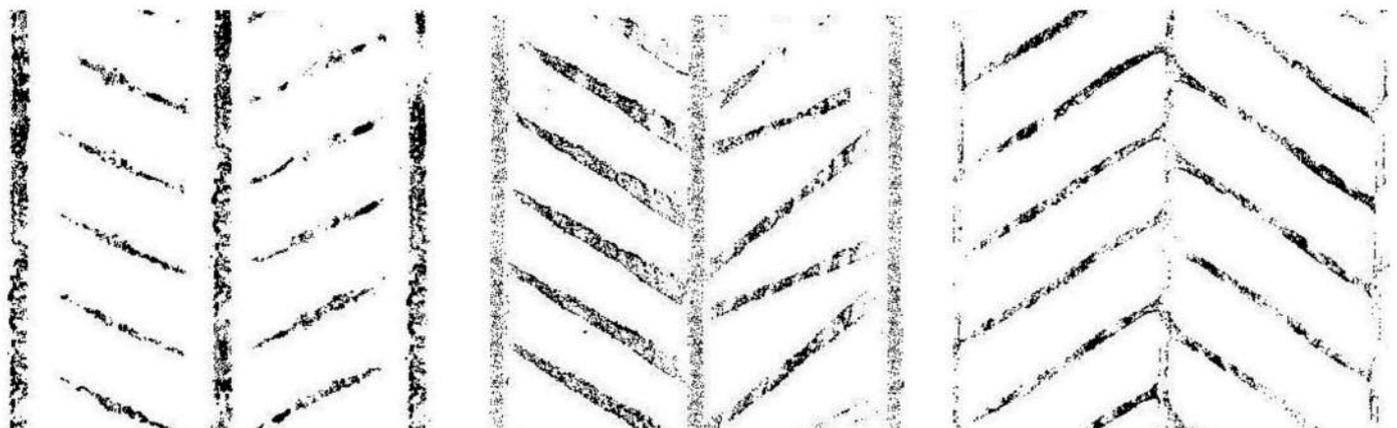


Fig.6 : Empreintes après scannage

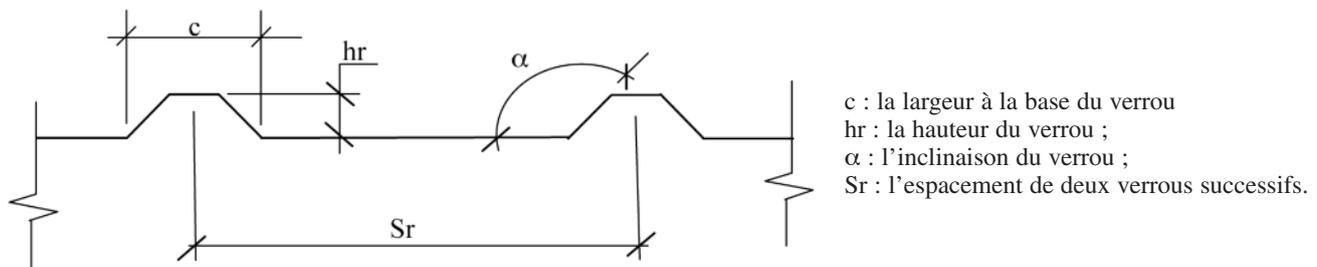


Fig.8 : Désignation des paramètres.

Des tronçons de barres ont été fraisés longitudinalement et fixés successivement sur le chariot de l'appareil qui peut être manœuvré suivant deux directions perpendiculaires. La surface est projetée sur l'écran avec un agrandissement de 10 fois. Les mesures peuvent être faites directement à l'aide des verniers électroniques.

Les mesures déterminées à partir de la photoprojection permettront de reproduire la géométrie des barres avec le logiciel « Autocad 2009 ».

2. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Les fichiers issus des deux techniques utilisées ont été traités pour reproduire la forme des barres suivant les plans (xy), (xz) et (yz). En exploitant les commandes disponibles dans la version 2009 du logiciel « Autocad », le mode 3D permet de monter les différentes vues et de produire la barre en solide 3D comme indiqué sur les figures 10, 11 et 12.

L'exploitation des résultats sur « Autocad » permet de relever les valeurs de tous les paramètres nécessaires au calcul du coefficient (fR), d'après l'équation [1]. Les résultats ainsi obtenus sont représentés dans le tableau 2.

3. COMPARAISON DES RÉSULTATS

Vale Silva B. et al. [12], ont utilisé une technique très populaire dans le domaine du design, mais peu connue



Fig.9 : Prise des mesures à l'aide du photoprojecteur

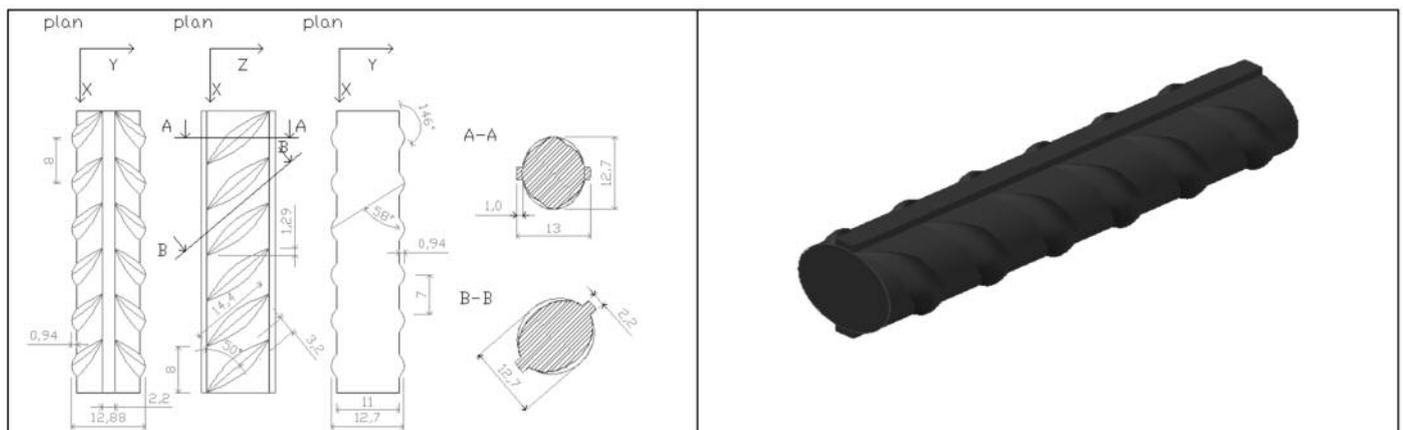


Fig.10 : Barre tunisienne

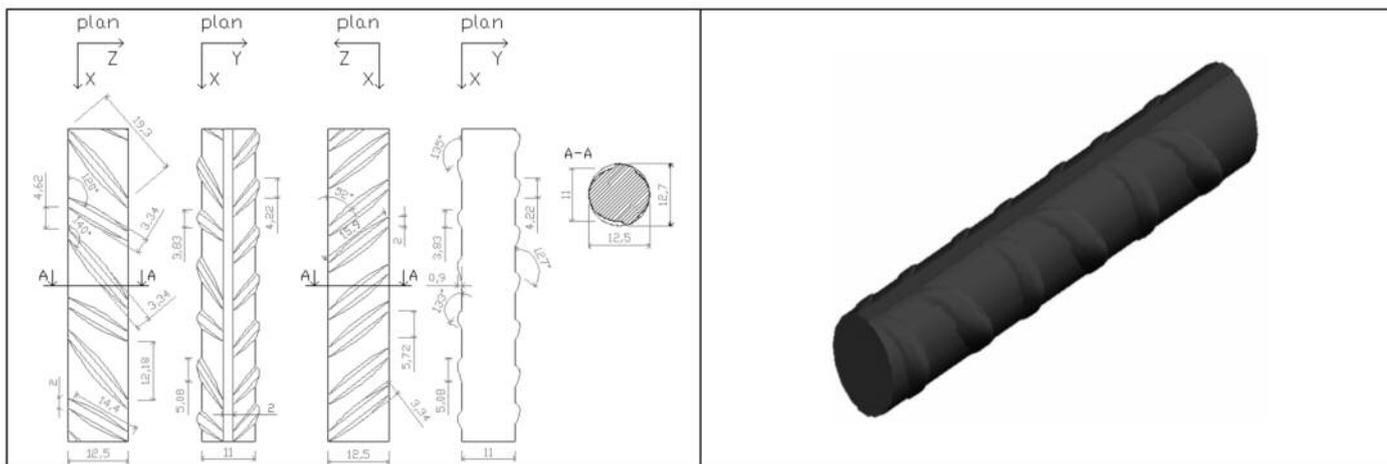


Fig.11 : Barre française

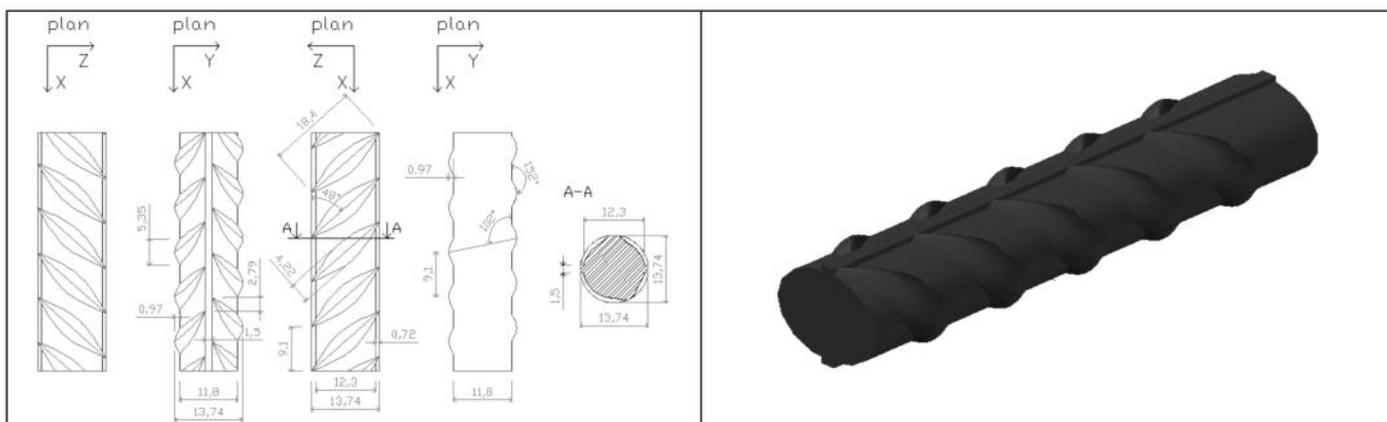


Fig.12 : Barre brésilienne

Barre	Diamètre nominal (mm)	ϕ (mm)	β (°)	S_r (mm)	A_r (mm ²)	(fR)
Tunisienne	12	11	58	8	33,64	0,088
Française	12	11	52	7	27,68	0,065
			60	21		
			40	21		
Brésilienne	12,5	11,8	48	9,1	35,90	0,068

Tableau 2 : Détermination des coefficients (fR)

en ingénierie, la technique de «scanner» laser tridimensionnel, qui permet de scanner plusieurs nuages de points. Le logiciel « Geomagic Studio 10 » permet de fusionner les nuages de points différents et enfin monter la pièce. Les auteurs ont calculé les coefficients f_r (tableau 3).

Barre	Diamètre nominal (mm)	(fR) (technique Scanner Laser)[12]	(fR) (méthode proposée)
Tunisienne	12	0,084	0,088
Française	12	0,070	0,065
Brésilienne	12,5	0,063	0,065

Tableau 3 : Résultats des coefficients f_r issus de la technique du Scanner Laser

D'après les résultats du tableau 3, les coefficients (fR) évalués à partir de la méthode proposée sont comparables avec ceux trouvés par Vale Silva B. et al. [12] utilisant la technique du Scanner Laser.

4. CONCLUSIONS

Les caractéristiques géométriques des barres d'acier utilisées comme armature pour les ouvrages en béton armé, sont couramment représentées par un coefficient (fR) appelé aire relative des verrous. Les codes de calcul, notamment l'Eurocode2 [11], soulignent l'importance de ce coefficient en recommandant des valeurs limites mini-

males à savoir 0,056 pour les barres de diamètre supérieur à 11mm.

Contrairement à la caractérisation mécanique des barres, la caractérisation géométrique n'est prise à sa juste valeur. Cette caractérisation est surtout nécessaire dans les usines de fabrication des armatures pour béton armé, pour des armatures provenant des marchés internationaux ou celles ayant subi des dégradations suite à une exposition à un environnement agressif.

Dans ce contexte, nous avons présenté une méthode de caractérisation simple d'application basée sur deux techniques à savoir la technique de l'empreinte bidimensionnelle et la technique de la photo-projection.

Ces deux techniques ont été appliquées sur trois types de barre ayant des géométries différentes (barre française, barre tunisienne et barre brésilienne).

Les résultats obtenus sont acceptables et comparables à ceux obtenus avec des techniques plus sophistiquées à savoir celles du scanner laser tridimensionnel.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ACI 408.2R-92 « State-of-the-art Report on Bond under Cyclic loads », Detroit, Mich. American Concrete Institute, 1992.
- [2] Rehm, G. (1961) "The fundamentals of bond between steel reinforcement and concrete", Deutsche association for steel reinforcement-concrete, N°=138, p.59, 1961
- [3] Leonhart, F; Mommig, E Construções de Concreto: Principos basicos do dimensioamento de estrutura de concreto armado. 1a Ed. Rio de Janeiro: interciência, vol. 1 e 3, 1977.
- [4] ACI 408.3-01/408.3R-01 « Splice and Development Length of High Relative Rib Area Reinforcing Bars in Tension (408.3-01) and Commentary (408.3R-01) », Detroit, Mich. American Concrete Institute, 2001.

- [5] Clark, A.P. "Comparative Bond Efficiency of Deformed Concrete Reinforcing Bars," ACI Journal, Proceedings Vol. 43, No. 41, Dec., pp. 381-400, 1946
- [6] Clark, A.P. "Bond of Concrete Reinforcing Bars," ACI Journal, Proceedings Vol. 46, No. 3, Nov., pp. 161-184, 1949
- [7] Hamad, B.S. Bond strength improvement of reinforcing bars with specially designed rib geometries. ACI Structural Journal, Vol. 92, no. 1, p 3-13, jan. 1995.
- [8] Lutz, L.A. ; "GERGLY, P. Mechanics of bond and slip of deformed bars in concrete." ACI journal proceedings, v.64, n.11, p.711-721, Nov. 1967.
- [9] Comité Euro-International du Béton, Paris, Bulletin n.1, Juil 1999.
- [10] Comité Euro-International du Béton, Paris, Bulletin n.2, Juil 1999.
- [11] Eurocode 2, EN 1992-1-1, Calcul des structures en béton, Partie 1-1.
- [12] Vale Silva, B., Caetano, L. F., Barbosa, M. P., Silva Jr, L.C.P., Lorrain, M. S., Gomes, L. E. S., Kindlein Jr., W. « Aderencia aco-concreto : analise geometrica experimental de armaduras de aco para construcao civil com o auxilio do scanner tridimensional a laser », Anais do 51° Congresso Brasileiro do concreto CBC2009, outubro 2009.

