

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

11 N° de publication : **2 951 483**

(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

21 N° d'enregistrement national : **09 57251**

51 Int Cl<sup>8</sup> : **E 04 G 23/00 (2006.01), E 04 C 2/06, 2/26**

12

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 15.10.09.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 22.04.11 Bulletin 11/16.

56 Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71 Demandeur(s) : UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I Etablissement public — FR.

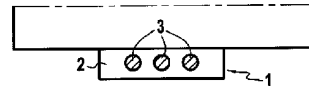
72 Inventeur(s) : FERRIER EMMANUEL et SI LARBI AMIR.

73 Titulaire(s) : UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON I Etablissement public.

74 Mandataire(s) : CABINET BEAU DE LOMENIE.

54 ELEMENT DE RENFORCEMENT EN COMPOSITE FIBRES-CIMENT ET PROCEDE DE RENFORCEMENT DE STRUCTURES EN BETON ARME PAR UN TEL ELEMENT.

57 La présente invention concerne un élément (1) de renforcement d'une structure de béton armé, de type plaque ou poutre à assembler par collage ou ancrage sur une structure (PB, DB) de béton armé à renforcer, caractérisé en ce qu'il est constitué au moins d'une matrice minérale (2) comprenant des fibres courtes et d'armatures de rigidification (3). L'invention concerne également un procédé de renforcement de structures de béton armé mettant en oeuvre un tel élément de renforcement.



FR 2 951 483 - A1



La présente invention concerne le domaine général du génie civil et de la construction d'ouvrages en béton armé.

L'invention se rapporte plus particulièrement à un élément de renforcement de structures de béton-armé, ainsi qu'un procédé de renforcement de telles structures mettant en œuvre un tel élément de renforcement.

Différentes techniques ont déjà été proposées dans le domaine du renforcement de structures en béton armé et sont à ce jour exploitées.

On peut citer notamment parmi les plus fréquemment employées les techniques de réhabilitation par béton projeté et les techniques de renforcement par collage externe ou interne par engravure (technique dite NSM) de plaques ou armatures composites à matrices organiques et fibres de verre ou de carbone.

Les techniques de réhabilitation par béton projeté s'inscrivent dans le domaine du génie civil traditionnel utilisant des matériaux conventionnels. Les structures renforcées qui en résultent présentent l'avantage d'être remises en conformité avec la possibilité de reconstruction de la section de béton armé. Il s'agit d'une solution bien adaptée aux structures particulièrement endommagées.

Les techniques de renforcement par collage externe ou interne visent l'augmentation des capacités portantes des ouvrages en collant sur les faces tendues des poutres de ceux-ci une plaque de composite en carbone/époxy ou verre/époxy. Les produits de renforcement sont faciles de mise en œuvre et mécaniquement performants. Cette technique se substitue de plus en plus à la première dans des opérations de renforcement et/ou réparation de structures.

Toutefois, dans une majorité de cas, ces techniques présentent des inconvénients liés à la tenue en température des plaques collées (problèmes d'incendie), à la compatibilité des matériaux organiques et des matériaux céramiques mis en œuvre et également au coût élevé, parfois rédhibitoire, du produit. De surcroît, le principal désavantage de ces techniques de renforcement par collage reste l'insuffisante rentabilisation des performances

des plaques de renforts dont la résistance ultime est rarement approchée lors de la rupture du fait d'un délaminage prématuré d'une part, et d'une insuffisance d'inertie des plaques de renforcement particulièrement minces d'autre part.

5 L'objectif de la présente invention consiste à proposer une nouvelle technique de renforcement de structures en béton armé par collage d'éléments de renforcement qui ne présente pas les inconvénients des techniques connues listées précédemment.

10 Un objectif supplémentaire de la présente invention est de proposer une technique de renforcement propre à augmenter les performances mécaniques, en service et à rupture, de la structure en béton armé renforcée.

15 Un objectif de la présente invention est également de proposer une technique de renforcement nécessitant la mise en œuvre d'une quantité réduite de matériaux de renforcement, et si possible, tout au plus similaire aux quantités usitées dans les techniques de renforcement par collage connues à ce jour.

20 Pour atteindre ces différents objectifs, la présente invention propose en premier lieu un élément de renforcement d'une structure de béton armé, de type plaque ou poutre à assembler par collage ou ancrage sur une structure de béton armé à renforcer et qui est caractérisé en ce qu'il est constitué au moins d'une matrice minérale comprenant des fibres courtes et d'armatures de rigidification.

25 Les inventeurs ont mis en évidence qu'il était possible de combiner en un unique élément de renforcement une matrice minérale, des fibres courtes et des armatures de rigidification, par exemple métalliques ou composites, pour obtenir des éléments de renforcement de structures répondant aux objectifs ci-avant énoncés et ainsi aux attentes des utilisateurs.

30 Tout particulièrement, l'élément de renforcement de l'invention présente une rigidité en flexion et/ou une charge ultime améliorées comparativement aux solutions de renforcement par collage de type CFRP grâce à une inertie accrue, conférée notamment par la matrice minérale,

dans laquelle les armatures sont noyées. Cette augmentation de l'inertie comparativement aux éléments de renforcement connus procure aux éléments de renforcement de l'invention une ouverture de fissure réduite, et partant, une durabilité accrue de la structure renforcée à l'aide de tels  
5 éléments.

Selon un mode de réalisation de l'élément de renforcement de l'invention, la matrice minérale est constituée au moins d'un liant, de sable, de fumée de silice, d'eau et d'un adjuvant haut réducteur d'eau. De façon préférée, le liant de la matrice minérale est choisi comme un ciment  
10 hydraulique.

L'élément de renforcement de la présente invention présente ainsi de façon avantageuse une bonne compatibilité avec les critères environnementaux compte tenu de l'utilisation de matrices cimentaires au détriment de matrices organiques.

15 Selon une caractéristique de l'invention, les fibres courtes incluses dans la matrice minérale de l'élément de renforcement proposé sont des fibres de nature métallique et /ou organique et/ou minérale et/ou composite.

Ces fibres présentent par ailleurs de façon avantageuse une longueur comprise entre 8 et 15 mm, et de préférence de l'ordre de 10 à 12 mm.

20 Conformément à une autre caractéristique particulière et avantageuse de l'invention les armatures de rigidification de l'élément de renforcement sont des armatures de nature métallique et/ou composite, et en particulier constituées d'acier et/ou d'un matériau polymère renforcé de fibres de verre et/ou de carbone.

25 Dans un mode de réalisation avantageux de l'invention, les armatures de rigidification sont précontraintes dans la matrice minérale. De façon avantageuse, la précontrainte des armatures de rigidification est appliquée avant la coulée de la matrice minérale autour desdites armatures lors de la fabrication des éléments de renforcement et cette précontrainte est comprise  
30 entre 30% et 60% de la limite élastique desdites armatures.

L'élément de renforcement de l'invention offre ainsi grâce à une telle précontrainte des armatures de rigidification des performances sensiblement

améliorées par rapport aux éléments en plats composites utilisés dans les techniques actuelles de renforcement par collage. En particulier, la charge ultime supportée par les éléments de renforcement de l'invention est supérieure d'au moins 15% à celle supportée par des plats composites en polymère renforcé de fibres de carbone de type CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer). La rigidité post-fissuration quant à elle est augmentée de 20%.

De plus, dans la mesure où les armatures sont noyées dans la matrice minérale, elles offrent une meilleure résistance au feu d'une part et plus généralement aux agressions externes, qu'elles soient chimiques ou climatiques, ce qui améliore la durabilité de l'élément de renforcement et donc des renforcements opérés à l'aide de ces matériels.

Dans un mode de réalisation avantageux de l'élément de renforcement de l'invention, celui-ci présente à ses extrémités une forme biseautée conférant une diminution progressive d'épaisseur avec une pente de 15 à 45° jusqu'à l'extrémité. Une telle géométrie procure à l'élément de renforcement de l'invention l'avantage de différer le délaminage des plats de renforcement, la géométrie particulière des extrémités permettant de limiter les surcontraintes aux extrémités.

La présente invention fournit également, suivant un deuxième objet, un procédé de renforcement de structures en béton armé mettant en œuvre au moins un élément de renforcement de l'invention, tel que celui-ci a été présenté précédemment. Ce procédé consiste essentiellement à assembler par collage sur une structure de béton armé à renforcer un élément de renforcement selon l'invention, constitué au moins d'une matrice minérale, de fibres courtes mélangées dans cette matrice et d'armatures de rigidification, noyées dans cette matrice minérale.

Conformément au procédé de l'invention, on prépare les surfaces des subjectiles à encoller, c'est-à-dire de la structure de béton armé à renforcer et de l'élément de renforcement, préalablement au collage, par ponçage ou sablage mécanique.

Ensuite, on colle de façon préférée les deux surfaces des subjectiles à assembler, que l'on assemble ensuite par tout moyen d'application de l'élément de renforcement sur la structure à renforcer.

5 Toujours selon le procédé de l'invention, on maintient ensuite sous pression l'assemblage de la structure de béton armé à renforcer et de l'élément de renforcement après collage pendant une durée d'au moins douze heures. De façon préférée, ce maintien sous pression de l'assemblage pourra durer au moins 24 heures, et jusqu'à 48 heures.

Selon différentes caractéristiques préférées du procédé de l'invention :

10 - on applique une épaisseur de colle comprise entre 1 mm et 5 mm sur les surfaces des subjectiles à assembler avant assemblage ;

- on maintient sous pression l'assemblage après encollage jusqu'à obtenir une épaisseur de colle finale comprise entre 0,5 et 2 mm ;

15 - on colle les subjectiles avec une colle structurale à base de polyuréthane, d'époxy ou d'une combinaison de ces matières ;

- le ou les élément(s) de renforcement sont éventuellement précontraints ;

- la matrice minérale du ou des élément(s) de renforcement comporte du ciment;

20 - les fibres courtes du ou des élément(s) de renforcement sont des fibres de nature métallique et/ou composite et présentent une longueur comprise entre 5 et 15 mm

25 L'élément de renforcement et le procédé de la présente invention sont tous deux de mise en œuvre aisée, même in-situ, et parfaitement adaptée à l'ensemble des industries de la construction, et notamment celle du bâtiment (maisons individuelles, bâtiments collectifs ou industriels, planchers autoporteurs, etc.), et à l'ensemble des marchés des ouvrages d'art (ponts, passerelles).

30 D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront clairement à la lecture de la description et des exemples, donnés à titre purement illustratif et non limitatif, qui vont suivre.

La **Figure 1** représente en perspective un élément de renforcement conforme à l'invention, sous la forme d'un plat.

La **Figure 2** représente une vue en coupe transversale d'un élément de renforcement de l'invention appliqué sous une structure de béton armé.

5 Les **Figures 3A et 3B** représentent deux exemples de réalisation de renforcement de structures de béton armé par la mise en œuvre de l'élément de renforcement de l'invention.

La **Figure 4** représente schématiquement le protocole d'essai de flexion quatre points établi pour évaluer les performances de l'élément de renforcement de l'invention.

La **Figure 5** représente les courbes charge-déplacement établies lors des essais comparatifs de résistance de différentes structures de béton armé renforcées selon des procédés de l'art antérieur et le procédé de l'invention ;

La **Figure 6** représente les courbes de rigidité obtenues lors des essais comparatifs de résistance de différentes structures de béton armé renforcées selon des procédés de l'art antérieur et le procédé de l'invention.

Conformément à un premier objet, la présente invention propose un élément de renforcement **1** de structures de béton armé. Un tel élément de renforcement **1** peut dans un mode de réalisation préféré se présenter sous la forme d'un plat ou plaque de renforcement telle que représentée sur les **figures 1 et 2**. Un tel élément de renforcement **1** présente une forme générale sensiblement parallélépipédique, excepté à ses extrémités qui présentent une forme biseautée particulière destinée à limiter les phénomènes de contraintes délaminantes de cisaillement aux extrémités comme il sera décrit ci-après.

De préférence, les dimensions de l'élément de renforcement **1** sont comprises entre 60 et 150 mm en largeur et entre 25 et 45 mm en épaisseur, la longueur de la plaque **1** pouvant elle s'étendre entre 1 et 5 m.

L'élément de renforcement **1** est essentiellement constitué selon l'invention d'une matrice minérale **2** comportant des fibres courtes et dans laquelle sont noyées des armatures de rigidification **3**. La matrice minérale **2** comporte de façon préférée un liant de type ciment.

De façon avantageuse, le liant de la matrice minérale **2** est un ciment et la composition de la matrice permet de diminuer la quantité d'eau à un rapport Eau/Ciment de 0.30, comportant également du sable, de la fumée de silice, de l'eau et un adjuvant haut réducteur d'eau. Cette composition permet d'obtenir des résistances à la compression à 28 jours supérieures à 100 MPa et une résistance à la traction par flexion supérieure à 15 MPa. Un exemple de composition d'une matrice minérale **2** de l'élément de renforcement de l'invention est présenté dans le **Tableau 1** ci-après :

**TABLEAU 1 :**

Matrice Minérale M2		
	Dosage (kg/m <sup>3</sup> )	Dosage (%)
Ciment CEM 52.5	742	31,00
Fumée de silice	44	1,82
Sable 1	698	29,17
Sable 2	523	21,88
Eau	222	9,30
Superplastifiant	22	0,91
Accélérateur de durcissement	10	0,44
Fibre métallique	131	5,47
Kelcocrete	0,262	0,01
Total	2393	100,00

10

Avantageusement, la matrice **2** de l'élément de renforcement **1** de l'invention comprend des fibres courtes de 10 à 12 mm. Ces fibres courtes peuvent notamment être de nature métallique, minérale, organique, composite ou leur combinaison. Dans le cas de la composition donnée dans le tableau 1 les fibres courtes sont métalliques permettant une augmentation de la résistance à la traction de la matrice et un comportement ductile.

L'élément de renforcement **1** de l'invention comporte enfin des armatures de rigidification **3** noyées dans la matrice minérale **2**. Ces armatures **3** s'étendent de préférence sur toute la longueur de l'élément de renforcement et peuvent être de nature métallique ou composite, ou les deux. Les armatures **3** peuvent notamment être en acier, polymère renforcé de fibres de verre ou de carbone, ou leur combinaison. Leur diamètre est

20

compris de façon avantageuse entre 6 et 12 mm, et elles sont positionnées de façon médiane dans l'épaisseur et la largeur de la matrice **2**.

Les modules d'élasticité en traction sont compris entre 40000 MPa, pour les composite à base de fibres de verre, et 130000 MPa, pour les composites  
5 à base de fibres de carbone. Les résistances en traction sont comprises entre 1000 MPa, pour les composites à base de fibres de verre (FC), et 2300 MPa, pour les composites à base de fibres de carbone (FC).

Selon un mode de réalisation avantageux de l'élément de renforcement de l'invention, les armatures **3** peuvent être précontraintes avant le coulage  
10 de la matrice **2** pour obtenir un élément de renforcement **1** précontraint de façon interne. Avantageusement, l'effort de précontrainte est compris entre 30% et 60 % de la résistance maximale de l'armature composite.

Enfin la géométrie des extrémités de l'élément de renforcement de l'invention est spécifique pour limiter les surcontraintes de cisaillement (-  
15 50 %) conformément aux résultats de calcul issue d'une formulation analytique propre à la mécanique des joints collés (B. Täljsten - Sr. Res. Engr., Div. of Struct. Engrg., Dept. Of Civ. Engrg., Luleå Univ. Of Technol., S-971 87 Luleå, Sweden ; STRENGTHENING OF BEAMS BY PLATE BONDING, part of the Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 9, No. 4, November,  
20 1997 ) et parfaitement validée dans le domaine des joints collés de l'industrie aéronautique.

Selon l'invention, la forme des extrémités de l'élément de renforcement **1** est biseautée, et confère une diminution progressive de l'épaisseur de l'élément **1** à son extrémité, sur les 15 derniers cm, avec une pente de 15 à  
25 45° suivant l'épaisseur de l'élément. L'intensité des contraintes de cisaillement à l'interface entre élément de renforcement **1** et support renforcé est diminuée dans un rapport de 2 à 3 par cette géométrie spécifique. Le risque de décollement de l'élément de renforcement lié aux surcontraintes locales de cisaillement est ainsi sensiblement réduit.

30 Il s'agit d'un avantage par rapport aux solutions traditionnelles et qu'il est impossible à mettre en œuvre sur les solutions de type plats composites et armatures scellées (NSM).

L'élément de renforcement **1** de la présente invention procure une solution particulièrement efficace et avantageuse de renforcement de structures en béton armé. Comme représenté sur les figures 3A et 3B, L'élément de renforcement **1** peut être utilisé seul pour renforcer par  
5 exemple une poutre de béton armé PB (figure 3A) par collage longitudinal sous la poutre d'un élément de renforcement **1**, ou bien en combinaison de plusieurs éléments de renforcement **1** collés parallèlement les uns aux autres sous une dalle de béton armé DB (figure 3B).

Les opérations de renforcement de structures de béton armé consistent  
10 à assembler l'élément de renforcement **1** sous la structure de béton armé à renforcer par collage, comme représenté sur les figures 3A et 3B. Cet assemblage par collage se fait de façon avantageuse avec une colle structurale **4** à base de polyuréthane, d'époxy ou d'une combinaison de ces matières.

15 De préférence, il convient de préparer les surfaces à encoller à la fois de la structure à renforcer et du ou des éléments de renforcement mis en œuvre pour réaliser l'opération de renforcement. Cette préparation des surfaces de collage consiste notamment de façon adéquate en un ponçage ou un sablage mécanique desdites surfaces afin de les nettoyer et de faciliter  
20 la prise de la colle que l'on applique ensuite, par tout moyen connu, notamment une spatule, sur les deux surfaces des subjectiles à assembler.

Afin d'obtenir un assemblage de résistance satisfaisante, on applique de préférence une épaisseur de colle **4** comprise entre 1 mm et 5 mm sur les deux surfaces des subjectiles à assembler. L'épaisseur de la couche de colle  
25 dépend notamment de sa viscosité. Cependant, en tout état de cause, la quantité de colle structurale utilisée selon le procédé de l'invention doit être d'environ 2 Kg par unité de surface de collage.

Une fois la colle appliquée, on applique les surfaces encollées l'une sur l'autre par pression du ou des éléments de renforcement mis en œuvre sur la  
30 surface de la structure de béton à renforcer préalablement encollée. Avantageusement, on maintient ensuite sous pression, avant la fin de la DPU (durée pratique d'utilisation) de la colle, l'assemblage de la structure de

béton armé à renforcer et du ou des éléments de renforcement pendant une durée d'au moins douze heures et pouvant aller jusqu'à 48 heures, avantageusement pendant 24 heures. Préférentiellement, la mise sous pression est réalisée jusqu'à ce que tout l'excédent de colle ait été rejeté, de manière à obtenir une épaisseur de colle finale variant de 0,3 à 3 mm, de préférence de 0,5 à 2 mm.

Afin de valider les performances intrinsèques de l'élément de renforcement **1** de l'invention et des structures renforcées suivant le procédé de l'invention, les inventeurs ont procédé à différents essais mécaniques comparatifs dont la nature et les résultats sont rapportés ci-après.

Quatre plats de renforts conformes à l'invention ont été constitués d'une matrice cimentaire fibrée **2** à hautes-performances (BFUP) conforme à la composition donnée dans le tableau 1, qui par la suite sera présentée dans les tableaux de résultats suivant comme la composition F6mod.

Afin de tester les performances de la matrice cimentaire elle-même, on a soumis quatre éprouvettes de béton de type 4 X 4 X 16 formée de cette matrice à un essai de flexion trois points pour mesurer la résistance en traction par flexion. La résistance moyenne obtenue est de 25,5 MPa.

Par la suite, dix poutres en béton armé prémunies vis-à-vis d'une rupture à l'effort tranchant ont été confectionnées, l'une (P8) dite « témoin » dépourvue de renforcement et les autres renforcées en partie inférieure par différents éléments de renforcement conformes à la présente invention, formés d'une plaque parallélépipédique de composite fibres courtes-ciment, collée entre les appuis de la poutre, et dans laquelle sont noyées de manière centrée des joncs de fibres composites de verre ou de carbone formant armatures de rigidification **3**.

Afin de comparer les performances du renforcement obtenues selon l'invention vis-à-vis des méthodes de renforcement existantes, deux autres poutres de béton armé, identiques à celles renforcées à l'aide de plaques composites fibres courtes-ciment conformes à l'invention ont été renforcées, l'une au moyen du collage d'un plat carbone (P6) et l'autre (P7) par le biais

de deux jonc carbone collés dans deux rainures ménagées à même le béton conformément à la procédure NSM (Near Surface Mounted).

Plusieurs combinaisons de renforcement ont été testées, les variantes entre chaque poutre P1 à P12 testées tenant aux formulations de la matrice cimentaire des plaques de renforts **1** (également appelées plats de renfort), les dimensions des sections desdites plaques, le type d'armatures (carbone CFRP ou verre GFRP), la précontrainte éventuellement appliquée aux armatures et la géométrie des extrémités des plaques de renforcement. Les différentes combinaisons sont référencées dans le **Tableau 2**.

10 **Tableau 2 :**

Référence	Désignation	Renforcement	Dimensions du plat (mm <sup>2</sup> )	Armatures nb x diamètre (mm)
P8	Poutre témoin en BA	-	-	-
P6	Poutre témoin renforcée par collage de plats composite	Plats CFRP	50x1	-
P7	Poutre témoin renforcée par la technique NSM	Armature composite (CFRP)	-	2 x 7,5
P11	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	70x35	2 x 12
P9	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	60x30	2 x 7,5
P4	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	70x35	2 x 12
P3	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	60x30	2 x 7,5
P10	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (CFRP)	60x30	2 x 7,5
P1	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures précontraintes	Armature composite (CFRP)	60x30	1 x 7,5
P2	plaque composite armée de 2 armatures précontraintes	Armature composite (CFRP)	60x30	1 x 7,5
P5	Poutre renforcée par plaque composite armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	70x35	2 x 12
P12	Poutre renforcée par plaque composite ancrée par boulonnage aux extrémités et armée de 2 armatures	Armature composite (GFRP)	70x35	2 x 12

Un essai de flexion 4 points décrit à la Figure 4 a été réalisé sur les poutres P1 à P12 ainsi préparées afin d'éprouver les différentes

configurations de renforcement. Cet essai consiste à solliciter les poutres de manière statique et monotone en quatre points d'application A1 à A4 distincts jusqu'à leur rupture. La sollicitation de la poutre est réalisée par application d'un effort F appliqué aux points A2 et A3. La flèche de la poutre en son milieu sous l'application de l'effort F est mesurée par un capteur de déplacement C. L'instrumentation adoptée permet de recueillir en continu l'effort appliqué ainsi que la flèche à mi-travée.

Les résultats des ces essais de flexion sont rapportés dans le **Tableau 3** ci-après et sur la **Figure 5**.

10 **Tableau 3 :**

Référence	Charge à la limite élastique (kN)	Flèche à la limite élastique (mm <sup>2</sup> )	Charge à la rupture (kN)	Flèche à rupture (mm)
P8	57	7.2	89.4	37.2
P6	79	7.9	121.1	16.8
P7	75	7.4	148.1	24.1
P11	85	7.7	104.0	10.5
P9	82	7.6	145.6	19.9
P4	95	7.9	112.5	10.4
P3	92	7.8	127.2	13.7
P10	77	6.5	132.5	16
P1	93	7.9	102.9	9.8
P2	98	8.9	143.7	21.4
P5	87	7	123	12.6
P12	95	8	150.1	22.0

Ces résultats permettent de tirer les conclusions suivantes.

Les performances des poutres renforcées par des plaques de renforcement conformes à l'invention (P1-P6 et P9-P12), comprenant une matrice minérale composite fibres-ciment sont systématiquement et très sensiblement améliorées par rapport à celles de la poutre témoin (P8) qu'il s'agisse des charges ultimes (jusqu'à 63% de gain) ou qu'elles portent sur le comportement en service caractérisé par une rigidité sensiblement supérieure et un niveau de dégradation substantiellement différé.

De plus, comparés aux solutions antérieures classiques (P6, P7) les plaques de renfort conformes à l'invention s'avèrent notablement plus performantes que le plat de carbone (P6), avec une charge ultime

sensiblement augmentée (jusqu'à 17%). Cette charge ultime demeure par ailleurs du même ordre (2% d'écart) que la poutre P7 renforcée par la technique NSM.

5 S'agissant de la rigidité post-fissuration et plastification des armatures passives métalliques, elle se trouve quant à elle augmentée (+ 20 %) vis-à-vis des deux solutions de type traditionnel renforçant ainsi l'intérêt de la présente invention notamment dans le cas du comportement en service **(Figure 6)**.

10 Il est aussi significatif de constater que le taux de travail (déformation et contrainte) des joncs de carbone dans les plaques de renforcement de l'invention est significativement augmenté (entre 10% et 30%) au regard des solutions de type CFRP (plat carbone) ou NSM ce qui suggère la possibilité d'une optimisation et conséquemment un gain de matière et son corollaire en termes de prix.

15 Le recours à un ancrage mécanique et/ou à une modification de la géométrie des extrémités des plats procure également envisager une amélioration des performances des poutres notamment en termes de charge ultime.

20 L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés car diverses modifications peuvent y être apportées sans sortir de son cadre.

## REVENDEICATIONS

**1** - Élément **(1)** de renforcement d'une structure de béton armé, de type plaque ou poutre à assembler par collage ou ancrage sur une structure (PB, DB) de béton armé à renforcer, caractérisé en ce qu'il est constitué au moins d'une matrice minérale **(2)** comprenant des fibres courtes et d'armatures de rigidification **(3)**.

**2** - Élément de renforcement **(1)** selon la revendication 1, caractérisé en ce que la matrice minérale **(2)** est constituée au moins d'un liant, de sable, de fumée de silice, d'eau et d'un adjuvant haut réducteur d'eau.

**3** - Élément de renforcement **(1)** selon la revendication 2, caractérisé en ce que le liant de la matrice minérale est un ciment hydraulique.

**4** - Élément de renforcement **(1)** selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les fibres courtes incluses dans la matrice minérale sont des fibres de nature métallique et /ou organique et/ou minérale et/ou composite.

**5** - Élément de renforcement **(1)** selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les fibres courtes incluses dans la matrice minérale présentent une longueur comprise entre 8 et 15 mm.

**6** - Élément de renforcement **(1)** selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que les armatures de rigidification **(3)** sont des armatures de nature métallique et/ou composite.

**7** - Élément de renforcement **(1)** selon la revendication 6, caractérisé en ce que les armatures de rigidification **(3)** sont constituées d'acier et/ou d'un matériau polymère renforcé de fibres de verre et/ou de carbone.

**8** - Élément de renforcement **(1)** selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que les armatures de rigidification **(3)** sont précontraintes dans la matrice minérale.

**9** - Élément de renforcement (1) selon la revendication 8, caractérisé en ce que la précontrainte des armatures de rigidification est comprise entre 30% et 60% de la limite élastique desdites armatures.

5 **10** - Élément de renforcement (1) selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que ses extrémités présentent une forme biseautée conférant une diminution progressive d'épaisseur avec une pente de 15 à 45° jusqu'à l'extrémité.

10 **11** - Procédé de renforcement d'une structure de béton armé, caractérisé en ce que l'on assemble par collage sur une structure de béton armé à renforcer au moins un élément de renforcement (1) comportant une matrice minérale (2) comprenant des fibres courtes et des armatures de rigidification (3).

15 **12** - Procédé selon la revendication 11, caractérisé en ce que l'on prépare les surfaces des subjectiles à encoller préalablement au collage par ponçage ou sablage mécanique.

**13** - Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que l'on encolle les deux surfaces des subjectiles à assembler.

20 **14** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 13, caractérisé en ce que l'on maintient sous pression l'assemblage de la structure de béton armé à renforcer et de l'élément de renforcement après collage pendant une durée d'au moins douze heures.

**15** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 14, caractérisé en ce que l'on applique une épaisseur de colle (4) comprise entre 1 mm et 5 mm sur les surfaces des subjectiles à assembler avant assemblage.

25 **16** - Procédé selon les revendications 14 et 15, caractérisé en ce que l'on maintient sous pression l'assemblage après encollage jusqu'à obtenir une épaisseur de colle (4) finale comprise entre 0,5 et 2 mm.

30 **17** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 16, caractérisé en ce que l'on encolle les surfaces à encoller avec une colle structurale (4) à base de polyuréthane, d'époxy ou d'une combinaison de ces matières.

**18** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 17, caractérisé en ce que le ou les élément(s) de renforcement sont précontraints.

**19** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 18, caractérisé en ce que la matrice minérale (**2**) du ou des élément(s) de renforcement comporte un liant hydraulique.

**20** - Procédé selon l'une des revendications 11 à 19, caractérisé en ce que les fibres courtes du ou des élément(s) de renforcement sont des fibres de nature métallique et/ou composite et présentent une longueur comprise entre 5 et 15 mm.

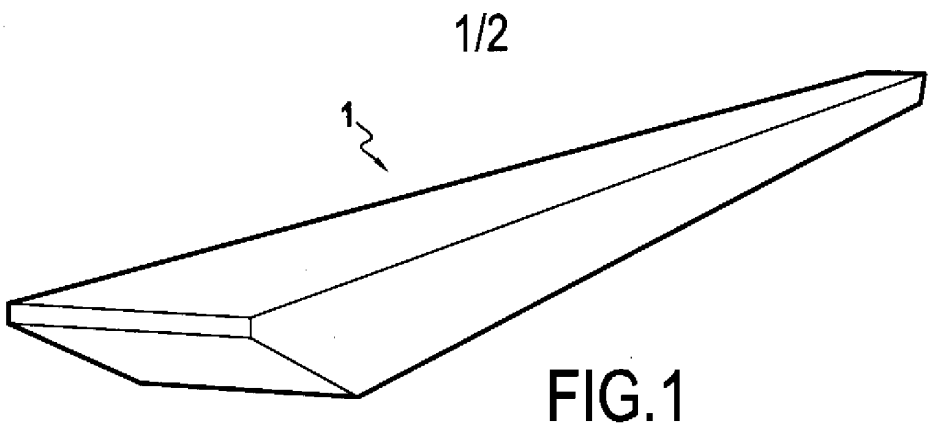


FIG. 1

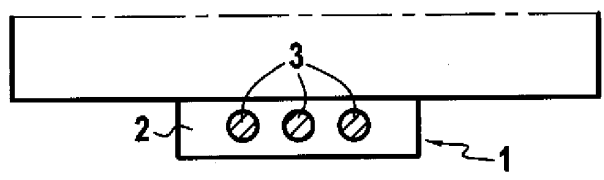


FIG. 2

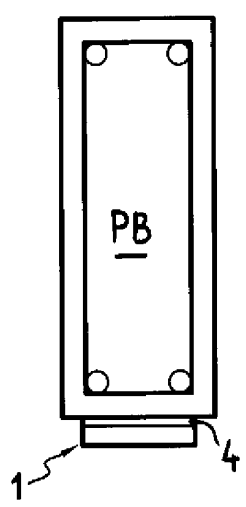


FIG. 3A

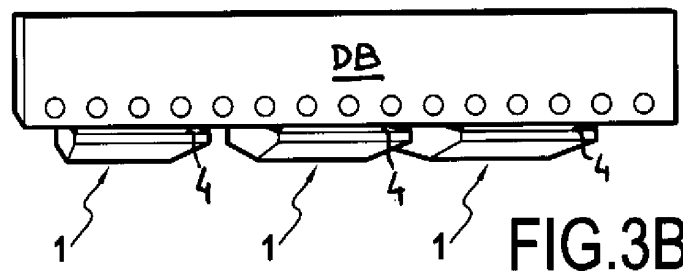


FIG. 3B

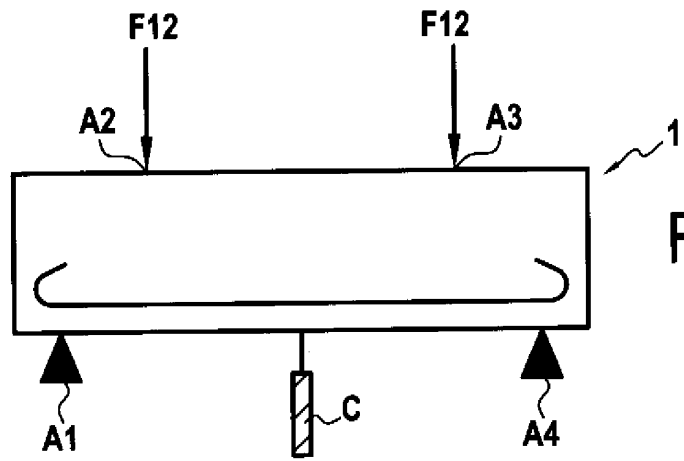


FIG. 4

2/2

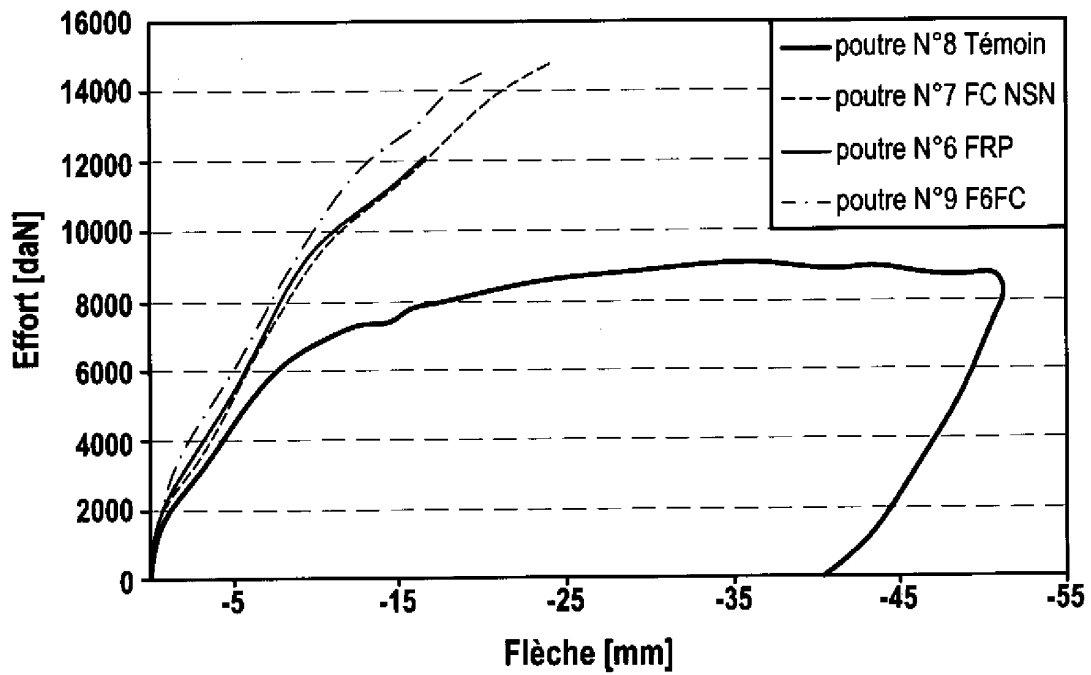


FIG.5

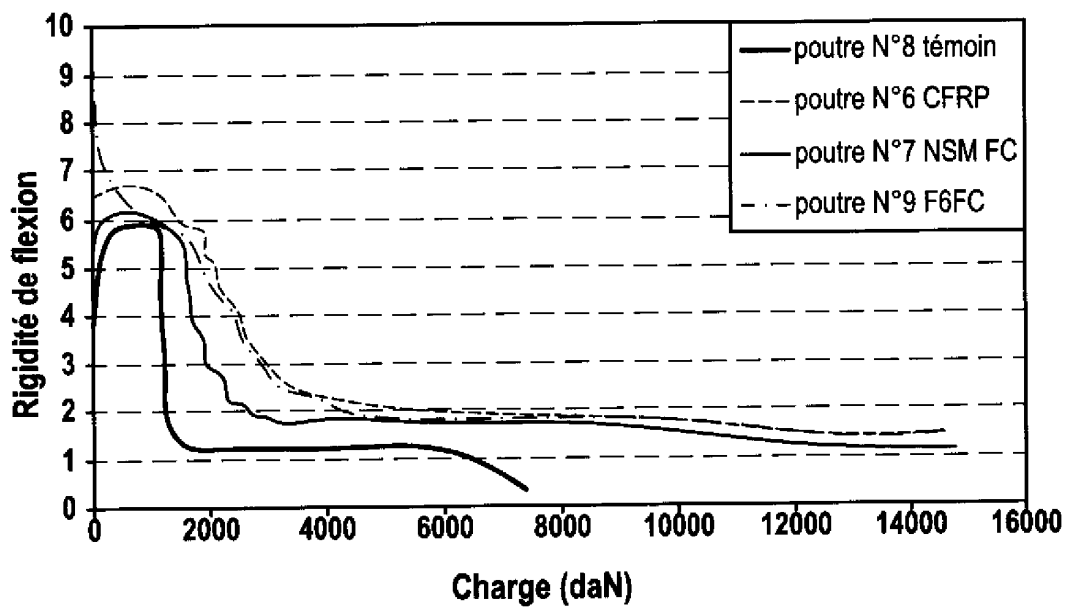


FIG.6



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

établi sur la base des dernières revendications  
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement  
national

FA 729080  
FR 0957251

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 2002/110680 A1 (BANK LAWRENCE C [US] ET AL) 15 août 2002 (2002-08-15) * page 1, alinéa 9 - page 2, alinéa 10 * * page 2, alinéa 22 - page 3, alinéa 25 * * abrégé; figures *	1-20	E04G23/00 E04C2/06 E04C2/26
Y	WO 03/053679 A1 (LAWRENCE TECHNOLOGICAL UNIVERS [US]; GRACE NABIL F [US]; RAGHEB WAEL F) 3 juillet 2003 (2003-07-03) * page 6, ligne 6 - page 7, ligne 12 * * abrégé; figures 1-3 *	1-20	
Y	EP 1 726 742 A2 (KIMIA S P A [IT]) 29 novembre 2006 (2006-11-29) * colonne 1, alinéa 1-4 * * abrégé; figure 1 *	1-20	
Y	DE 195 25 508 A1 (HOCHTIEF AG HOCH TIEFBAUTEN [DE]) 22 février 1996 (1996-02-22)	2,3,19	
A	* le document en entier *	1,4-18, 20	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	DE 20 2005 003093 U1 (HENNECKE MARKUS [DE]; MUELLER ANDRE [DE]; SPITRA FLORIAN [DE]; ZILCH K) 15 septembre 2005 (2005-09-15)	2,3,19	E04G
A	* le document en entier *	1,4-18, 20	
Y	US 5 296 187 A (HACKMAN LLOYD E [US]) 22 mars 1994 (1994-03-22)	4,5,20	
A	* colonne 6, ligne 1-16 * * abrégé; figures 1-3 *	1-3,6-19	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 mai 2010		Scharl, Willibald	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
A : arrière-plan technologique		D : cité dans la demande	
O : divulgation non-écrite		L : cité pour d'autres raisons	
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0957251 FA 729080**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.  
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **19-05-2010**  
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002110680 A1	15-08-2002	AUCUN	
-----			
WO 03053679 A1	03-07-2003	AUCUN	
-----			
EP 1726742 A2	29-11-2006	AUCUN	
-----			
DE 19525508 A1	22-02-1996	AUCUN	
-----			
DE 202005003093 U1	15-09-2005	AUCUN	
-----			
US 5296187 A	22-03-1994	WO 9421433 A1	29-09-1994
-----			