

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
—  
**INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
—  
COURBEVOIE  
—

①① N° de publication : **3 045 447**

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

②① N° d'enregistrement national : **15 62549**

⑤① Int Cl<sup>8</sup> : **B 29 C 70/16** (2017.01), B 29 C 70/38, B 29 B 15/12, 7/  
88, B 32 B 5/28, 5/26, 37/00, C 08 K 3/04

①②

## BREVET D'INVENTION

**B1**

⑤④ PROCÉDE DE FABRICATION D'UN MATERIAU COMPOSITE.

②② Date de dépôt : 16.12.15.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public  
de la demande : 23.06.17 Bulletin 17/25.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du  
brevet d'invention : 23.11.18 Bulletin 18/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche :

*Se reporter à la fin du présent fascicule*

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *COMPOSITES ET  
TECHNOLOGIES Société par actions simplifiée* — FR.

⑦② Inventeur(s) : LEPRETRE MARC.

⑦③ Titulaire(s) : *COMPOSITES ET TECHNOLOGIES  
Société par actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : *INNOVATION COMPETENCE  
GROUP.*

**FR 3 045 447 - B1**



**PROCEDE DE FABRICATION D'UN MATÉRIAU COMPOSITE.**

## DOMAINE DE L'INVENTION

5 La présente invention concerne le domaine de la fabrication d'un matériau composite par enroulement de fibres de carbone, communément appelé « enroulement filamentaire », et dans lequel l'enroulement est effectué avec des fibres de carbone pré-imprégnées de résine, ou avec des fibres de carbone sèches qui sont imprégnées entre leur stockage et ledit enroulement.

10 Pour ces raisons, sauf précision contraire, on entendra ici indistinctement les termes « pré-imprégnées » et « imprégnées ».

Le matériau composite fabriqué, une fois mis en forme, permet de réaliser diverses pièces industrielles ou artistiques. Typiquement, les pièces industrielles ainsi fabriquées comprennent 15un évidement central et présentent de préférence une forme à symétrie de révolution.

Pour simplifier la présente description, seul le cas, non limitatif, où la pièce industrielle est un réacteur pétrolier, également appelé cellule, sera décrit ici, où par réacteur pétrolier on entend dans le domaine des pompes hyper pression un tube muni d'une ouverture à l'une au 20moins de ses extrémités, et susceptible de résister à des pressions de plusieurs centaines de bars, utilisés par exemple dans la recherche pétrolière.

D'autres types de pièces industrielles peuvent être fabriqués, par exemple dans le domaine du sport (cannes à pêches, shafts de club de golf, flèches, bâtons de ski, perche de 25saut, mâts de bateaux etc.) ; dans le domaine du transport (fuselages d'avion, coques de sous-marin, corps de fusée, etc.) ; dans le domaine des canalisations (pipelines, tuyaux pour le chauffage urbain, pour l'assainissement ou pour l'adduction d'eau, etc.) ; ou encore dans le domaine du stockage de fluide sous pression, par exemple les bonbonnes ou bouteilles de 30stockage et de transport de gaz ou de mélange de gaz, notamment d'oxygène, d'hydrogène, etc.

L'enroulement filamentaire consiste à déposer un ruban de fibres de carbone imprégnées de résine sur un mandrin. Le mandrin possède un axe d'élongation et est mis en rotation autour d'un axe de rotation. En l'espèce l'axe d'élongation et l'axe de rotation du mandrin sont 35confondus. Le ruban de fibres est déposé sur le mandrin en rotation grâce à un robot mobile au moins en translation selon un axe parallèle à l'axe d'élongation du mandrin.

Le ruban de fibres de carbone défile à travers un système de guidage du robot. Les allers-retours du robot devant le mandrin permettent de créer des couches composites par empilements de rubans de fibres, dans lesquelles l'orientation des fibres et l'enchaînement des couches déterminent la résistance et la rigidité du matériau composite fabriqué.

5

Un tel enroulement filamentaire est connu de l'homme du métier.

Toutefois, si les pièces industrielles fabriquées par de tels procédés présentent des propriétés mécaniques intéressantes, il est souhaitable notamment d'améliorer encore la résistance mécanique de celles-ci.

La présente invention a pour but de répondre à ces contraintes de manière particulièrement astucieuse et peu onéreuse.

## 15 RESUME DE L'INVENTION

Plus précisément, l'invention concerne selon un premier de ses objets, un procédé de fabrication d'un matériau composite à base de fibres de carbone, pour la réalisation par enroulement filamentaire d'une pièce industrielle comprenant ledit matériau composite, le

20 procédé comprenant des étapes consistant à :

- (1000) imprégner un ruban de fibres de carbone (10) d'une matrice (21) comprenant au moins une résine et un durcisseur,
- (1030) enrouler ledit ruban de fibres de carbone (10) imprégné sur un moule (30) présentant un axe d'élongation (XX), ledit enroulement

25

  - o (1031) mettre ledit moule (30) en rotation,
  - o (1032) faire défiler le ruban de fibres de carbone (10) à travers un système de guidage d'un robot (70),
  - o (1033) déplacer ledit système de guidage dudit robot (70) en translation

30

    - au moins selon un axe parallèle à l'axe d'élongation (XX) dudit moule, et

- (1040) étuver le moule (30) sur lequel est enroulé ledit ruban de fibres de carbone (10) imprégné pour réaliser la polymérisation de la ou des résine(s) de la matrice (21).

35 Il est essentiellement caractérisé en ce que le procédé comprend en outre des étapes, préalables à l'étape d'imprégnation, consistant à :

## 3

- (1020) insérer un volume prédéterminé de poudre de carbone (22) dans la matrice (21), et
- (1021) homogénéiser le mélange comprenant ladite matrice (21) et ledit volume de poudre de carbone (22).

5

Dans un mode de réalisation, on prévoit en outre une étape, préalable à celle d'insertion, consistant à (1010) fluidifier ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22).

De préférence, on prévoit au moins l'une des étapes parmi :

- 10
- (1011) émotter ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22);
  - (1012) agiter ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22);
  - (1013) mixer ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22); et
  - (1014) broyer ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22).

15 Dans un mode de réalisation, on prévoit en outre une étape consistant à :

- (1005) déterminer le volume ou la masse dudit volume prédéterminé de poudre de carbone (22) à insérer au moins en fonction du volume de résine dans la matrice (21).

Dans un mode de réalisation, on prévoit en outre une étape de filetage (1050).

20

De préférence, l'étape de filetage (1050) comprend au moins l'une des étapes parmi :

- une étape (1051) consistant à pourvoir le moule (30) d'un filetage mâle, l'étape d'enroulement (1030) étant mise en œuvre au moins sur ledit filetage mâle ; et
- une étape (1052) consistant à usiner ou tarauder ledit ruban de fibres de carbone (10)

25 imprégné enroulé et étuvé.

Dans un mode de réalisation, on prévoit que l'étape de filetage (1050) est mise en œuvre à diamètre constant ou à diamètre croissant, de sorte à créer un filetage respectivement cylindrique ou tronconique.

30

Dans un mode de réalisation, on prévoit en outre au moins l'une des étapes parmi :

- découper (1060) une partie au moins dudit ruban de fibres de carbone (10) imprégné enroulé et étuvé dans son épaisseur ; et
- graver (1070) une partie au moins dudit ruban de fibres de carbone (10) imprégné

35 enroulé et étuvé.

## 4

Dans un mode de réalisation, l'étape de déplacement (1033) du système de guidage (70) dudit robot comprend en outre une étape consistant à :

- maintenir (1080) temporairement ledit système de guidage (70) entre deux positions prédéterminées, dont la distance de séparation est inférieure à la longueur totale du moule, de sorte à créer un renflement de fibres de carbone entre lesdites deux positions.

Selon un autre de ses objets, l'invention concerne une pièce industrielle fabriquée par enroulement filamentaire d'un ruban de fibres de carbone (10) selon un procédé de fabrication selon l'invention, ladite pièce industrielle étant choisie parmi l'ensemble comprenant : les réacteurs pétroliers, les cannes à pêches, les manches de club de golf, les flèches, les bâtons de ski, les perches de saut, les mâts de bateaux les fuselages d'avion, les coques de sous-marin, les corps de fusée, les pipelines, les tuyaux pour le chauffage urbain, pour l'assainissement ou pour l'adduction d'eau, les dispositifs de stockage de fluide sous pression tels que les bonbonnes ou bouteilles de stockage et de transport de gaz, notamment d'oxygène ou d'hydrogène.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante donnée à titre d'exemple illustratif et non limitatif et faite en référence aux figures annexées.

20

## DESCRIPTIF DES DESSINS

- la figure 1 illustre un mode de réalisation d'un système permettant la mise en œuvre du procédé selon l'invention, et
- la figure 2A illustre un exemple d'enroulement de ruban de fibres de carbone selon l'art antérieur ;
- la figure 2B illustre un exemple d'enroulement de ruban de fibres de carbone selon l'invention ;
- la figure 3A illustre une coupe transversale de l'enroulement de la figure 2A ;
- la figure 3B illustre une coupe transversale de l'enroulement de la figure 2B ;
- la figure 4 illustre une coupe longitudinale d'un mode de réalisation d'un réacteur pétrolier selon l'invention ; et
- la figure 5 illustre un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

35

## DESCRIPTION DETAILLEE

Un exemple de système d'enroulement filamentaire est illustré en figure 1.

Un ruban 10 de fibres de carbone, parfois également appelé « nappe », est enroulé sur une bobine 40. Par exemple la nappe est constituée de fibres de carbone de 70 mm tressées les unes aux autres.

Lorsque le ruban 10 de fibres de carbone est un ruban de fibres sèches, on prévoit un rouleau d'imprégnation 60, qui baigne en partie dans un bac 20 comprenant une matrice 21, c'est-à-dire un mélange de durcisseur et d'au moins une résine, de sorte que la rotation du rouleau d'imprégnation 60 permet d'imprégner le ruban 10 de fibres de carbone lorsque ledit ruban est au contact dudit rouleau.

Le type de matrice, le taux respectif de résine(s) et de durcisseur dans la matrice est choisi typiquement selon l'usage désiré du matériau composite et la température d'utilisation dudit matériau, ou encore selon l'élasticité ou la rigidité diélectrique désirée du matériau composite.

Sur la figure 1, on a représenté un ruban 10 de fibres de carbone passant par la partie haute du rouleau d'imprégnation 60, c'est-à-dire au-dessus du centre de rotation dudit rouleau ; on peut aussi prévoir que le ruban 10 de fibres de carbone passe par la partie basse du rouleau d'imprégnation 60, c'est-à-dire au-dessous du centre de rotation, en plongeant directement dans le bain.

En aval du bac 20 comprenant la matrice 21 de résine et de durcisseur dans le sens de défilement du ruban 10 de fibres de carbone, on prévoit un moule 30 monté à rotation le long de son axe d'élongation XX, qui permet de mettre en forme le matériau composite par enroulement dudit matériau composite autour dudit moule, et dont la rotation est illustrée par une flèche pleine sur la figure 1.

25 Pour simplifier la présente description, on ne décrit ici que le cas où le moule 30 est un mandrin.

Pour guider la position du ruban 10 de fibres de carbone sur le mandrin 30, on prévoit un système de guidage 70 d'un robot (non illustré) à travers lequel le ruban de fibres de carbone 30 défile 1032. Le système de guidage 70 est mobile en translation selon un axe X1X1 selon lequel il peut être déplacé 1033, l'axe X1X1 étant parallèle à l'axe d'élongation XX dudit mandrin 30, la mobilité du système de guidage étant représentée par deux flèches pleines sur la figure 1.

35 Les déplacements système de guidage 70 et la rotation du mandrin 30 sont synchronisés, le plus souvent grâce à un automate à commande numérique.

## 6

Entre la bobine 40 et le système de guidage 70 du robot, on peut prévoir un ensemble d'au moins une poulie 50, pour guider le ruban 10 de fibres de carbone et éventuellement mettre en tension celui-ci.

5 De préférence, la tension du ruban 10 de fibres de carbone est réglable de façon à pouvoir piloter la compaction du matériau composite.

De façon connue en soi, on peut prévoir au moins l'un quelconque des types d'enroulement filamentaire parmi un enroulement hélicoïdal, un enroulement circonférentiel, et 10 un enroulement polaire (également appelé « satellite »).

Une fois l'enroulement filamentaire effectué, le mandrin 30 et le ruban 10 de fibres de carbone enroulé sur celui-ci sont mis dans une étuve pour une étape de cuisson ou étuve 1040 permettant de réaliser la polymérisation de la résine, puis mis à refroidir ensuite.

15

La température de cuisson, ainsi que le cycle de cuisson sont choisis de préférence en fonction du type de résine(s) dans la matrice 21.

Le ruban 10 de fibres de carbone une fois imprégné par le mélange de résine(s) et de 20 durcisseur de la matrice 21 crée un matériau composite, enroulé en couches sur le mandrin 30. Ce matériau composite est mis en forme notamment par ledit mandrin et utilisé par exemple pour la fabrication d'une pièce industrielle multicouche.

Comme évoqué précédemment, par concision, seul le cas où la pièce industrielle est un 25 réacteur pétrolier est décrit ici.

Un réacteur pétrolier, illustré figure 4, est une pièce comprenant un corps principal 120 allongé selon un axe d'élongation YY et muni d'une ouverture à l'une au moins de ses extrémités, et susceptible de résister à des pressions internes de plusieurs centaines de bars.

30

Au moins le corps principal, réalisé à partir d'un mandrin cylindrique, est à symétrie de révolution autour de son axe d'élongation YY.

L'épaisseur du corps principal 120 du réacteur pétrolier dépend de l'épaisseur du ruban 35 10 de fibres de carbone et du nombre d'enroulements de celui-ci sur le mandrin 30.

Un exemple d'enroulement de ruban 10 de fibres de carbone est illustré sur la figure 2A, et une coupe transversale de cet enroulement est illustrée sur la figure 3A.

Comme illustré figure 2A, il existe un espace 23 entre deux rubans adjacents (les figures ne sont pas à l'échelle). Cet espace 23 est lié à l'enroulement filamentaire et ne peut être mécaniquement supprimé.

5

Si les espaces 23 étaient remplis d'air, le matériau composite serait extrêmement fragile et offrirait une très faible résistance mécanique. Ce pourquoi, selon l'art antérieur, l'espace 23 entre deux rubans adjacents est rempli par la matrice 21 de mélange de résine et de durcisseur.

Bien que la résine de la matrice n'offre pas de résistance mécanique intrinsèque très élevée, la présence de résine dans les espaces 23 permet d'augmenter la résistance du matériau composite par rapport à un matériau composite similaire dans lequel les espaces 23 seraient remplis d'air. Cependant, la résine, dont la structure est proche de celle du verre, reste un matériau intrinsèquement fragile.

15 Ce pourquoi, selon l'invention, pour améliorer encore la résistance du matériau composite, on prévoit d'insérer 1020, indistinctement disperser, dans la matrice 21 un volume prédéterminé de poudre de carbone 22, qui agit comme une charge en l'espèce minérale.

Par poudre de carbone 22, on entend indistinctement au moins l'un parmi :

- 20
- un ensemble de billes de carbone; et
  - un ensemble de fibres de carbone, de préférence non tressées.

L'ensemble de billes de carbone, par exemple du noir de suie, peut être homogène ou non homogène ; c'est-à-dire que les billes de carbone ont un diamètre équivalent moyen 25compris entre deux valeurs prédéterminées et que l'écart type du diamètre équivalent est respectivement inférieur à une première valeur seuil, et supérieur à une deuxième valeur seuil.

De préférence, le diamètre équivalent des billes de carbone est inférieur à la plus petite dimension d'un espace 23, typiquement 0.1 mm. Typiquement, le diamètre équivalent est 30compris entre 10 et 500 nm.

De préférence, les fibres de carbone de l'ensemble de fibres de carbone, par exemple des nanotubes, présentent une longueur inférieure à la plus petite dimension d'un espace 23. Typiquement, les fibres de carbone présentent une longueur inférieure à 1 mm.

35

Grâce à la poudre de carbone 22, c'est-à-dire à la surface de frottement que procure chacune des billes ou des fibres, la matrice 21 présente alors une résistance mécanique intrinsèque très supérieure à celle qu'elle présente avec la seule résine.



La poudre de carbone 22 mélangée à la matrice 21 de résine et de durcisseur s'insère partout, entre les fibres de carbone, et notamment dans les espaces 23, comme illustré figure 2B et figure 3B, et augmente la résistance du matériau composite obtenu par augmentation des forces de frottement.

Comme illustré figure 3B, la poudre de carbone 22 mélangée à la matrice 21 s'insère également entre deux couches superposées de ruban de fibres 10, séparées l'une de l'autre typiquement d'environ 0.3 mm, ce qui participe également à la résistance mécanique du matériau composite.

On peut prévoir de déterminer le volume ou la masse dudit volume prédéterminé de poudre de carbone inséré au moins en fonction de l'un au moins des paramètres parmi :

- Le volume de résine dans le bac 20 ;
- Le volume de durcisseur dans le bac 20 ;
- Le volume de mélange de résine et de durcisseur dans le bac 20 ; et
- La résistance mécanique cible du matériau composite.

Par exemple, on prévoit que le pourcentage en volume de poudre de carbone 22 par rapport à la résine est compris entre 0,5% et 10%, avec un taux préférentiel de 3,5 %.

De préférence, on prévoit d'homogénéiser la matrice 21 et la poudre de carbone 22, ce qui permet que tous les espaces 23 soient remplis à peu près de la même quantité de poudre de carbone, ce qui homogénéise les propriétés de résistance mécanique du matériau composite.

Dans son récipient de stockage, il est possible que la poudre de carbone se compacte naturellement par endroits en formant des mottes ou grumeaux. Ce pourquoi, on peut prévoir de fluidifier le volume prédéterminé de poudre de carbone préalablement à son insertion dans le mélange 21 de résine et de durcisseur.

En particulier, on peut prévoir l'une au moins des techniques, y compris manuelles, de fluidification parmi : l'émottage, l'agitation, le mixage, le broyage etc. dudit volume prédéterminé de poudre de carbone.

35

Une fois l'enroulement filamentaire terminé, on prévoit une étape d'étuvage du mandrin sur lequel est enroulé le matériau composite, au-delà de la température de transition vitreuse de la résine, ce qui permet à celle-ci de polymériser.

Avantageusement, la présence de poudre de carbone ne change pas la température de transition vitreuse.

On prévoit ensuite une étape de refroidissement dudit mandrin et dudit matériau composite, solidaire du mandrin, typiquement jusqu'à une température ambiante, où le matériau composite constitue une partie au moins de la pièce industrielle à fabriquer.

Dans un mode de réalisation, on prévoit que la pièce industrielle, c'est-à-dire le matériau composite mis en forme, comprend un filetage, en l'espèce à l'une de ses extrémités, réalisée par filetage 1050 dudit matériau composite mis en forme.

Selon l'art antérieur, il est impossible de fileter le matériau composite du fait que la résine présente une texture similaire à du verre et éclate dans ce cas, ce pourquoi il est classique d'insérer un embout (aussi appelé insert), en acier inoxydable ou en titane, dans le matériau composite, ledit embout étant fileté.

Selon l'art antérieur, un embout comprend une partie, en l'espèce de section circulaire, lisse qui vient s'emboîter sur le mandrin. La forme interne de l'embout coopère avec la forme externe du mandrin. L'enroulement filamentaire est alors mis en œuvre sur l'embout solidaire du mandrin. Après cuisson, le mandrin peut coulisser à l'intérieur de l'embout pour retirer ledit mandrin tout en conservant l'embout solidaire du matériau composite.

La présente invention permet de s'affranchir de cette double contrainte d'embout et de poids. Grâce à l'invention, on peut supprimer la nécessité d'embouts, donc limiter le coût de fabrication, et rendre la pièce fabriquée à partir du matériau composite plus légère. En effet, grâce à la présente invention, le matériau composite étant beaucoup plus résistant grâce à poudre de carbone qui agit comme une charge, il est possible de fileter directement le matériau composite, par exemple par moulage ou par usinage dudit matériau composite, donc un embout en métal ou en alliage n'est plus nécessaire.

30

En outre, en l'absence d'embouts en métal/alliage, la présente invention permet de diminuer le poids de la pièce fabriquée avec le matériau composite. En particulier dans le domaine des réacteurs pétroliers, plus un embout possède en diamètre interne important, plus son volume est important donc plus son poids est important. Et ce d'autant plus pour les aciers dont la densité est d'environ 7.8 que pour le titane dont la densité est de 4.

Ainsi, comparativement à un réacteur pétrolier muni d'embouts en acier, comme le matériau composite selon l'invention possède une densité d'environ 1.4, le gain de poids avec

## 10

un matériau composite fileté selon l'invention est d'autant plus important que le volume du réacteur pétrolier est grand.

Par exemple, pour un réacteur pétrolier classique, de dimensions déterminées, muni de deux embouts en acier inoxydable ayant une masse de l'ordre de 10 kg, on peut diminuer le poids de ce type de réacteur pétrolier à l'aide d'embouts en titane jusqu'à environ 5 kg, mais pour coût très largement supérieur à celui d'embouts en acier. Grâce à l'invention, on peut fabriquer un réacteur pétrolier de mêmes dimensions mais dont la masse est alors d'environ 2kg.

10

Avantageusement, le filetage ou l'usinage du matériau composite peut être effectué à n'importe quelle température, dans la limite de la température de transformation vitreuse de la résine de la matrice.

15 Le filetage peut être de type femelle comme illustré sur la figure 4, ou de type mâle (non illustré).

Un filetage de type femelle peut être réalisé soit par usinage ou taraudage 1052 du matériau composite, soit par enroulement filamentaire 1051 sur un moule de type mâle monté 20solidaire du mandrin.

Le filetage peut être à diamètre constant ou conique.

De préférence, le diamètre du filetage est supérieur ou égal à celui mandrin, c'est-à-dire 25au diamètre interne du réacteur pétrolier.

Enfin, toujours grâce aux propriétés de résistance mécanique du matériau composite selon l'invention, il est possible de découper 1060 une partie au moins dudit matériau composite dans son épaisseur, sans que celui-ci casse ni ne se désagrège, par exemple par jet 30d'eau ou par laser.

Il est également possible de graver 1070 une partie au moins dudit matériau composite, par exemple par laser, sans pour autant compromettre les propriétés de résistance mécanique dudit matériau composite.

35

En particulier dans le domaine des pompes hyper pression, la pression interne du réacteur pétrolier 100 génère une force (ou poussée) radiale importante. Les pompes hyper pression peuvent alors présenter des risques de fissure.

Pour contrer cet effet, on peut prévoir de créer un renflement 110, c'est-à-dire de tisser ledit ruban de fibres de carbone imprégnées sur une zone prédéterminée, notamment vers les extrémités, en particulier au niveau des filetages 130, où les risques de cassure sont les plus grands, dans laquelle l'épaisseur du matériau composite est supérieure à l'épaisseur du matériau composite au niveau du corps principal 120 du réacteur pétrolier, en maintenant temporairement ledit système de guidage 70 entre deux positions prédéterminées définissant ladite zone prédéterminée, la distance séparant lesdites deux positions prédéterminées étant inférieure à la longueur totale du moule.

10

De préférence, on prévoit également une étape de lissage d'une partie au moins de la surface du matériau composite, ce qui permet d'éliminer les aspects de surface (bulles, gouttes, fibres de carbone radiales, granulosités, etc.) par exemple par ponçage, limage ou ré-usinage.

15 Grâce à l'invention, il est possible d'augmenter la résistance mécanique d'un matériau composite, donc de toute pièce fabriquée à partir de celui-ci.

Des essais de cisaillement de filetage ont été réalisés par la demanderesse. A cet effet, une vis en matériau composite selon l'invention a été fabriquée avec un diamètre de 52 mm et un pas de vis de 5 mm, sur laquelle un écrou en acier de 40 mm d'épaisseur a été vissé à mis parcours du filetage. Une pression axiale a été exercée sur l'écrou. Une telle vis résiste sans aucun endommagement et reste parfaitement fonctionnelle à une force de 8000 DaN et le filetage se rond à 15000 DaN.

25 Nomenclature

10	ruban de fibres de carbone
20	bac
21	matrice
22	poudre de carbone
23	espace entre deux rubans adjacents
30	moule
40	bobine
50	poulie
60	rouleau d'imprégnation
70	système de guidage d'un robot
100	réacteur pétrolier
110	renflement
120	corps principal
130	filetage
XX	axe d'élongation du moule
YY	axe d'élongation d'un réacteur pétrolier

**REVENDEICATIONS**

1. Procédé de fabrication d'un matériau composite à base de fibres de carbone, pour la réalisation par enroulement filamentaire d'une pièce industrielle comprenant ledit matériau composite, le procédé comprenant des étapes consistant à :

- 5
- (1000) imprégner un ruban de fibres de carbone (10) d'une matrice (21) comprenant au moins une résine et un durcisseur,
  - (1030) enrouler ledit ruban de fibres de carbone (10) imprégné sur un moule (30) présentant un axe d'élongation (XX), ledit enroulement comprenant des étapes consistant à :
- 10
- o (1031) mettre ledit moule (30) en rotation,
  - o (1032) faire défiler le ruban de fibres de carbone (10) à travers un système de guidage d'un robot (70),
  - o (1033) déplacer ledit système de guidage dudit robot (70) en translation au moins selon un axe parallèle à l'axe d'élongation (XX) dudit moule, et
- 15
- (1040) étuver le moule (30) sur lequel est enroulé ledit ruban de fibres de carbone (10) imprégné pour réaliser la polymérisation de la ou des résine(s) de la matrice (21) ;

et préalablement à l'étape d'imprégnation :

- 20
- (1020) insérer un volume prédéterminé de poudre de carbone (22) dans la matrice (21), et
  - (1021) homogénéiser le mélange comprenant ladite matrice (21) et ledit volume de poudre de carbone (22),

caractérisé en ce que le procédé comprend en outre une étape de filetage (1050) du matériau composite.

25

2. Procédé selon la revendication 1, comprenant en outre une étape, préalable à celle d'insertion, consistant à (1010) fluidifier ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22).

3. Procédé selon la revendication 2, comprenant au moins l'une des étapes parmi :

- 30
- (1011) émarrer ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22);
  - (1012) agiter ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22);
  - (1013) mixer ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22); et
  - (1014) broyer ledit volume prédéterminé de poudre de carbone (22).

35

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape consistant à :

- (1005) déterminer le volume ou la masse dudit volume prédéterminé de poudre de carbone (22) à insérer au moins en fonction du volume de résine dans la matrice (21).

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de filetage (1050) comprend au moins l'une des étapes parmi :

- 5 - une étape (1051) consistant à pourvoir le moule (30) d'un filetage mâle, l'étape d'enroulement (1030) étant mise en œuvre au moins sur ledit filetage mâle ; et
- une étape (1052) consistant à usiner ou tarauder ledit ruban de fibres de carbone (10) imprégné enroulé et étuvé.

10 6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de filetage (1050) est mise en œuvre à diamètre constant ou à diamètre croissant, de sorte à créer un filetage respectivement cylindrique ou tronconique.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre au moins l'une des étapes parmi :

- 15 - découper (1060) une partie au moins dudit ruban de fibres de carbone (10) imprégné enroulé et étuvé dans son épaisseur ; et
- graver (1070) une partie au moins dudit ruban de fibres de carbone (10) imprégné enroulé et étuvé.

20 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de déplacement (1033) du système de guidage (70) dudit robot comprend en outre une étape consistant à :

- 25 - maintenir (1080) temporairement ledit système de guidage (70) entre deux positions prédéterminées, dont la distance de séparation est inférieure à la longueur totale du moule, de sorte à créer un renflement de fibres de carbone entre lesdites deux positions.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la pièce industrielle est un réacteur pétrolier, comprenant un corps principal (120) allongé selon un axe d'élongation (YY) et muni d'une ouverture à l'une au moins de ses extrémités, et dans lequel 30 l'étape de filetage (1050) est mise en œuvre à l'une au moins desdites extrémités.

10. Pièce industrielle fabriquée par enroulement filamentaire d'un ruban de fibres de carbone (10) selon un procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite pièce industrielle étant choisie parmi l'ensemble comprenant : les réacteurs 35 pétroliers, les cannes à pêches, les shafts de club de golf, les flèches, les bâtons de ski, les perches de saut, les mâts de bateaux les fuselages d'avion, les coques de sous-marin, les corps de fusée, les pipelines, les tuyaux pour le chauffage urbain, pour l'assainissement ou pour l'adduction d'eau, les dispositifs de stockage de fluide sous pression tels que les

bombones ou bouteilles de stockage et de transport de gaz, notamment d'oxygène ou d'hydrogène.

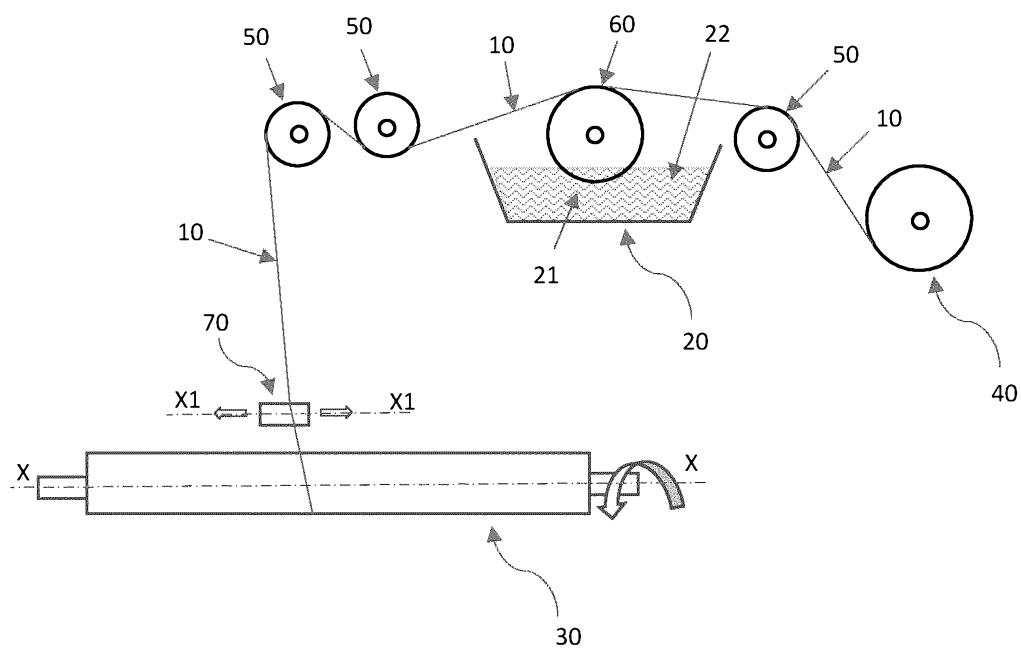


FIGURE 1

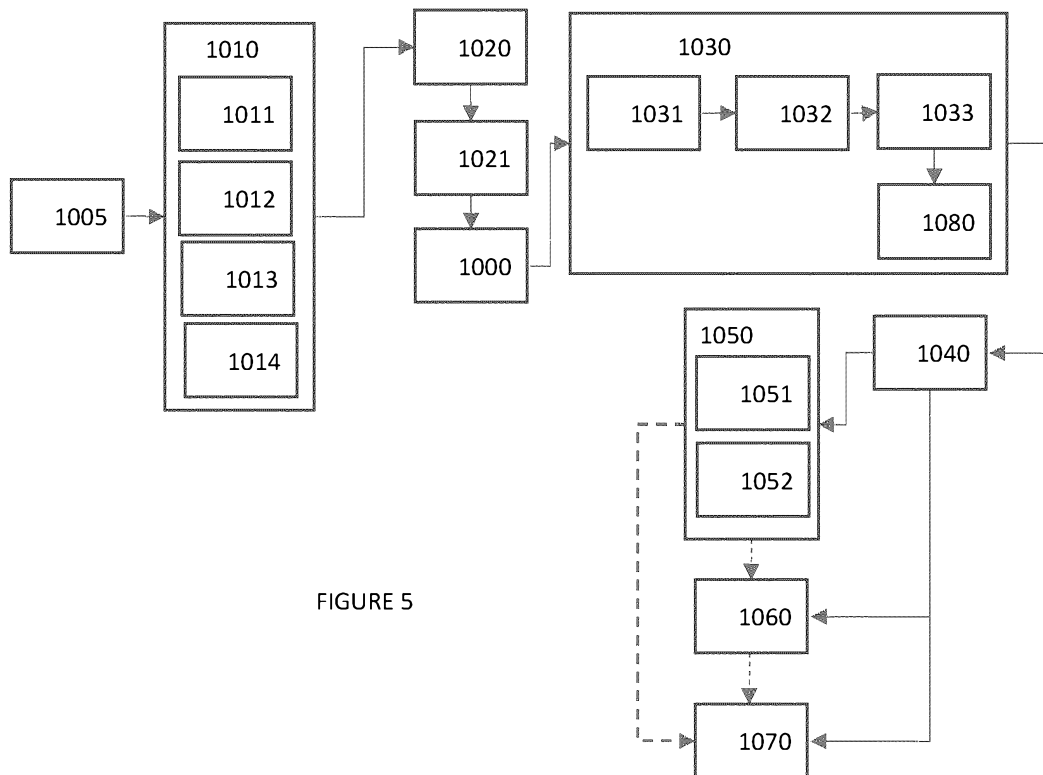
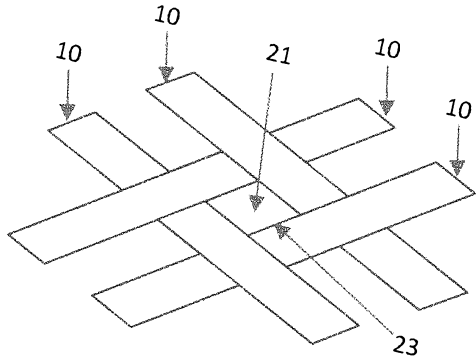


FIGURE 5





ART ANTERIEUR  
FIGURE 2A

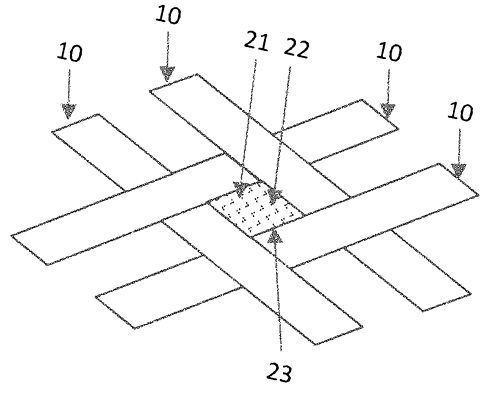
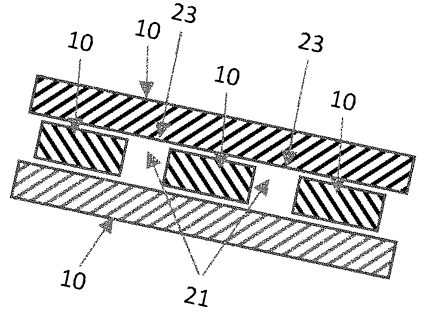


FIGURE 2B



ART ANTERIEUR  
FIGURE 3A

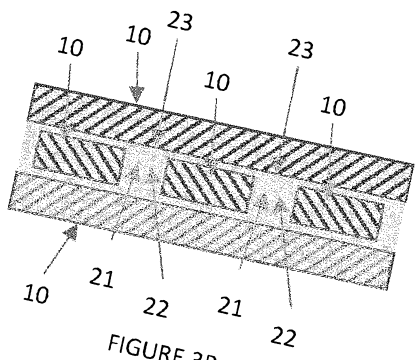


FIGURE 3B

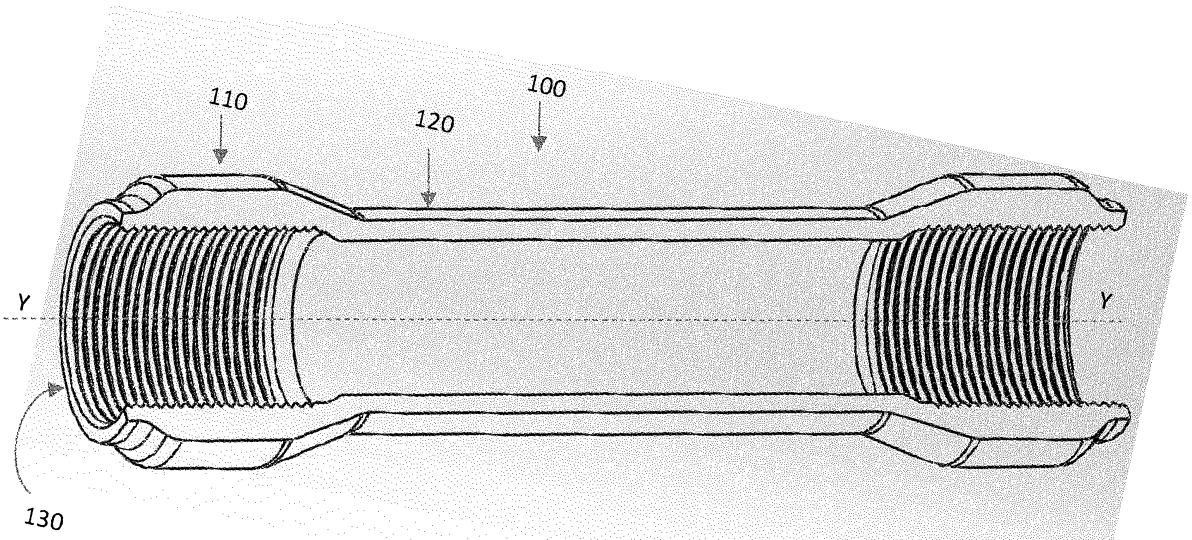


FIGURE 4

# RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-17 et R.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

## OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

---

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

## CONDITIONS D'ÉTABLISSEMENT DU PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

- Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.
- Le demandeur a maintenu les revendications.
- Le demandeur a modifié les revendications.
- Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.
- Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.
- Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

## DOCUMENTS CITÉS DANS LE PRÉSENT RAPPORT DE RECHERCHE

---

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

- Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.
- Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.
- Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.
- Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2015/031635 A1 (PROOF RES INC [US])  
5 mars 2015 (2015-03-05)

US 3 485 272 A (SCHMIDT DONALD L ET AL)  
23 décembre 1969 (1969-12-23)

WO 88/03468 A2 (BASF AG [DE])  
19 mai 1988 (1988-05-19)

US 9 033 822 B1 (DEMILLE BRANDON D [US] ET AL)  
19 mai 2015 (2015-05-19)

US 2008/135174 A1 (KISCH ROBERT A [US] ET AL)  
12 juin 2008 (2008-06-12)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT