

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

11 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 041 561

21 N° d'enregistrement national : 15 59113

51 Int Cl⁸ : B 29 C 70/86 (2017.01), B 29 C 70/44, F 03 D 1/00,
B 29 L 31/08

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 28.09.15.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 31.03.17 Bulletin 17/13.

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 :

○ Demande(s) d'extension : Polynésie-Fr

71 Demandeur(s) : NENUPHAR Société anonyme — FR.

72 Inventeur(s) : SILVERT FREDERIC.

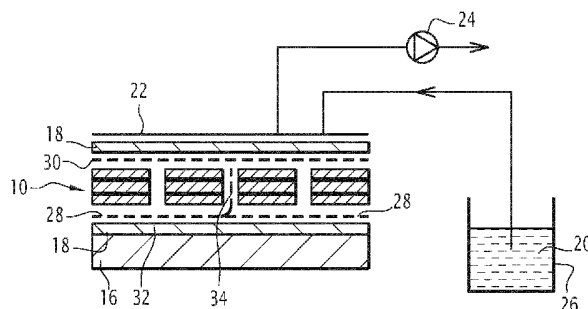
73 Titulaire(s) : NENUPHAR Société anonyme.

74 Mandataire(s) : LAVOIX.

54 PROCÉDE DE FABRICATION D'UNE PIÉCE EN MATÉRIAU COMPOSITE ET PIÉCE OBTENUE PAR UN TEL
PROCÉDE DE FABRICATION.

57 Ce procédé de fabrication comprend les étapes de positionner au moins une nappe de fibres (18) sèche et d'au moins un insert de renfort (10) dans une chambre à vide, l'insert de renfort (10) étant formé par empilement alterné de lames (12) en résine à renfort de fibres et de couches de résine inter-lames non polymérisée ou partiellement polymérisée avant de réaliser l'empilement, infuser sous vide une résine d'infusion (20) non polymérisée dans la nappe de fibres pour former une couche en résine à renfort de fibres, puis polymériser simultanément la résine d'infusion (20) et la résine inter-lames.

Application notamment à la fabrication d'une pale de rotor d'éolienne ou de bras pour supporter une telle pale.



FR 3 041 561 - A1



**Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite et pièce
obtenue par un tel procédé de fabrication**

La présente invention concerne le domaine de la fabrication de pièces en matériau composite, notamment pour la fabrication de pièces d'éoliennes, en particulier pour la fabrication de pales de rotor d'éolienne ou de bras de support de telles pales.

Il est possible de fabriquer une enveloppe à profil aérodynamique de pale d'éolienne par assemblage de deux demi-enveloppes définissant respectivement l'intrados et l'extrados de la pale, chaque demi-enveloppe étant réalisée en résine renforcée de fibres de verre (GFRP pour « Glass Fiber Reinforced Plastic » en anglais).

Chaque demi-enveloppe est réalisée par exemple par moulage par infusion de résine sous vide, en plaçant des nappes de fibres de sèches dans un moule, en recouvrant l'ensemble d'une bâche à vide pour former une chambre à vide avec le moule, en faisant le vide dans la chambre à vide, et en alimentant le moule en résine d'infusion, de sorte que la résine infuse les fibres des nappes sous l'effet du vide créé dans la chambre, puis en polymérisant la résine d'infusion.

Pour renforcer la pale, il est possible de prévoir des inserts de renfort dans les demi-enveloppes, par exemple des inserts de renfort formés de lames empilées, les lames étant réalisées en résine renforcée de fibres de carbone (CFRP pour « Carbon Fiber Reinforced Plastic » en anglais).

Les lames des inserts de renfort sont par exemple réalisées par pultrusion. La pultrusion est un procédé de fabrication dans lequel un faisceau de fibres est tiré de manière à passer successivement dans un bain de résine non polymérisée, dans une filière et dans un four pour polymériser la résine. La pultrusion permet d'obtenir des profilés (notamment des lames) très résistants et très rigides, et dont les caractéristiques mécaniques plus élevées présentent des variabilités réduites d'un profilé à l'autre. La variabilité réduite permet de prendre des marges de sécurité plus réduites sur les caractéristiques mécaniques des profilés, et donc finalement de fabriquer des pièces plus légères à partir de ces profilés.

Les inserts de renforts sont par exemple disposés dans l'épaisseur des demi-enveloppes, en étant pris en sandwich entre des nappes de fibres des demi-enveloppes, et en étant liés aux nappes de fibres par la résine infusant les nappes de fibres. Cependant, une difficulté réside dans le fait d'assurer la cohésion des lames des inserts de renfort et des nappes de fibres infusées par la résine.

WO 2014/079456 A1 et WO 2015/096840 A1 divulguent des procédés de fabrication d'enveloppes de pale d'éolienne comprenant des inserts de renfort formés d'empilement de lames pultrudées insérés entre des nappes de fibres infusées de résine.

Un des buts de l'invention est de proposer un procédé de fabrication qui permette d'obtenir une bonne cohésion dans une pièce en résine renforcée de fibres, entre des nappes de fibres infusées de résine et des inserts de renfort de la pièce formés de lames empilées.

5 A cet effet, l'invention propose un procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite, comprenant les étapes suivantes : positionnement d'au moins une nappe de fibres sèche et d'au moins un insert de renfort dans une chambre à vide, l'insert de renfort étant formé par empilement alterné de lames en résine à renfort de fibres et de couches de résine inter-lames non polymérisée ou partiellement polymérisée avant de réaliser
10 l'empilement, infusion sous vide d'une résine d'infusion non polymérisée dans la nappe de fibres pour former une couche en résine à renfort de fibres, puis polymérisation simultanément de la résine d'infusion et de la résine inter-lames.

Le procédé de fabrication comprend en option une ou plusieurs des caractéristiques suivante, prises isolément ou selon toutes les combinaisons
15 techniquement possibles :

- les lames sont pultrudées ;
- les fibres de renfort des lames possèdent un module d'Young plus élevé que celui des fibres de la nappe de fibres, une limite de contrainte à la rupture plus élevée que celle des fibres de la nappe de fibres et/ou une déformation à la rupture plus élevée que
20 celle des fibres de la nappe de fibres ;
- les fibres de renfort des lames sont des fibres de carbone ou des fibres d'aramide ;
- les fibres de la nappe de fibres sèche sont des fibres de verres ;
- les plages de température de polymérisation de la résine inter-lames et de la
25 résine d'infusion se chevauchent ;
- l'épaisseur maximale d'un organe de renfort formé par un insert de renfort ou plusieurs inserts de renfort adjacents est supérieure à 50 mm et/ou la longueur de l'organe de renfort est supérieure à 80 m ;
- la résine inter-lames est une résine époxy, une résine vinylester ou une résine polyester et/ou la résine d'infusion est une résine époxy, une résine vinylester ou une
30 résine polyester ; et
- la résine inter-lames et la résine d'infusion sont identiques, ou de la même famille de résine.

L'invention concerne également une pièce en matériau composite, en particulier
35 une pale de rotor d'éolienne ou un bras de support d'une pale de rotor d'éolienne à axe vertical, obtenue selon un procédé de fabrication tel que défini ci-dessus.

L'invention et ses avantages seront mieux compris à la lecture de la description qui va suivre, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, sur lesquels :

- 5 - la Figure 1 est une vue schématique en coupe transversale d'une pièce réalisée en matériau composite, comprenant des couches en résine renforcée de fibres et des inserts de renfort formés d'empilements de lames en résine renforcée de fibres ;
- la Figure 2 est une vue de détail d'un insert de renfort de la Figure 1 ;
- la Figure 3 est une vue schématique partielle en coupe transversale d'un moule de moulage par infusion pour la réalisation de la pièce de la Figure 1 ;
- 10 - la Figure 4 est une vue schématique partielle en coupe longitudinale d'un moule de moulage par infusion pour la réalisation de la pièce de la Figure 1 ;
- la Figure 5 est une vue en coupe longitudinale illustrant un agencement d'inserts de renfort ;
- la Figure 6 est une vue en coupe transversale illustrant un agencement
- 15 d'inserts de renfort ; et
- les Figures 7 et 8 sont des vues schématiques en coupe de pales de rotor d'éolienne réalisées en matériau composite.

La pièce 2 illustrée sur la Figure 1 est réalisée en matériau composite. La pièce 2 est allongée suivant une direction longitudinale, ici perpendiculaire au plan de la Figure 1, qui représente la pièce 2 en coupe transversale.

La pièce 2 comprend des couches en résine renforcée de fibres 8, en particulier une résine renforcée de fibres de verre (GFRP), et des inserts de renfort 10 disposés entre des couches en résine renforcée de fibres 8. La pièce comprend deux couches renforcées de fibres 8 définissant des peaux superficielles de la pièce 2.

25 Chaque insert de renfort 10 est formé d'un empilement de lames 12 réalisées en résine renforcée de fibres. Chaque insert de renfort 10 est donc stratifié. Les inserts de renfort 10 renforcent les couches en résine renforcée de fibres 8. Les inserts de renfort 10 sont allongés.

Comme cela apparaîtra dans la suite de la description, il est possible de former un insert de renfort à l'aide d'une lame 12 seule pour renforcer les couches en résine renforcée de fibres 8. Des inserts de renfort 10 sont disposés côte à côte sur la largeur de la pièce 2.

De préférence, chaque insert de renfort 10 est prévu pour s'étendre de manière continue le long de la pièce 2, pour éviter tout point faible. Ceci étant, en option ou en variante, il est possible de disposer des inserts de renfort les uns derrière les autres sur la longueur de la pièce 2, pour former un longeron de renfort de la pièce 2.

Les fibres de renfort des lames 12 possèdent un module d'Young plus élevé que celui des fibres de renfort des couches en résine renforcée de fibres 8, une limite de contrainte à la rupture plus élevée que celle des fibres de renfort des couches en résine renforcée de fibres 8 ou une limite de déformation à la rupture plus élevée que celle des fibres de renfort des couches en résine renforcée de fibres 8. Les lames 12 sont réalisées par exemple en résine renforcée de fibres de carbone ou en résine renforcée de fibres d'aramide. D'autres fibres de renfort sont envisageables.

Les lames 12 de chaque insert de renfort 10 sont avantageusement des lames pultrudées. Chaque lame pultrudées est réalisée en passant un faisceau de fibres de renfort dans un bain de résine pour imprégner le faisceau avec la résine, en passant le faisceau imprégné dans une filière définissant le profil de la lame, et en passant le faisceau imprégné et profilé dans un four pour polymériser et cuire la résine. Le procédé de pultrusion permet d'obtenir des lames très résistantes et très raides présentant des caractéristiques mécaniques avec un très faible taux de dispersion, ce qui permet d'optimiser au mieux le dimensionnement de l'insert de renfort.

Comme illustré sur la Figure 2, chaque insert de renfort 10 est obtenu en formant un empilement alterné de lames 12 pultrudées et de couches de résine inter-lames 14 disposée entre les lames 12.

La pièce 2 est réalisée par moulage par infusion, de préférence sous vide. Un procédé de fabrication de la pièce va maintenant être décrit en référence aux Figures 3 et 4.

Une première étape du procédé de fabrication comprend le positionnement dans un moule 16 d'au moins une nappe de fibres 18 sèche destinée à former ultérieurement une couche 8 et d'au moins un insert de renfort 10.

Plusieurs inserts de renfort 10 sont ici disposés entre deux nappes de fibres 18. Tel qu'illustré sur la Figure 3, une première nappe de fibres 18 est placée sur le moule 16, des inserts 10 sont disposés côte à côte sur la première nappe de fibres 18 et une deuxième nappe de fibres 18 est placée par-dessus les inserts 10 et la première nappe de fibres 18.

L'empilement alterné de lames 12 et de résine inter-lames 14 de chaque insert de renfort 10 est réalisé soit avant de placer l'insert de renfort 10 d'un seul bloc sur le moule 16, soit directement sur le moule 16. Le choix de la section des lames 12 est fait de telle sorte que les lames 12 peuvent individuellement se conformer à la géométrie du moule 16.

Chaque insert de renfort 10 stratifié est formé avec de la résine inter-lames 14 non-polymérisée ou avec de la résine inter-lames 14 qui a été partiellement polymérisée

avant la réalisation de l'empilement de lames 12 de l'insert de renfort 10. La résine inter-lames 14 partiellement polymérisée est polymérisée de manière incomplète. La résine inter-lames 14 non polymérisée se présente par exemple sous une forme liquide. La résine inter-lames 14 partiellement polymérisée se présente par exemple sous la forme d'un film souple. Une telle résine partiellement polymérisée conditionnée sous la forme d'un film facilite la manutention de la résine inter-lames 14 et son application entre les lames 12.

La résine inter-lames 14 non polymérisée ou seulement partiellement polymérisée n'assure pas de cohésion irréversible entre les lames 12 d'un empilement qui peuvent glisser les unes sur les autres. Ainsi, chaque insert de renfort 10 peut globalement se conformer à la géométrie du moule 16 facilement tant que la résine inter-lames n'est pas polymérisée, notamment du fait de la flexibilité individuelle de chaque lame 12.

L'application de la résine inter-lames 14 entre les lames 12 lors de la formation de l'empilement de chaque insert de renfort 10 permet d'appliquer la résine de manière appropriée entre les lames 12 pour garantir qu'il n'y ait pas de zone sèche entre 2 lames 12 adjacentes, et ainsi obtenir, après polymérisation, de la résine inter-lames 14 une très bonne cohésion de l'intégralité des surfaces de contact entre les lames 12, et, par conséquent, un insert de renfort très rigide, et sans point faible ni défaut.

Une deuxième étape comprend l'infusion sous vide des nappes de fibres 18 avec de la résine d'infusion 20. Pour ce faire, une bâche à vide 22, qui est étanche à l'air, est placée par-dessus les composants placés sur le moule 16 de manière à définir une chambre à vide contenant les composants placés sur le moule 16. Un vide est généré dans la chambre à l'aide d'une pompe à vide 24 tout en alimentant la chambre avec de la résine d'infusion 20 à partir d'une source d'alimentation 26. Sous l'effet du vide, la résine d'infusion s'infuse dans les nappes de fibres 18 pour former les couches en résine renforcée de fibres 8. Egalement, la résine d'infusion s'immisce dans les interstices, laissés le cas échéant, entre des inserts de renfort 10 adjacents.

Une troisième étape comprend la polymérisation de la résine d'infusion 20 et de la résine inter-lames 14. La résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont polymérisées simultanément et complètement, par exemple par chauffage ou cuisson. Le chauffage est réalisé par exemple par conduction par chauffage du moule 16, ou par radiation. La polymérisation simultanément de la résine inter-lames 14 et de la résine d'infusion 20 permet de finaliser le procédé de fabrication avec une seule étape de polymérisation, ce qui réduit le temps de fabrication et le coût de fabrication.

Aucune polymérisation de la résine inter-lames 14 n'est positivement provoquée, par exemple par un apport de chaleur, entre l'étape de formation de l'empilement de

chaque insert de renfort 10 et l'étape de polymérisation simultanée de la résine inter-lames 14 et de la résine d'infusion 20. Entre ces deux étapes notamment, aucun début de polymérisation n'est provoqué dans le cas d'un empilement réalisé avec une résine inter-lames 14 non polymérisée, ou aucune poursuite de polymérisation n'est provoquée dans le cas d'un empilement réalisé avec une résine inter-lames 14 partiellement polymérisée.

Ainsi, l'étape de positionnement et l'étape d'infusion sont réalisées sans provoquer de polymérisation.

En option, comme illustré sur la Figure 3, au moins une couche de matériau drainant 28, 30 perméable à la résine d'infusion 20 est disposée entre les nappes de fibres 18 et les inserts de renfort 10 pour améliorer l'infusion de la résine d'infusion 20.

De préférence, au moins une couche de matériau drainant 28, 30 est disposée entre chaque nappe de fibres 18 et les inserts de renfort 10. En effet, les inserts de renfort 10 sont imperméables à la résine d'infusion 20. Une couche de matériau drainant 28, 30 disposée entre les inserts de renfort 10 et une nappe de fibres 18 à infuser facilite la diffusion de la résine d'infusion dans cette nappe de fibres, en particulier à l'interface avec les inserts de renfort 10.

Avantageusement, comme illustré sur la Figure 3, au moins une couche de matériau drainant 28 interposée entre une nappe de fibres 18 et des inserts de renfort 10 disposés sur ou sous la nappe de fibre 18, possède une partie repliée pour s'étendre entre deux des inserts de renfort 10. La couche de matériau drainant 28 comprend ainsi une première partie 32 interposée entre une nappe de fibres 18 et au moins un insert de renfort 10, et une deuxième partie 34 s'étendant entre deux inserts de renfort 10, à l'écart de la nappe de fibre 18. La première partie 32 s'étendant suivant une première face externe de la pièce 2, et la deuxième partie 34 s'étend dans le sens de l'épaisseur de la pièce 2, vers la deuxième face externe de la pièce 2 opposée à la première face externe.

Cet agencement d'une couche de matériau drainant 28 permet de favoriser l'infusion de la résine d'infusion 20, la couche de matériau drainant 28 canalisant la résine d'infusion 20 depuis un point d'alimentation en passant entre une nappe de fibres 18 et des inserts de renfort 10 et amenant de la résine entre deux inserts de renfort 10 adjacents.

Sur la Figure 3, illustrant le moule 16 en coupe transversale, la deuxième partie 34 de chaque couche de matériau drainant 28 repliée et rabattue entre deux inserts de renfort 10 disposés côte à côte dans le sens de la largeur de la pièce 2 et allongés suivant la longueur de la pièce 2.

Sur la Figure 4, une couche de matériau drainant 28 est pliée et rabattue entre une extrémité d'un insert de renfort 10 et un insert de renfort 36 additionnel, l'insert de renfort

10 et l'insert de renfort additionnel 36 étant disposés à la file l'un derrière l'autre dans le sens de la longueur de la pièce 2.

L'insert de renfort 36 additionnel est de structure différente de celle de l'insert de renfort 10. L'insert de renfort 36 additionnel est par exemple réalisé en bois, en particulier en balsa, ou en mousse, en particulier en mousse polyuréthane. Il est peut être prévu pour réaliser l'assemblage de la pièce 2 à une autre pièce.

Dans des variantes des Figures 3 et 4, il est aussi possible de disposer un insert de renfort stratifié 10 et un insert de renfort additionnel 36 côte à côte dans le sens de la largeur de la pièce 2, ou deux inserts de renfort stratifiés 10 à la file l'un derrière l'autre dans le sens de la longueur de la pièce 2. Dans les deux cas, il est possible d'interposer une partie d'une couche de matériau drainant entre l'un des inserts et une nappe de fibres et de replier une autre partie de cette couche de matériau drainant dans un interstice entre les deux inserts.

De manière générale, il est possible de placer deux inserts étanches à la résine d'infusion sur ou sous une nappe de fibres sèche, et d'interposer une partie d'une couche de matériau drainant entre l'un des deux inserts et la nappe de fibre et de replier une autre partie de cette couche de matériau drainant dans un interstice entre les deux inserts.

La résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont compatibles chimiquement pour assurer une bonne cohésion des couches en résine renforcée de fibre 8 et des inserts de renfort 10.

Dans la présente demande de brevet, « compatibles chimiquement » signifie que la résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont choisies de manière que l'une adhère à l'autre à leur interface, en particulier qu'elles forment des liaisons chimiques à leur interface lors de leur polymérisation.

Par ailleurs, la résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont choisies avec des plages de température de polymérisation et de cuisson qui se chevauchent, de façon à pouvoir réaliser la polymérisation et la cuisson de la résine d'infusion 20 et de la résine inter-lames 14 simultanément dans le moule 16.

Les températures de polymérisation de la résine d'infusion 20 et de la résine inter-lames 14 sont avantageusement comprises entre 40°C et 120°C, en particulier entre 60°C et 100°C.

La résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont chacune de préférence une résine époxy, une résine vinylester ou une résine polyester. La résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont de préférence identiques. Alternativement, la résine d'infusion 20 et la résine inter-lames 14 sont différentes, et étant de préférence d'une même famille

de résines, par exemple la famille des résines époxy, la famille des résines vinylester ou la famille des résines polyester.

L'agencement des inserts de renfort 10 entre les couches de résine renforcée de fibres 18 de la pièce 2 et l'agencement des lames 12 de chaque insert de renfort 10 ne sont pas limités à ceux illustrés sur les Figures 3 et 4, et peuvent être adaptés en fonction des caractéristiques mécaniques recherchées pour la pièce 2.

Afin de conférer à la pièce une rigidité variable, il est possible de faire varier la rigidité en flexion d'un insert de renfort 10 le long de celui-ci en superposant des lames 12 de longueurs différentes et/ou en décalant les lames 12 longitudinalement les unes par rapport aux autres pour faire varier la rigidité de la pièce dans le sens de la longueur.

Comme illustré sur la Figure 5, un insert de renfort 10 possède des lames 12 empilées présentant des longueurs décroissantes dans l'empilement. Les extrémités de lames 12 sont décalées à une seule des extrémités de l'insert de renfort 10. En variante, les extrémités de lames 12 sont décalées aux deux extrémités de l'insert de renfort 10.

Comme illustré sur la Figure 6, il est également possible de disposer côte-à-côte plusieurs inserts de renfort 10 comprenant un nombre de lames empilées variable, pour faire varier la rigidité de la pièce 2 dans le sens de la largeur. Il est en outre possible de prévoir des lames 12 individuelles, non empilées pour former des inserts de renfort.

Dans le procédé de fabrication, du fait de l'absence de polymérisation complète de la résine inter-lames 14 lors du positionnement des inserts de renfort 10 sur le moule 16, les lames 12 des inserts de renfort 10, qui sont individuellement flexibles, peuvent glisser les unes sur les autres pour faciliter la flexion de l'insert de renfort 10. Les inserts de renfort 10 sont encore facilement conformables lorsqu'ils sont disposés sur le moule 16, par exemple en fonction de la courbure de la pièce à réaliser.

En outre, l'application de résine inter-lames 14 entre les lames 12 des inserts de renfort 10 lors de la réalisation de l'empilement des lames 12 permet une application satisfaisante de la résine inter-lames 14. Ceci assure une très bonne cohésion entre les lames 12 après polymérisation de la résine inter-lames 14. Il en résulte un bon contrôle de la fabrication des inserts de renfort et de la pièce en général sans risque de zone sèche entre deux lames 12 empilées l'une sur l'autre.

L'utilisation de résine d'infusion 20 et de résine inter-lames 14 chimiquement compatibles, en particulier de la même famille de résine ou identiques, permet d'assurer une bonne cohésion entre les inserts de renfort 10 et les couches renforcées de fibres 8 réalisées par infusion de nappes de fibres 18 avec la résine d'infusion 20. La pièce 2 fabriquée est ainsi solide et résistante.

La fabrication est réalisée de manière simple, économique et rapide dans la mesure où la polymérisation de la résine d'infusion 20 et la polymérisation ou la finalisation de la polymérisation de la résine inter-lames 14 sont réalisées simultanément.

Le procédé de fabrication permet de réaliser des organes de renfort, formés par un insert de renfort ou par un ensemble d'inserts de renfort adjacents, qui sont longs et épais, permettant ainsi la réalisation de pièces en matériau composite longues et suffisamment rigides, notamment en flexion. Avantageusement, un organe de renfort, formé par un insert de renfort ou par un ensemble d'inserts de renfort adjacents possède une longueur supérieure à 80 m et/ou une épaisseur maximale supérieure à 50 mm.

Le procédé de fabrication permet de réaliser un moulage positif ou un moulage négatif. Le moule 16 de moulage par infusion est un moule positif en relief ou un moule négatif en creux.

Le procédé de fabrication n'est pas limité aux modes de mise en œuvre et aux variantes décrites ci-dessus. D'autres modes de mise en œuvre et d'autres variantes sont envisageables.

Par exemple, en option, et comme déjà évoqué au sujet de la Figure 4, il est possible de prévoir, en plus des inserts de renfort stratifiés formés de superposition de lames, des insert de renfort additionnels, réalisé par exemple en mousse ou en bois, notamment en balsa, également disposés entre les couches en résine renforcée de fibres.

En particulier, un insert de renfort additionnel en bois peut être prévu pour assurer l'assemblage de la pièce avec une autre pièce. Dans le cas d'une pale de rotor d'éolienne à axe vertical, l'insert de renfort additionnel en bois peut être prévu pour l'assemblage de la pale avec un bras de support du rotor.

Le principe du pliage d'une partie d'une couche de matériau drainant entre deux inserts de renfort étanches à la résine d'infusion pour assurer la bonne cohésion entre les deux inserts de renfort, ces derniers étant adjacents dans le sens de la longueur ou dans le sens de la largeur de la pièce 2, comme illustré sur les Figures 3 et 4, s'applique à tous types d'inserts de renfort adjacents, par exemple deux inserts de renfort stratifiés formés d'un empilement de lames adjacents, un insert de renfort stratifié et insert de renfort additionnel adjacents, ou deux inserts de renfort additionnels adjacents.

Le principe du pliage est en particulier avantageux dans le cas d'un insert de renfort 10 stratifié et d'un insert de renfort 36 additionnel adjacents.

Ainsi de manière générale, l'invention concerne également un procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite, comprenant les étapes suivantes : positionnement, dans une chambre à vide, d'une nappe de fibres sèche et de deux inserts de renfort placés sur ou sous la nappe de fibres en délimitant entre eux un interstice, avec

interposition d'une partie d'une couche de matériau drainant entre la nappe de fibres sèche et un des deux inserts de renfort, et pliage d'une autre partie de la couche de matériau drainant dans l'interstice entre les deux inserts de renfort, infusion sous vide d'une résine d'infusion dans la nappe de fibres sèche pour former une couche en résine à renfort de fibres, puis polymérisation de la résine d'infusion.

Le procédé de fabrication permet notamment de fabriquer une pale 40 de rotor d'éolienne telle qu'illustrée sur la Figure 7 illustrant la pale 40 en coupe transversale.

La pale 40 est propre à générer une portance aérodynamique : elle présente un profil aérodynamique avec un intrados 40A et un extrados 40B. La pale 2 s'étend suivant une direction longitudinale qui est perpendiculaire au plan de la Figure 7.

La pale 40 possède une peau externe 42 formée par l'assemblage de deux enveloppes 44, 46, une enveloppe 44 définissant l'intrados 40A et l'autre enveloppe 46 définissant l'extrados 40B de la pale 40. Chaque enveloppe 44, 46 est une pièce allongée réalisée en matériau composite selon le procédé de fabrication décrit plus haut.

La peau externe 42 peut être formée par plus de deux enveloppes, chaque enveloppe définissant une partie respective du profil de la pale 40.

Comme illustré sur la Figure 8, la peau externe 42 est formée par trois enveloppes 44, 46, 48, comprenant une enveloppe d'intrados 44, une enveloppe d'extrados 46 et une enveloppe de bord d'attaque 48 définissant la zone du profil autour du bord d'attaque. Pour des raisons de clarté des dessins, les positions des joints entre l'enveloppe de bord d'attaque 48 et les autres enveloppes 44, 46 sont identifiés par des traits mixtes.

En option, comme illustré sur les Figures 7 et 8, la pale 40 comprend une structure interne 50 disposée à l'intérieur de la peau externe 42, et comprenant au moins un longeron 52. Le longeron 52 est fixé sur les zones des enveloppes qui sont renforcées par des inserts intégrés aux enveloppes. Chaque longeron 52 est ici avantageusement fixé sur une zones renforcée d'une enveloppe d'intrados 44 et sur une zone renforcée d'une enveloppe d'extrados 46.

Il est possible de prévoir un ou plusieurs longerons 52, chaque longeron 52 reliant deux enveloppes, en particulier l'enveloppe d'intrados 44 et l'enveloppe d'extrados 46.

Un longeron 52 présente par exemple un profil en « C » (Figure 7), un profil en « I » (Figure 8) ou un profil en « l ». D'autres profils sont envisageables.

Le procédé de fabrication permet de réaliser d'autres pièces d'éolienne en matériau composite, par exemple un bras de rotor d'éolienne pour supporter une pale d'une éolienne à axe vertical.

Le procédé de fabrication s'applique également à une pièce de pont, un mât d'éolienne, un mât de bateau, une coque de bateau...

De manière générale, le procédé s'applique en particulier à la fabrication de toute pièce allongée. Le procédé de fabrication permet de réaliser des pièces en matériau composite de grandes dimensions, par exemple de longueur supérieure à 80 m et/ou d'épaisseur maximale supérieure à 50 mm.

REVENDICATIONS

1.- Procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite, comprenant les étapes suivantes :

5 - positionnement d'au moins une nappe de fibres (18) sèche et d'au moins un insert de renfort (10) dans une chambre à vide, l'insert de renfort (10) étant formé par empilement alterné de lames (12) en résine à renfort de fibres et de couches de résine inter-lames (14) non polymérisée ou partiellement polymérisée avant de réaliser l'empilement ;

10 - infusion sous vide d'une résine d'infusion (20) non polymérisée dans la nappe de fibres pour former une couche en résine à renfort de fibres ; puis

 - polymérisation simultanément de la résine d'infusion (20) et de la résine inter-lames (14).

15 2.- Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel les lames (12) sont pultrudées.

 3.- Procédé de fabrication selon la revendication 1 ou 2 dans lequel les fibres de renfort des lames (12) possèdent un module d'Young plus élevé que celui des fibres de la nappe de fibres, une limite de contrainte à la rupture plus élevée que celle des fibres de la nappe de fibres et/ou une déformation à la rupture plus élevée que celle des fibres de la
20 nappe de fibres.

 4.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les fibres de renfort des lames (12) sont des fibres de carbone ou des fibres d'aramide.

25 5.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les fibres de la nappe de fibres (18) sèche sont des fibres de verres.

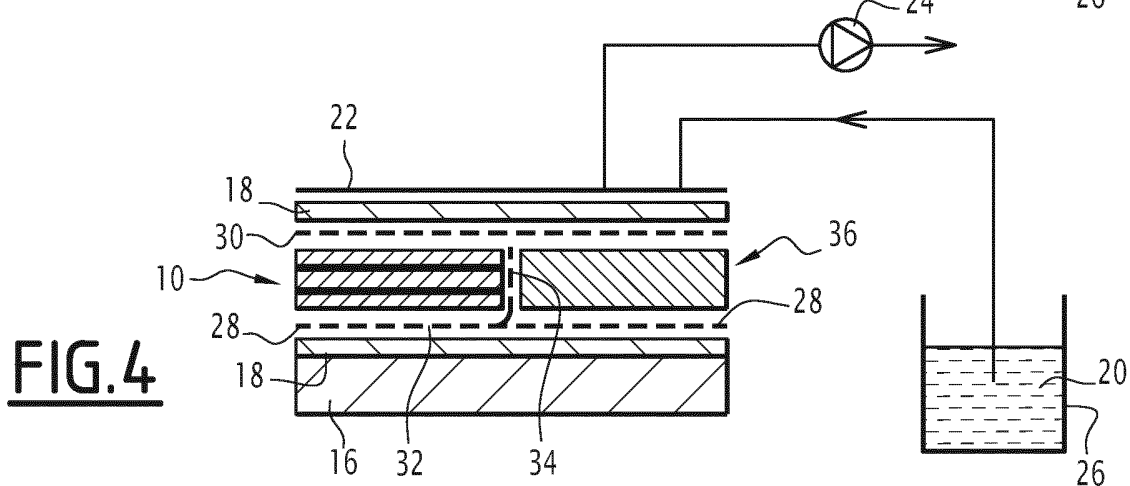
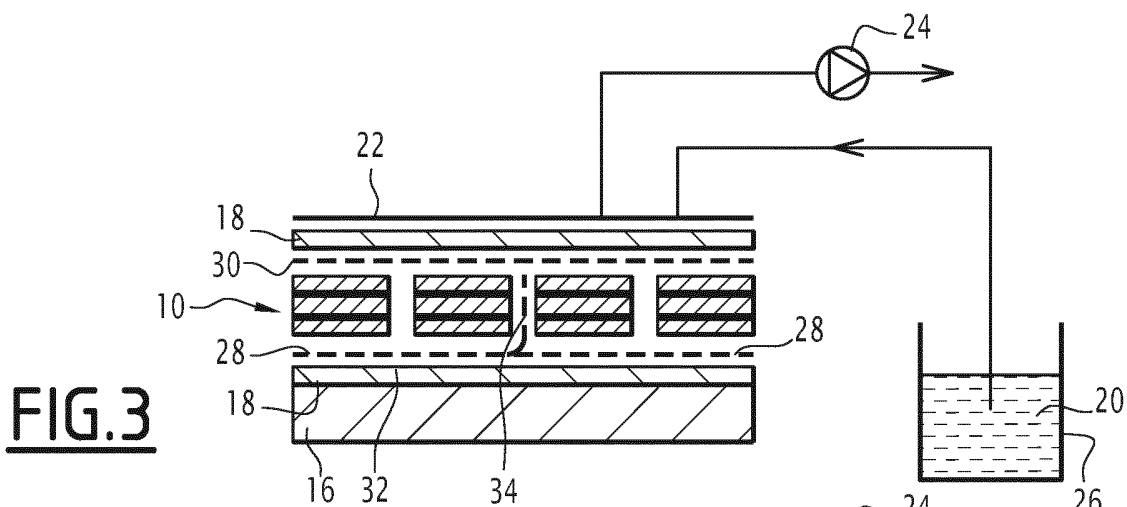
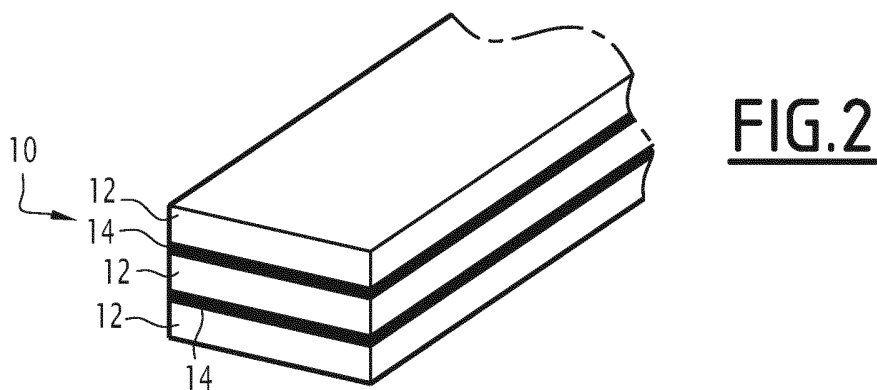
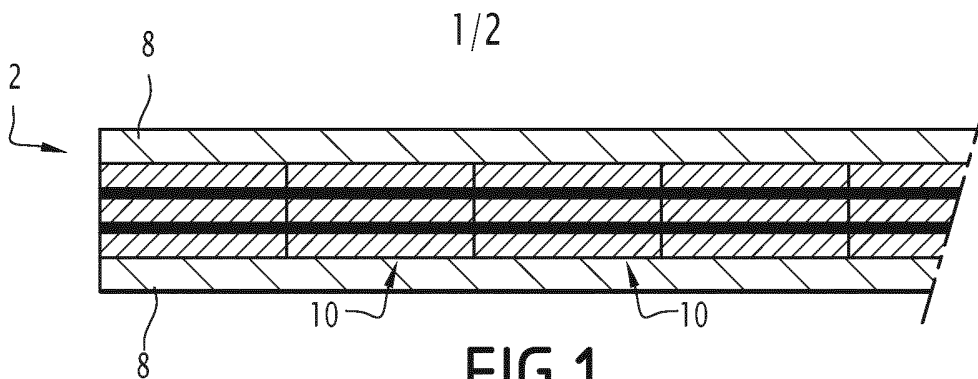
 6.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les plages de température de polymérisation de la résine inter-lames (14) et de la résine d'infusion (20) se chevauchent.

30 7.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur maximale d'un organe de renfort formé par un insert de renfort ou plusieurs inserts de renfort adjacents est supérieure à 50 mm et/ou la longueur de l'organe de renfort est supérieure à 80m.

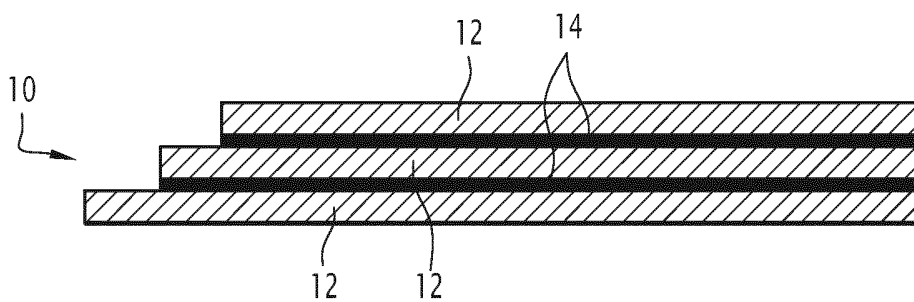
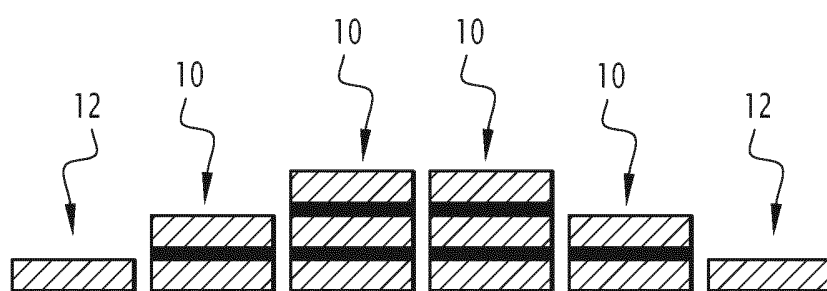
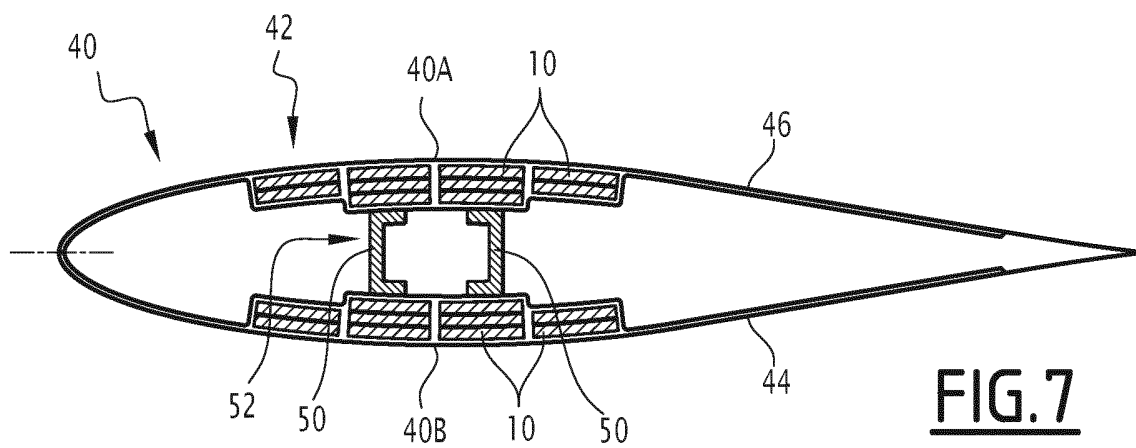
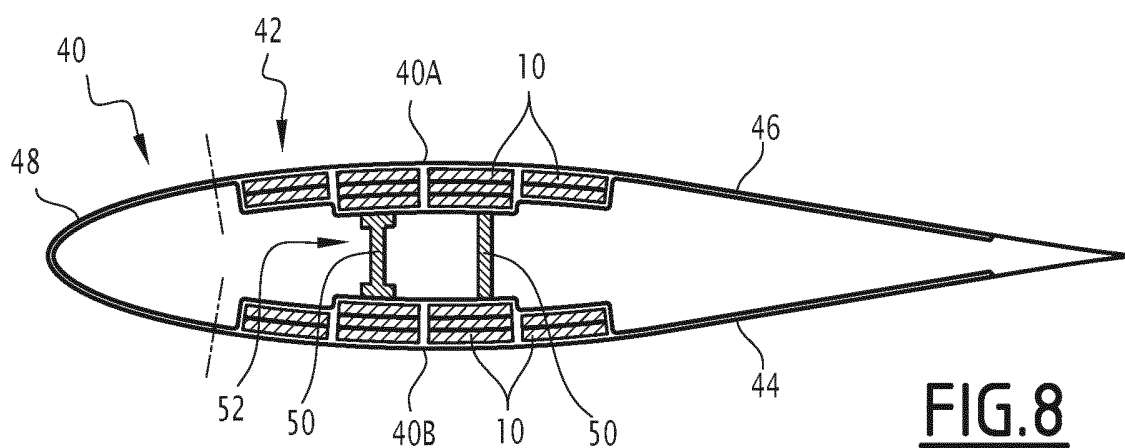
35 8.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la résine inter-lames (14) est une résine époxy, une résine vinylester ou une résine polyester et/ou la résine d'infusion (20) est une résine époxy, une résine vinylester ou une résine polyester.

9.- Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la résine inter-lames (14) et la résine d'infusion (20) sont identiques, ou de la même famille de résine.

5 10.- Pièce en matériau composite, en particulier une pale de rotor d'éolienne ou un bras de support d'une pale de rotor d'éolienne à axe vertical, obtenue selon un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes.



2/2

**FIG. 5****FIG. 6****FIG. 7****FIG. 8**

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 815510
FR 1559113

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		
X	WO 2013/178228 A1 (VESTAS WIND SYS AS [DK]) 5 décembre 2013 (2013-12-05)	1,2,5-10	B29C70/86 B29C70/44 F03D1/00 B29L31/08
Y	* page 1, ligne 7 - ligne 12; figures 1a, 1b * * page 1, ligne 24 - ligne 33 * -----	3,4	
Y	WO 2015/058775 A1 (VESTAS WIND SYS AS [DK]) 30 avril 2015 (2015-04-30) * page 1, ligne 18 - page 2, ligne 4; figure 1 * -----	3,4	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			B29C B29K B29L F03D
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		13 juillet 2016	Pierre, Nathalie
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1559113 FA 815510**

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 13-07-2016

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
WO 2013178228 A1	05-12-2013	CN 104470708 A	25-03-2015
		EP 2855130 A1	08-04-2015
		US 2015226178 A1	13-08-2015
		WO 2013178228 A1	05-12-2013

WO 2015058775 A1	30-04-2015	GB 2519566 A	29-04-2015
		WO 2015058775 A1	30-04-2015
