

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

①1 N° de publication : **3 140 573**

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

②1 N° d'enregistrement national : **22 10215**

⑤1 Int Cl⁸ : **B 29 C 70/30** (2023.01), B 29 C 70/16, B 29 C 70/40,
F 03 D 1/06, B 29 K 33/00

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 SEMELLE DE LONGERON ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION CORRESPONDANT.

②2 Date de dépôt : 05.10.22.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.04.24 Bulletin 24/15.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 25.10.24 Bulletin 24/43.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *Arkema France Société anonyme* —
FR.

⑦2 Inventeur(s) : *Zoller Alexander, Le Fichant Audrey,
Gerard Pierre et Escale Pierre.*

⑦3 Titulaire(s) : *Arkema France Société anonyme.*

⑦4 Mandataire(s) : *ARKEMA FRANCE.*

FR 3 140 573 - B1



Description

Titre de l'invention : SEMELLE DE LONGERON ET PROCÉDÉ DE PRODUCTION CORRESPONDANT

Domaine de l'invention

[0001] L'invention se rapporte au domaine des turbines d'éolienne, en particulier des pales de turbine d'éolienne et plus particulièrement aux semelles de longeron fabriquées à partir d'un composite polymère thermoplastique. L'invention concerne un procédé de production d'une semelle de longeron, une semelle de longeron, une pale de rotor comprenant une semelle de longeron et un procédé de production d'une pale de rotor comprenant une semelle de longeron.

Description de l'état de l'art

[0002] À l'heure actuelle, les pales de turbine d'éolienne sont fabriquées à partir de matériaux composites qui sont à la fois légers et résistants. En effet, les pales de turbine d'éolienne sont soumises à des contraintes de flexion, de torsion ou de traction. Ceci est principalement dû au fait que les pales de la turbine d'éolienne doivent supporter des charges mécaniques importantes pendant le fonctionnement de la turbine d'éolienne, en particulier en présence de fortes rafales de vent.

[0003] Afin de consolider leur structure, des semelles de longeron ont été intégrées dans les pales de turbine d'éolienne. La semelle de longeron peut notamment transférer les principales charges aérodynamiques de flexion à partir des pales de rotor au moyeu. Une semelle de longeron est incorporée dans la pale et s'étend généralement sur une grande partie de la longueur totale de la pale.

[0004] Ces semelles de longeron sont habituellement conçues avec du plastique renforcé par des fibres de verre et/ou de carbone (PRFC). Avec le développement de l'industrie éolienne, les PRFC ont donné lieu à des composites fibreux unidirectionnels pultrudés présentant un renforcement par des fibres unidirectionnelles.

[0005] En particulier, la semelle de longeron peut comprendre des couches de fibres unidirectionnelles infusées dans des résines polymères thermodurcissables pour former une présemelle de longeron. La présemelle de longeron est ensuite positionnée dans un moule avec les autres composants de la pale de turbine d'éolienne pour former une pale comprenant la semelle de longeron. Par exemple, la semelle de longeron peut être fabriquée par un procédé d'infusion sous vide (Vacuum Infusion Process - VIP) et en particulier par une infusion de résine assistée par le vide (Vacuum Assisted Resin Infusion - VARI). Dans cette technique, la résine est appliquée lorsqu'un vide complet est atteint. La résine liquide est ensuite infusée à l'intérieur du moule.

[0006] Dans d'autres modes de réalisation, la semelle de longeron peut également être

fabriquée par moulage par transfert de résine (Resin Transfer Molding - RTM) et par exemple par moulage par transfert de résine assisté par le vide (vacuum-assisted resin transfer molding - VARTM). Le RTM utilise un moule fermé présentant un empilage de fibres placé dans le moule. Le moule est fermé, rendu étanche, chauffé. De la résine chauffée est injectée dans le moule pour imprégner l'empilage de fibres. Le moule est ensuite maintenu à une température suffisante pour durcir la résine, habituellement une résine époxy. La technologie RTM actuelle produit des pièces légères présentant d'excellentes propriétés mécaniques. Grâce à ces qualités, les matériaux composites gagnent en popularité dans diverses applications structurales et non structurales courantes en aéronautique et dans l'aviation.

- [0007] Le VARTM diffère du RTM en ce que les renforcements fibreux et les matériaux sont empilés sur un moule et emballés sous vide. La résine liquide est introduite à travers des orifices dans le moule et aspirée sous vide à travers les renforcements à l'aide de canaux prévus à l'intérieur et des supports d'infusion qui facilitent le mouillage des fibres. Le durcissement subséquent ne nécessite pas de chaleur élevée ou de pression élevée.
- [0008] Toutefois, ces techniques entraînent une imprégnation difficile et non homogène, conduisant à des imperfections. Ces défauts peuvent s'étendre sur de grandes surfaces et peuvent réduire significativement la fiabilité du produit final. De plus, leur réparation est particulièrement chronophage et coûteuse.
- [0009] Par conséquent, des techniques pour améliorer la fabrication de semelles de longeron ont été développées.
- [0010] Par exemple, le document EP3569394 propose une semelle de longeron fabriquée par empilement et comprenant des couches de film adhésif entre les couches de fibres de carbone. Ces différentes couches sont assemblées ensemble par différentes techniques telles que la pression, la chaleur, le vide dans un moule. La semelle de longeron est ensuite incorporée dans la pale d'une turbine d'éolienne. Ces semelles de longeron comprennent des fibres de carbone imprégnées de résine époxy.
- [0011] Une autre solution divulguée dans le document WO2010/083840 propose l'incorporation d'une couche de fibres pré-imprégnées de résine non durcie avec une couche de résine renforcée par des fibres durcies, les couches durcies présentant une rigidité plus grande que celle des couches non durcies et augmentant ainsi la rigidité de la semelle de longeron. Ces couches comprennent des fibres de carbone, de verre ou d'aramide et une résine époxy, polyester, ester de vinyle ou phénolique.
- [0012] Le document EP3501810 propose une semelle de longeron fabriquée à partir d'une couche composite pultrudée comprenant une surface de butée pour faciliter le flux de la résine et ainsi une meilleure infusion de la résine entre les bandes qu'avec les bandes classiquement connues. Néanmoins, le matériau composite est également fabriqué à

partir de fibres de verre ou de carbone et d'un polymère thermodurcissable tel qu'une résine de type époxy, ester de vinyle, polyuréthane ou polyester.

- [0013] Actuellement, les semelles de longeron sont principalement composées de composites polymères dans lesquels un renforcement fibreux est incorporé dans une matrice polymère thermodurcissable. Les fibres du renforcement fibreux peuvent généralement être composées de fibres de verre, de carbone ou de céramique mais également de fibres naturelles. La matrice polymère, qui est principalement composée de polymères, maintient les fibres ensemble, transmet les tensions entre les fibres et protège les fibres contre des influences mécaniques et chimiques externes. La matrice polymère est habituellement thermodurcissable et les pièces composites en polymère thermodurcissable sont assemblées ensemble avec une résine thermodurcissable (par exemple des adhésifs à base d'époxy ou de polyester ou de polyuréthane).
- [0014] Cependant, les matériaux composites thermodurcissables présentent différents inconvénients, tels que des coûts élevés lors du recyclage de ces matériaux ou l'accumulation de grandes quantités de déchets si le recyclage n'est pas possible. De plus, lors de la construction d'une pale de turbine d'éolienne à partir de composites polymères, par exemple par injection à basse pression ou moulage par infusion, l'utilisation de résine thermodurcissable conduit généralement à des temps de cycle longs. De plus, ces pièces en composite polymère sont ensuite assemblées pendant le processus industriel avant la livraison au site d'installation. Vu les temps de cycle longs observés lors de l'utilisation d'une matrice polymère thermodurcissable, à la fois pendant la fabrication des pièces et pendant l'assemblage, il existe, par conséquent, un besoin pour identifier des polymères et/ou une résine qui seraient en mesure de réduire les temps de cycle et ainsi de réduire le temps de production des turbines d'éolienne.
- [0015] De plus, pour une meilleure cohésion, la production de semelles de longeron peut comprendre l'utilisation de couches provisoires qui est coûteuse et ralentit la production.
- [0016] De plus, l'élimination de la couche provisoire sur les grandes surfaces est très difficile, par exemple pour des pales de turbine qui peuvent présenter une longueur d'environ 100 m. Ceci constitue un réel défi industriel en termes de difficulté technique et de temps. De plus, la présence d'une couche provisoire augmente le nombre d'étapes et par conséquent le temps et le coût pendant le recyclage et en particulier pour éliminer la couche provisoire.
- [0017] Des pales de turbine d'éolienne incorporant des matériaux thermoplastiques ont été proposées par exemple dans la demande WO2010025830 ; cependant, les thermoplastiques proposés sont essentiellement proposés pour former le raccord entre les différentes pièces des pales de turbine d'éolienne et ils présentent une sensibilité relativement élevée à l'humidité ou des points de fusion élevés.

- [0018] La demande US2017/0058864 décrit une pale de turbine d'éolienne ajustable construite à partir de matériaux thermdurcissables et/ou thermoplastiques. L'interface thermdurcissable-thermoplastique est soudée ; néanmoins, la pale contient une grande partie de matériaux thermdurcissables.
- [0019] Le document EP2497945 divulgue au moins une semelle de longeron sur chaque côté de la pale et par conséquent dans chaque demi-pale. Chaque pièce est collée ensemble de manière à obtenir une structure de type lamellé-collé formant la semelle de longeron. Cependant, le collage de deux pièces ensemble introduit un risque de défaillance et de défauts. Également, les propriétés mécaniques ne sont pas optimales. En outre, les résines de collage présentent des résines de type époxy qui ne permettent pas un recyclage aisé de la semelle de longeron.
- [0020] Dans le document WO2018172656, la demanderesse a proposé la fabrication de pales de turbine d'éolienne à partir d'un composite polymère thermoplastique présentant des propriétés mécaniques appropriées pour le secteur de l'éolien tout en étant principalement recyclable. Une telle pale de turbine d'éolienne peut comprendre un élément de renforcement comprenant un composite polymère thermoplastique mais également une structure à faible densité disposée dans une structure de type sandwich. Cependant, de telles pales de turbine d'éolienne peuvent comprendre des plastiques thermdurcissables et peuvent être reliées par un adhésif à base d'époxy, de polyester ou de polyuréthane.
- [0021] Par conséquent, il existe un besoin pour des semelles de longeron comprenant des thermoplastiques et qui sont par conséquent facilement recyclables, tout en offrant des propriétés mécaniques et chimiques qui répondent aux exigences de l'industrie éolienne et qui réduisent les temps de cycle et le coût pour répondre aux problèmes industriels.

Résumé de l'invention

- [0022] Ce qui suit constitue un résumé simplifié d'aspects, de modes de réalisation et d'exemples choisis de la présente invention afin de fournir une compréhension de base de l'invention. Cependant, le résumé ne constitue pas un aperçu complet de tous les aspects, modes de réalisation et exemples de l'invention. Le seul objectif du résumé est de présenter des aspects, modes de réalisation et exemples choisis de l'invention sous une forme concise comme introduction à la description plus détaillée des aspects, modes de réalisation et exemples de l'invention qui suit le résumé.
- [0023] L'invention a pour objectif de remédier aux inconvénients de l'art antérieur. En particulier, l'invention propose un procédé pour produire une semelle de longeron pour une pale de rotor d'une turbine d'éolienne, ledit procédé comprenant les étapes de :
- fourniture d'une pluralité de planches pultrudées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume

- d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres, préférablement des fibres de carbone ;
- empilement des planches pultrudées en une forme de présemelle de longeron ;
 - et
 - assemblage des planches pultrudées empilées afin de produire la semelle de longeron.
- [0024] L'avantage de ce procédé réside dans le fait que les semelles de longeron comprennent des thermoplastiques. Le procédé selon l'invention permet la fourniture d'une solution recyclable pour une semelle de longeron et préférablement pour une semelle de longeron pultrudée et par conséquent pour une pale de rotor de turbine d'éolienne. Chaque planche pultrudée ne doit pas être collée à une autre. De plus, une semelle de longeron thermoplastique présente des propriétés mécaniques similaires par rapport à celles de résines thermodurcissables.
- [0025] De plus, le procédé selon l'invention permet de réduire les déchets et de faciliter le processus de pultrusion.
- [0026] Par ailleurs, grâce à la teneur en thermoplastique et pour améliorer les propriétés mécaniques des semelles de longeron produites, il est possible de concevoir un motif directement sur les planches pultrudées sans utiliser de couche provisoire par exemple.
- [0027] Le procédé selon l'invention permet également d'économiser du temps et de réduire les temps de cycle.
- [0028] Selon d'autres éléments facultatifs du procédé selon l'invention, il peut éventuellement comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou combinées :
- l'étape de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées comprend une étape de texturation de surface, ladite surface texturée présentant préférablement un Ra entre 3 μm et 30 μm selon la norme ISO 4287: 1997
 - les planches pultrudées présentent une épaisseur de 2 mm à 8 mm
 - il comprend en outre une étape pour fournir une pluralité de couches intermédiaires
 - l'étape d'empilement comprend en outre une étape de thermoformage
 - l'étape d'assemblage est réalisée dans un moule à semelle de longeron.
 - l'étape d'assemblage est réalisée dans un moule à pale de rotor et les planches pultrudées empilées de la semelle de longeron étant assemblées au moment de la formation de la pale de rotor, préférablement par infusion et/ou adhésif thermoplastique
 - l'étape de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées comprend les étapes suivantes :
 - fourniture de fibres en stratifils ;

- imprégnation des fibres par une résine polymère comprenant une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques ;
 - chauffage des fibres imprégnées ;
 - refroidissement du composite chauffé avec un calandrage facultatif ;
et
 - retrait des planches pultrudées.
- la matrice polymère comprend au moins un monomère (méth)acrylique polyfonctionnel, ledit monomère (méth)acrylique polyfonctionnel comprenant au moins deux fonctions (méth)acryliques.
- les planches pultrudées ne comprennent pas de couche provisoire.
- [0029] Selon un **autre aspect**, l'invention peut également concerner une semelle de longeron pour une turbine d'éolienne pouvant être obtenue par un procédé selon l'invention.
- [0030] Selon d'autres éléments facultatifs de la semelle de longeron selon l'invention, elle peut éventuellement comporter une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, seules ou combinées :
- elle comprend une pluralité de planches pultrudées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres, préférablement des fibres de carbone, une pluralité pouvant correspondre à au moins deux.
 - les planches pultrudées présentent au moins une surface texturée, ladite surface texturée présentant un Ra entre 3 µm et 30 µm selon la norme ISO 4287: 1997.
 - les planches pultrudées peuvent être séparées par une ou plusieurs couches intermédiaires.
- [0031] Selon un **autre aspect**, la présente invention peut également concerner une pale de rotor comprenant une semelle de longeron selon l'invention.
- [0032] Un **autre aspect** de la présente invention concerne une turbine d'éolienne comprenant une semelle de longeron selon l'invention ou une pale de rotor selon l'invention.
- [0033] Selon un **autre aspect**, la présente invention peut également concerner un procédé de production d'une pale de rotor comprenant une semelle de longeron selon l'invention, ledit procédé comprenant l'association de la semelle de longeron avec une coque et une âme de cisaillement et leur assemblage par collage, soudage et/ou infusion.

Brève description des dessins

- [0034] Ce qui précède et d'autres objets, éléments et avantages de la présente invention deviendront plus clairs à la lecture de la description détaillée suivante considérée

conjointement avec les dessins qui l'accompagnent dans lesquels :

- [0035] la [Fig.1] représente une vue schématique d'un procédé selon un mode de réalisation de la présente invention
- [0036] la [Fig.2] représente une vue schématique d'une étape de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées d'un procédé selon un mode de réalisation de la présente invention
- [0037] la [Fig.3] représente un échantillon de planche pultrudée avant (gauche) et après (droite) un traitement de gaufrage par calandrage sur la ligne de pultrusion en aval de la filière.
- [0038] Plusieurs aspects de la présente invention sont divulgués par renvoi à des schémas fonctionnels et/ou des schémas de principe de procédés et de dispositifs selon des modes de réalisation de l'invention.
- [0039] Sur les figures, les schémas fonctionnels et/ou les schémas de principe montrent l'architecture, la fonctionnalité et la mise en œuvre possible de dispositifs ou systèmes ou procédés, selon plusieurs modes de réalisation de l'invention.
- [0040] À cette fin, chaque case dans les schémas fonctionnels ou les schémas de principe peut représenter un système, un dispositif, un module.
- [0041] Dans certaines mises en œuvre, les fonctions associées à la case peuvent apparaître dans un ordre différent de celui indiqué dans les dessins.
- [0042] Par exemple, deux cases présentées successivement peuvent être exécutées de façon sensiblement simultanée, ou bien des cases peuvent parfois être exécutées dans l'ordre inverse, selon la fonctionnalité impliquée.
- [0043] Chaque case des schémas fonctionnels ou des schémas de principe et les combinaisons de cases dans les schémas fonctionnels ou les schémas de principe peuvent être mises en œuvre par des systèmes spéciaux qui réalisent les fonctions ou actions spécifiées ou réalisent des combinaisons d'équipements spéciaux.

Description détaillée

- [0044] Des modes de réalisation exemplaires de l'invention vont maintenant être décrits.
- [0045] Le terme « **polymère** » désigne soit un copolymère, soit un homopolymère. Le terme « copolymère » désigne un polymère regroupant plusieurs motifs monomères différents et le terme « homopolymère » désigne un polymère regroupant des motifs monomères identiques. Par « copolymère à blocs », on entend un polymère comprenant un ou plusieurs blocs ininterrompus de chacune des espèces de polymère distinctes, les blocs de polymère étant chimiquement différents les uns des autres et étant liés ensemble par une liaison covalente. Ces blocs de polymère sont également appelés blocs polymères.
- [0046] L'expression « **composite polymère** », au sens de l'invention, désigne un matériau

multicomposant comprenant au moins deux composants non miscibles parmi lesquels au moins un composant est un polymère et l'autre composant peut par exemple être un renforcement fibreux.

[0047] Par « **renforcement fibreux** » ou « **substrat fibreux** », on entend, au sens de l'invention, plusieurs fibres, fibres unidirectionnelles ou tresses, ou un mat à filaments continus, des tissus, des feutres, ou des non-tissés qui peuvent prendre la forme de bandes, de toiles, de tresses, de mèches ou de pièces.

[0048] Le terme « **matrice** » désigne un matériau servant de liant et pouvant transférer des forces au renforcement fibreux. Le terme « matrice de polymère » englobe les polymères, mais peut également englober d'autres composés ou matériaux. Ainsi, le terme « matrice de polymère (méth)acrylique » fait référence à tous types de composés, polymères, oligomères, copolymères ou copolymères à blocs, acryliques et méthacryliques. Cependant, on ne s'écarterait pas de la portée de l'invention si la matrice de polymère (méth)acrylique comprenait jusqu'à 10 % en poids, préfé- rablement moins de 5 % en poids d'autres monomères non acryliques, choisis par exemple dans le groupe suivant : butadiène, isoprène, styrène, styrène substitué tel que α -méthylstyrène ou tert-butylstyrène, cyclosiloxanes, vinylnaphthalènes et vinyl- pyridines.

[0049] Le terme « **résine** » dans le sens de l'invention peut faire référence à un sirop liquide servant de liant qui est en mesure de transférer des forces aux fibres. La « résine » peut comprendre des polymères mais peut également comprendre d'autres composés tels que des monomères et/ou oligomères. Préféablement, une résine selon l'invention est polymérisable.

[0050] Le terme « **initiateur** » ou « **précurseur** », au sens de l'invention, désigne un composé qui peut débiter/initier la polymérisation d'un monomère ou de monomères.

[0051] Le terme « **polymérisation** », au sens de l'invention, fait référence au procédé de conversion d'un monomère ou d'un mélange de monomères en un polymère.

[0052] Le terme « **monomère** », au sens de l'invention, désigne une molécule qui peut subir une polymérisation.

[0053] Aux fins de l'invention, le terme « **polymère thermoplastique** » désigne un polymère qui est généralement solide à température ambiante, qui peut être cristallin, semi-cristallin ou amorphe et qui ramollit lors d'une augmentation de température, en particulier après avoir dépassé sa température de transition vitreuse (T_g) et s'être écoulé à une température plus élevée et avoir été en mesure d'observer une fusion limpide lors du dépassement de sa température appelée température de fusion (T_f) (lorsqu'il est semi-cristallin) et qui devient solide à nouveau lorsque la température chute en dessous de son point de fusion et en dessous de sa température de transition vitreuse. Ceci s'applique également à des polymères thermoplastiques légèrement

réticulés par la présence de monomères ou oligomères polyfonctionnels dans la formulation du « sirop » (méth)acrylate, présents, en pourcentage en masse, préfé-
rablement à moins de 10 %, préféablement à moins de 5 % et de manière préférée à
moins de 2 %, qui peut être thermoformé lorsqu'il est chauffé au-dessus de la tem-
pérature de ramollissement.

- [0054] Le terme « **polymère thermodurcissable** » désigne, au sens de l'invention, un
matériau plastique qui se transforme de manière irréversible par polymérisation en un
réseau de polymère insoluble.
- [0055] Le terme « **monomère (méth)acrylique** » désigne un quelconque type de monomère
acrylique ou méthacrylique.
- [0056] Le terme « **polymère (méth)acrylique** » désigne un polymère comprenant essen-
tiellement des monomères (méth)acryliques qui représentent au moins 50 % en poids
ou plus du polymère (méth)acrylique.
- [0057] Le terme « **PMMA** », au sens de l'invention, désigne des homopolymères et des co-
polymères de méthacrylate de méthyle (MMA), le rapport en poids de MMA dans le
PMMA étant préféablement d'au moins 70 % en poids pour le copolymère de MMA.
- [0058] L'expression « **élément de renforcement** », dans le présent contexte, désigne un
élément utilisé pour supporter une structure afin de la renforcer, de la supporter, de la
solidifier, de la consolider, d'améliorer ses propriétés mécaniques (renforcement,
tension, étirement, etc.), ses propriétés thermiques, électriques et/ou chimiques.
- [0059] L'abréviation « **phr** » peut désigner des parties en poids pour cent parties de com-
position. Par exemple, 1 phr d'initiateur dans la composition signifie que 1 kg
d'initiateur est ajouté à 100 kg de composition.
- [0060] L'abréviation « **ppm** » peut désigner des parties en poids par million de parties de
composition. Par exemple, 1000 ppm d'un composé dans la composition signifie que
0,1 kg du composé est présent dans 100 kg de la composition.
- [0061] Le terme « **environ** », tel qu'utilisé dans la description, peut permettre un degré de
variabilité dans une valeur ou une gamme, par exemple dans les 10 %, dans les 5 %, ou
à 1 % d'une valeur indiquée ou d'une limite indiquée d'une plage.
- [0062] Le terme « **pale de turbine d'éolienne** » ou « **pale de rotor** » peut être utilisé de
manière interchangeable. Une pale de rotor dans le sens de l'invention peut cor-
respondre à un profil aérodynamique tournant autour d'un axe.
- [0063] Le terme « **turbine d'éolienne** » peut faire référence à tous les éléments cor-
respondant à une turbine d'éolienne complètement constituée. Le terme turbine
d'éolienne tel qu'utilisé dans la description peut faire référence à un dispositif qui
convertit l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.
- [0064] Le terme « **recyclable** » peut faire référence à la résine qui peut être recyclée à 90 %,
préféablement à plus de 90 % et plus préféablement à 95 % ou plus.

- [0065] Comme mentionné, les pales de turbine d'éolienne sont soumises à des contraintes mécaniques et chimiques pendant leur fonctionnement. De plus, les pales de turbine d'éolienne ne sont pas totalement recyclables et leur temps de fabrication est long. Les procédés actuels proposent des matériaux composites principalement composés de polymère thermodurcissable pour fabriquer une semelle de longeron qui est ensuite assemblée avec la pale de turbine d'éolienne. De plus, afin d'augmenter les propriétés des pales de turbine d'éolienne et des semelles de longeron, une texturation comprenant une couche provisoire est introduite dans la fabrication. Cependant, une couche provisoire est difficile à recycler et chronophage.
- [0066] La production actuelle d'une semelle de longeron présente différentes techniques industrielles sans permettre de favoriser le recyclage et de répondre aux contraintes du secteur. De plus, ces techniques et le recyclage des semelles de longeron actuelles sont trop longs pour l'industrie et trop coûteux.
- [0067] Par conséquent, il existe un besoin pour de nouvelles semelles de longeron et de nouvelles techniques de fabrication de semelles de longeron qui peuvent être faciles à produire et à recycler, tout en offrant des propriétés mécaniques et chimiques qui répondent aux exigences du secteur de l'énergie éolienne et qui réduisent les temps et le coût de production.
- [0068] Selon un premier aspect, la présente invention propose un procédé pour produire une semelle de longeron pour une pale de rotor d'une turbine d'éolienne comme illustré pour l'exemple dans la [Fig.1].
- [0069] Un procédé 100 pour produire une semelle de longeron pour une pale de rotor d'une turbine d'éolienne comprend 110 la fourniture d'une pluralité de planches pultrudées, 130 l'empilement des planches pultrudées et 140 l'assemblage des planches pultrudées empilées.
- [0070] Un procédé selon l'invention peut également comprendre une étape 115 de texturation de surface, une étape 120 de fourniture d'une pluralité de couches intermédiaires, une étape 160 de thermoformage.
- [0071] Comme montré dans la [Fig.1], un procédé 100 pour la production d'une semelle de longeron pour une pale de rotor d'une turbine d'éolienne selon l'invention comprend **une étape 110 de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées**. Préférentiellement, lesdites planches pultrudées sont un composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres, préférentiellement des fibres de carbone. Plus préférentiellement, le composite thermoplastique comprend 40 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 60 % en volume de fibres et encore plus préférentiellement, le composite thermoplastique comprend 35 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des

polymères (méth)acryliques et au moins 65 % en volume de fibres. Les planches pultrudées sont un composite thermoplastique comprenant au moins 25 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 75 % en volume de fibres. Préférentiellement, le composite thermoplastique comprend au moins 27 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 73 % en volume de fibres. Plus préférentiellement, le composite thermoplastique comprend au moins 30 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 70 % en volume de fibres. Les planches pultrudées sont un composite thermoplastique comprenant entre 25 % et 45 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 55 % et 75 % en volume de fibres. Préférentiellement, le composite thermoplastique comprend entre 27 % et 40 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 60 % et 73 % en volume de fibres. Plus préférentiellement, le composite thermoplastique comprend entre 30 % et 35 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 65 % et 70 % en volume de fibres.

- [0072] L'étape 110 de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées peut comprendre, comme illustré dans la [Fig.2], les étapes suivantes de : 111 fourniture de fibres de stratifil ; 112 imprégnation des fibres par une composition thermoplastique, préférentiellement une résine polymère comprenant une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques, 113 chauffage des fibres imprégnées ; 114 refroidissement du composite chauffé avec 115 une texturation facultative (c'est-à-dire une texturation de surface), préférentiellement un calandrage ; et 116 retrait des planches pultrudées.
- [0073] Comme le montre la [Fig.2], le procédé selon l'invention peut comprendre **une étape 111 de fourniture de fibres en stratifil**. L'étape est préférentiellement mise en œuvre par un dispositif d'alimentation en fibres.
- [0074] L'étape 111 de fourniture de fibres en stratifil permet de fournir des fibres dans une direction d'un chemin de pultrusion.
- [0075] Les fibres peuvent être constituées de plusieurs fibres, de stratifils unidirectionnels ou d'un mat de filaments continus, de tissus, de feutres ou de non-tissés qui peuvent prendre la forme de bandes, nappes, tresses, mèches ou pièces. Le matériau fibreux du composite peut avoir diverses formes et dimensions, à savoir être unidimensionnel, bi-dimensionnel ou tridimensionnel.
- [0076] La forme unidimensionnelle correspond à des fibres longues linéaires. Les fibres peuvent être discontinues ou continues. Les fibres peuvent être agencées aléatoirement ou parallèlement les unes aux autres, sous la forme d'un filament continu. Une fibre est définie par son rapport d'aspect, qui est le rapport entre la longueur et le diamètre de la

fibre. Préféablement, les fibres utilisées dans la présente invention sont des fibres longues ou des fibres continues. Les fibres peuvent présenter un rapport d'aspect d'au moins 1000, préféablement d'au moins 1500, plus préféablement d'au moins 2000, avantageusement d'au moins 3000 et plus avantageusement d'au moins 5000, encore plus avantageusement d'au moins 6000, encore plus avantageusement d'au moins 7500 et de manière la plus avantageuse d'au moins 10 000.

[0077] La forme bidimensionnelle correspond à des mats ou renforcements fibreux, non tissés ou tissés, ou à des faisceaux de fibres, qui peuvent également être tressés. Même si la forme bidimensionnelle a une certaine épaisseur et, par conséquent, en principe une troisième dimension, elle est considérée comme étant bidimensionnelle selon la présente invention.

[0078] La forme tridimensionnelle correspond par exemple à des mats ou renforcements fibreux non tissés ou à des faisceaux de fibres empilés ou pliés ou à des mélanges de ceux-ci, un assemblage de la forme bidimensionnelle dans la troisième dimension.

[0079] Les origines du matériau fibreux peuvent être naturelles ou synthétiques. Comme matériau naturel, on peut mentionner les fibres végétales, les fibres de bois, les fibres animales ou les fibres minérales.

[0080] Les fibres naturelles sont par exemple le sisal, le jute, le chanvre, le lin, le coton, les fibres de noix de coco et les fibres de banane. Les fibres animales sont, par exemple, la laine ou les poils.

[0081] Comme matériau synthétique, on peut mentionner les fibres polymères choisies parmi les fibres de polymères thermodurcissables, de polymères thermoplastiques, de polyamide (aliphatique ou aromatique), de polyester, d'alcool polyvinylique, de polyoléfines, de polyuréthanes, de poly(chlorure de vinyle), de polyéthylène, de polyesters insaturés, de résines époxy et d'esters vinyliques et/ou les fibres de carbone, ou les mélanges de celles-ci.

[0082] Les fibres minérales peuvent également être choisies parmi les fibres de verre, en particulier de type E, R ou S2, les fibres de bore, les fibres de basalte ou les fibres de silice.

[0083] Les fibres de la présente invention peuvent être choisies parmi les fibres végétales, les fibres de bois, les fibres animales, les fibres minérales, les fibres polymères synthétiques, les fibres de verre et les fibres de carbone et leurs mélanges.

[0084] Préféablement, les fibres sont des fibres minérales. Plus préféablement, les fibres sont des fibres de verre ou des fibres de carbone.

[0085] Les fibres peuvent présenter un diamètre entre 0,005 μm et 100 μm , préféablement entre 1 μm et 50 μm , plus préféablement entre 5 μm et 30 μm et avantageusement entre 10 μm et 25 μm .

[0086] Préféablement, les fibres de la présente invention sont choisies parmi les fibres

continues (ce qui signifie que le rapport d'aspect ne s'applique pas forcément comme pour les fibres longues) pour la forme unidimensionnelle, ou parmi les fibres longues ou continues pour la forme bidimensionnelle ou tridimensionnelle du renforcement fibreux.

- [0087] Le procédé selon l'invention peut comprendre **une étape 112 de mouillage** (c'est-à-dire une imprégnation) **des fibres**. L'étape est préférablement mise en œuvre par un dispositif d'imprégnation. L'étape de mouillage permet d'imprégner les fibres avec la composition thermoplastique, en d'autres termes la pénétration de la composition thermoplastique dans les fibres. L'étape de mouillage des fibres peut comprendre le passage de fibres à travers une composition thermoplastique. Par exemple, les fibres sont guidées à travers un bain ou une chambre d'injection comprenant la composition thermoplastique. La composition thermoplastique peut être une résine polymère et/ou un précurseur de résine polymère. La composition thermoplastique peut comprendre au moins 50 % en poids de monomères du composite thermoplastique. La composition thermoplastique peut comprendre au moins 90 % en poids de monomères du composite thermoplastique. La composition thermoplastique peut comprendre une résine polymère comprenant une matrice polymère. La matrice polymère peut comprendre un polymère (méth)acrylique. La composition thermoplastique peut comprendre un polymère et un monomère.
- [0088] Préférablement, le monomère du composite thermoplastique est choisi parmi les monomères alkylacryliques, les monomères alkylméthacryliques, les monomères hydroxyalkylacryliques et les monomères hydroxyalkylméthacryliques et les mélanges de ceux-ci.
- [0089] Préférablement, le polymère du composite thermoplastique est choisi parmi tous les types de composés, polymères, oligomères, copolymères ou copolymères à blocs, acryliques et méthacryliques. Cependant, on ne s'écarterait pas de la portée de l'invention si la matrice de polymère (méth)acrylique comprenait jusqu'à 10 % en poids, préférablement moins de 5 % en poids d'autres monomères non acryliques, choisis par exemple dans le groupe suivant : butadiène, isoprène, styrène, styrène substitué tel que α -méthylstyrène ou tert-butylstyrène, cyclosiloxanes, vinyl-naphtalènes et vinylpyridines.
- [0090] La composition thermoplastique selon l'invention peut comprendre entre 10 % en poids et 50 % en poids d'un polymère (méth)acrylique (PI) et entre 50 % en poids et 90 % en poids d'un monomère (méth)acrylique (MI). Préférablement, la composition thermoplastique comprend entre 10 % en poids et 40 % en poids d'un polymère (méth)acrylique (PI) et entre 60 % en poids et 90 % en poids d'un monomère (méth)acrylique (MI) et plus préférablement entre 10 % en poids et 30 % en poids d'un polymère (méth)acrylique (PI) et entre 70 % en poids et 90 % en poids d'un monomère

(méth)acrylique (MI).

- [0091] La viscosité dynamique de la composition thermoplastique se situe dans une plage de 10 mPa*s à 10.000 mPa*s, préférablement de 20 mPa*s à 7000 mPa*s et avantageusement de 20 mPa*s à 5000 mPa*s et plus avantageusement de 20 mPa*s à 2000 mPa*s et encore plus avantageusement entre 20 mPa*s et 1000 mPa*s. La viscosité de la composition thermoplastique peut être facilement mesurée à l'aide d'un rhéomètre ou d'un viscosimètre. La viscosité dynamique est mesurée à 25 °C. Si la composition thermoplastique présente un comportement newtonien, ce qui signifie qu'elle ne présente pas de fluidification par cisaillement, la viscosité dynamique est indépendante du cisaillement dans un rhéomètre ou de la vitesse du mobile dans un viscosimètre. Si la composition thermoplastique présente un comportement non newtonien, ce qui signifie qu'elle présente une fluidification par cisaillement, la viscosité dynamique est mesurée à une vitesse de cisaillement de 1 s^{-1} à 25 °C.
- [0092] En ce qui concerne la composition thermoplastique de l'invention, elle comprend un monomère (méth)acrylique (MI) et un polymère (méth)acrylique (PI). Une fois polymérisé, le monomère (méth)acrylique (MI) est transformé en un polymère (méth)acrylique (P2) comprenant les motifs monomères du monomère (méth)acrylique (MI) et d'autres monomères possibles (M2).
- [0093] Préférablement, la viscosité dynamique de la composition (méth)acrylique MCI se situe également dans une plage de 10 mPa*s à 10.000 mPa*s, préférablement de 20 mPa*s à 7000 mPa*s et avantageusement de 20 mPa*s à 5000 mPa*s et plus avantageusement de 20 mPa*s à 2000 mPa*s et encore plus avantageusement entre 20 mPa*s et 1000 mPa*s.
- [0094] En ce qui concerne le polymère (méth)acrylique (PI), on peut mentionner les poly(méthacrylates d'alkyle) ou les poly(acrylates d'alkyle). Selon un mode de réalisation préféré, le polymère (méth)acrylique (PI) est le poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA).
- [0095] Selon un mode de réalisation, l'homopolymère ou copolymère de méthacrylate de méthyle (MMA) comprend au moins 70 %, préférablement au moins 80 %, avantageusement au moins 90 % et plus avantageusement au moins 95 % en poids de méthacrylate de méthyle.
- [0096] Selon un autre mode de réalisation, le PMMA est un mélange d'au moins un homopolymère et d'au moins un copolymère de MMA, ou un mélange d'au moins deux homopolymères ou deux copolymères de MMA présentant un poids moléculaire moyen différent, ou un mélange d'au moins deux copolymères de MMA présentant une composition de monomères différente.
- [0097] Le copolymère de méthacrylate de méthyle (MMA) comprend 70 % à 99,9 % en poids de méthacrylate de méthyle et 0,1 % à 30 % en poids d'au moins un monomère

contenant au moins une insaturation éthylénique qui peut copolymériser avec le méthacrylate de méthyle.

- [0098] Ces monomères sont bien connus et mention peut être faite notamment des acides acryliques et méthacryliques et des (méth)acrylates d'alkyle dans lesquels le groupe alkyle contient 1 à 12 atomes de carbone. Comme exemples, on peut mentionner l'acrylate de méthyle et le (méth)acrylate d'éthyle, de butyle ou de 2-éthylhexyle. Préféablement, le comonomère est un acrylate d'alkyle dans lequel le groupe alkyle contient 1 à 4 atomes de carbone.
- [0099] Selon un premier mode de réalisation préféré, le copolymère de méthacrylate de méthyle (MMA) comprend 80 % à 99,9 %, avantageusement 90 % à 99,9 % et plus avantageusement 90 % à 99,9 % en poids de méthacrylate de méthyle et 0,1 % à 20 %, avantageusement 0,1 % à 10 % et plus avantageusement 0,1 % à 10 % en poids d'au moins un monomère contenant au moins une insaturation éthylénique qui peut copolymériser avec le méthacrylate de méthyle. Préféablement, le comonomère est choisi parmi l'acrylate de méthyle et l'acrylate d'éthyle et les mélanges de ceux-ci.
- [0100] La masse moléculaire moyenne en poids du polymère (méth)acrylique (PI) doit être élevée, ce qui signifie supérieure à 50.000 g/mole et préféablement supérieure à 100.000 g/mole.
- [0101] La masse moléculaire moyenne en poids peut être mesurée par chromatographie par exclusion stérique (CES).
- [0102] Le polymère (méth)acrylique (PI) est complètement soluble dans le monomère (méth)acrylique (MI) ou dans le mélange de monomères (méth)acryliques. Cela permet d'augmenter la viscosité du monomère (méth)acrylique (MI) ou du mélange de monomères (méth)acryliques. La solution obtenue est une composition liquide généralement appelée « sirop » ou « prépolymère ». La valeur de la viscosité dynamique du sirop (méth)acrylique liquide est comprise entre 10 mPa.s et 10.000 mPa.s. La viscosité du sirop peut facilement être mesurée à l'aide d'un rhéomètre ou d'un viscosimètre. La viscosité dynamique est mesurée à 25 °C.
- [0103] Avantageusement, la composition ou le sirop (méth)acrylique liquide ne contient aucun solvant supplémentaire volontairement ajouté.
- [0104] En ce qui concerne le monomère (méth)acrylique (MI), le monomère est choisi parmi les monomères alkylacryliques, les monomères alkylméthacryliques, les monomères hydroxyalkylacryliques et les monomères hydroxyalkylméthacryliques et les mélanges de ceux-ci.
- [0105] Préféablement, le monomère (méth)acrylique (MI) est choisi parmi les monomères hydroxyalkylacryliques, les monomères hydroxyalkylméthacryliques, les monomères alkylacryliques, les monomères alkylméthacryliques et les mélanges de ceux-ci, le groupe alkyle contenant 1 à 22 atomes de carbone linéaires, ramifiés ou cycliques ; le

groupe alkyle contenant préféablement 1 à 12 atomes de carbone linéaires, ramifiés ou cycliques.

- [0106] Plus préféablement, le monomère (méth)acrylique (MI) est choisi parmi les monomères alkylacryliques ou les monomères alkylméthacryliques et les mélanges de ceux-ci, le groupe alkyle contenant 1 à 22 atomes de carbone linéaires, ramifiés ou cycliques ; le groupe alkyle contenant préféablement 1 à 12 atomes de carbone linéaires, ramifiés ou cycliques.
- [0107] Avantagement, le monomère (méth)acrylique (MI) est choisi parmi le méthacrylate de méthyle, le méthacrylate d'éthyle, l'acrylate de méthyle, l'acrylate d'éthyle, l'acide méthacrylique, l'acide acrylique, l'acrylate de n-butyle, l'acrylate d'isobutyle, le méthacrylate de n-butyle, le méthacrylate d'isobutyle, l'acrylate de cyclohexyle, le méthacrylate de cyclohexyle, l'acrylate d'isobornyle, le méthacrylate d'isobornyle, l'acrylate d'hydroxyéthyle et le méthacrylate d'hydroxyéthyle et les mélanges de ceux-ci.
- [0108] Plus avantagement, le monomère (méth)acrylique (MI) est choisi parmi le méthacrylate de méthyle, le méthacrylate d'éthyle, l'acrylate de méthyle, l'acrylate d'éthyle, l'acide méthacrylique, l'acide acrylique, l'acrylate de n-butyle, l'acrylate d'isobutyle, le méthacrylate de n-butyle, le méthacrylate d'isobutyle, l'acrylate de cyclohexyle, le méthacrylate de cyclohexyle, l'acrylate d'isobornyle, le méthacrylate d'isobornyle et les mélanges de ceux-ci.
- [0109] Selon un mode de réalisation préféré, au moins 50 % en poids et préféablement au moins 60 % en poids du monomère (méth)acrylique (MI) est du méthacrylate de méthyle.
- [0110] Selon un premier mode de réalisation plus préféré, au moins 50 % en poids, préféablement au moins 60 % en poids, mieux encore au moins 70 % en poids, avantagement au moins 80 % en poids et encore plus avantagement 90 % en poids du monomère (MI) sont un mélange de méthacrylate de méthyle avec éventuellement au moins un autre monomère. Par exemple, ledit au moins un autre monomère peut être un monomère (méth)acrylique polyfonctionnel (M2).
- [0111] En ce qui concerne le monomère (méth)acrylique (M2), le monomère est polyfonctionnel. Préféablement, le monomère (méth)acrylique (M2) est choisi parmi les composés comprenant au moins deux fonctions (méth)acryliques. Le monomère (méth)acrylique (M2) peut également être choisi parmi les mélanges d'au moins deux composés (M2a) et (M2b) comprenant chacun respectivement au moins deux fonctions (méth)acryliques.
- [0112] Le monomère (méth)acrylique (M2) peut être choisi parmi le diméthacrylate de 1,3-butylèneglycol ; le diméthacrylate de 1,4-butanediol ; le diacrylate de 1,6-hexanediol ; le diméthacrylate de 1,6-hexanediol ; le diméthacrylate de diéthylè-

neglycol ; le diacrylate de dipropylèneglycol ; le diacrylate de bisphénol A éthoxylé (10) ; le diméthacrylate de bisphénol A éthoxylé (2) ; le diacrylate de bisphénol A éthoxylé (3) ; le diméthacrylate de bisphénol A éthoxylé (3) ; le diacrylate de bisphénol A éthoxylé (4) ; le diméthacrylate de bisphénol A éthoxylé (4) ; le diméthacrylate de bisphénol A éthoxylé ; le diméthacrylate de bisphénol éthoxylé (10) ; le diméthacrylate d'éthylèneglycol ; le diacrylate de polyéthylèneglycol (200) ; le diacrylate de polyéthylèneglycol (400) ; le diméthacrylate de polyéthylèneglycol (400) ; le diméthacrylate de polyéthylèneglycol (400) ; le diacrylate de polyéthylèneglycol (600) ; le diméthacrylate de polyéthylèneglycol (600) ; le diacrylate de polyéthylèneglycol 400 ; le diacrylate de néopentylglycol propoxylé (2) ; le diacrylate de tétraéthylèneglycol ; le diméthacrylate de tétraéthylèneglycol ; le diacrylate de tricyclodécanediméthanol ; le diméthacrylate de tricyclodécanediméthanol ; le diacrylate de triéthylèneglycol ; le diméthacrylate de triéthylèneglycol ; le diacrylate de tripropylèneglycol ; le triacrylate de triméthylolpropane éthoxylé (15) ; le triacrylate de triméthylolpropane éthoxylé (3) ; le triacrylate de triméthylolpropane éthoxylé (6) ; le triacrylate de triméthylolpropane éthoxylé (9) ; le triacrylate de pentaérythritol éthoxylé 5 ; le triacrylate de triméthylolpropane éthoxylé (20) ; le triacrylate de glycéryle propoxylé (3) ; le triacrylate de triméthylolpropane ; le triacrylate de glycéryle propoxylé (5,5) ; le triacrylate de pentaérythritol ; le triacrylate de glycéryle propoxylé (3) ; le triacrylate de triméthylolpropane propoxylé (3) ; le triacrylate de triméthylolpropane ; le triméthacrylate de triméthylolpropane ; le triacrylate d'isocyanurate de tris(2-hydroxyéthyle) ; le tétraacrylate de ditriméthylolpropane ; le pentaacrylate de dipentaérythritol ; le tétraacrylate de pentaérythritol éthoxylé (4) ; le tétraacrylate de pentaérythritol ; l'hexaacrylate de dipentaérythritol ; le diacrylate de 1,10-décanediol ; le diacrylate de 1,3-butylèneglycol ; le diacrylate de 1,4-butanediol ; le diacrylate de 1,9-nonanediol ; l'acrylate de 2-(2-vinyloxyéthoxy)éthyle ; le diacrylate de 2-butyl-2-éthyl-1,3-propanediol ; le diacrylate de 2-méthyl-1,3-propanediol ; l'éthoxyacrylate de 2-méthyl-1,3-propanediyle ; le diacrylate de 3-méthyl-1,5-pentanediol ; le diacrylate de cyclohexanediméthanol alcoxylé ; le diacrylate d'hexanediol alcoxylé ; le diacrylate de cyclohexanediméthanol ; le diacrylate de cyclohexanediméthanol éthoxylé ; le diacrylate de diéthylèneglycol ; le diacrylate de dioxaneglycol ; l'hexaacrylate de dipentaérythritol éthoxylé ; le triacrylate de glycérol éthoxylé ; le diacrylate de néopentylglycol éthoxylé ; le diacrylate d'hydroxypivalate d'hydroxypivalyle ; le diacrylate de néopentylglycol ; le diacrylate de poly(tétraméthylèneglycol) ; le diacrylate de polypropylèneglycol 400 ; le diacrylate de polypropylèneglycol 700 ; le diacrylate de bisphénol A éthoxylé propoxylé (6) ; le diacrylate d'éthylèneglycol propoxylé ; le tétraacrylate de pentaérythritol propoxylé (5) ; et le triacrylate de triméthylolpropane propoxylé.

- [0113] Préféablement, le monomère (méth)acrylique (M2) est choisi parmi le diméthacrylate d'éthylèneglycol, le diacrylate de néopentylglycol, le diméthacrylate de néopentylglycol, le diméthacrylate de 1,4-butanediol, le diacrylate de 1,4-butanediol, le diacrylate de 1,3-butylèneglycol, le diméthacrylate de 1,3-butylèneglycol, le diméthacrylate de triéthylèneglycol et le diacrylate de triéthylèneglycol, le diméthacrylate de tricyclodécane-méthanol ou les mélanges de ceux-ci.
- [0114] Le monomère (méth)acrylique (M2) peut être présent dans la composition (méth)acrylique MCI entre 0,01 et 10 phr en poids, préféablement est présent entre 0,1 et 9,5 phr pour 100 parties d'un sirop (méth)acrylique liquide, plus préféablement entre 0,1 et 9 phr, encore plus préféablement entre 0,1 et 8,5 phr et avantageusement entre 0,1 et 8 phr.
- [0115] Dans un premier mode de réalisation plus préféré, le monomère (méth)acrylique (M2) est présent dans la composition (méth)acrylique MCI entre 0,01 et 9 phr et est choisi parmi les composés comprenant deux fonctions (méth)acryliques.
- [0116] Dans un deuxième mode de réalisation plus préféré, le monomère (méth)acrylique (M2) est présent dans la composition (méth)acrylique MCI entre 0,01 et 9 phr et est choisi parmi les mélanges de composés comprenant deux fonctions (méth)acryliques.
- [0117] Dans un troisième mode de réalisation plus préféré, le monomère (méth)acrylique (M2) est présent dans la composition (méth)acrylique MCI entre 0,01 et 9 phr et est choisi parmi les mélanges de composés comprenant au moins deux fonctions (méth)acryliques.
- [0118] Dans un quatrième mode de réalisation plus préféré, le monomère (méth)acrylique (M2) est présent dans la composition (méth)acrylique MCI entre 0,01 et 9 phr et est choisi parmi les mélanges de composés comprenant au moins deux fonctions (méth)acryliques. Au moins un composé du mélange comprend seulement deux fonctions (méth)acryliques et représente au moins 50 % en poids du mélange de monomère méthacrylique (M2), préféablement au moins 60 % en poids. L'autre composé du mélange comprend plus de deux fonctions (méth)acryliques.
- [0119] Selon un autre mode de réalisation de l'étape de mouillage, la composition thermostable peut être un précurseur de résine polymère.
- [0120] Un précurseur ou un initiateur (Ini) pourra démarrer la polymérisation des monomères (méth)acryliques (MI) et (M2) et il est choisi parmi les initiateurs radicalaires.
- [0121] Préféablement, l'initiateur (Ini) est activé par la chaleur.
- [0122] Les initiateurs radicalaires (Ini) peuvent être choisis parmi les composés comprenant un groupe peroxy ou les composés comprenant un groupe azo et préféablement parmi les composés comprenant un groupe peroxy.
- [0123] Préféablement, le composé comprenant un groupe peroxy comprend de 2 à

30 atomes de carbone.

[0124] Préféablement, le composé comprenant un groupe peroxy est choisi parmi les peroxydes de diacyle, les peroxyesters, les peroxydicarbonates, les peroxydes de dialkyle, les peroxyacétals, l'hydroperoxyde ou le peroxyacétal.

[0125] L'initiateur (Ini) est choisi parmi le peroxyde de diisobutyryle, le peroxynéodécanoate de cumyle, le peroxydicarbonate de di(3-méthoxybutyle), le peroxynéodécanoate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle, le peroxynéohéptanoate de cumyle, le peroxydicarbonate de di-n-propyle, le peroxynéodécanoate de tert-amyle, le peroxydicarbonate de di-sec-butyle, le peroxydicarbonate de diisopropyle, le peroxydicarbonate de di(4-tert-butylcyclohexyle), le peroxydicarbonate de di(2-éthylhexyle), le peroxynéodécanoate de tert-amyle, le peroxynéodécanoate de tert-butyle, le peroxydicarbonate de di-n-butyle, le peroxydicarbonate de dicétyle, le peroxydicarbonate de di-myristyle, le peroxy-pivalate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle, le peroxynéohéptanoate de tert-butyle, le peroxy-pivalate de tert-amyle, le peroxy-pivalate de tert-butyle, le peroxyde de di(3,5,5-triméthylhexanoyl), le peroxyde de dilauroyle, le peroxyde de didécanoyle, le 2,5-diméthyl-2,5-di(2-éthylhexanoylperoxy)hexane, le peroxy-2-éthylhexanoate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle, le peroxy-2-éthylhexanoate de tert-amyle, le peroxyde de dibenzoyle, le peroxy-2-éthylhexanoate de tert-butyle, le peroxydiéthylacétate de tert-butyle, le peroxyisobutyrate de tert-butyle, le 1,1-di(tert-butylperoxy)-3,3,5-triméthylcyclohexane, le 1,1-di(tert-amylperoxy)cyclohexane, le 1,1-di(tert-butylperoxy)cyclohexane, le peroxy-2-éthylhexylcarbonate de tert-amyle, le peroxyacétate de tert-amyle, le peroxy-3,5,5-triméthylhexanoate de tert-butyle, le 2,2-di(tert-butylperoxy)butane, le peroxyisopropylcarbonate de tert-butyle, le peroxy-2-éthylhexylcarbonate de tert-butyle, le peroxybenzoate de tert-amyle, le peroxyacétate de tert-butyle, le 4-di(tert-butylperoxy)valérate de butyle, le peroxybenzoate de tert-butyle, le peroxyde de di-tert-amyle, le peroxyde de dicumyle, le di(2-tert-butylperoxyisopropyl)benzène, le 2,5-diméthyl-2,5-di(tert-butylperoxy)hexane, le peroxyde de tert-butyle et de cumyle, le 2,5-diméthyl-2,5-di(tert-butylperoxy)hexyne-3, le peroxyde de di-tert-butyle, le 3,6,9-triéthyl-3,6,9-triméthyl-1,4,7-triperoxonane, le 2,2'-azobisisobutyronitrile (AIBN), le 2,2'-azodi(2-méthylbutyronitrile), l'azobisisobutyramide, le 2,2'-azobis(4-diméthylvaléronitrile), le 1,1'-azodi(hexahydrobenzonnitrile) ou l'acide 4,4'-azobis(4-cyanopentanoïque).

[0126] Préféablement, l'initiateur (Ini) est choisi parmi le peroxynéodécanoate de cumyle, le peroxydicarbonate de di(3-méthoxybutyle), le peroxynéodécanoate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle, le peroxynéohéptanoate de cumyle, le peroxydicarbonate de di-n-propyle, le peroxynéodécanoate de tert-amyle, le peroxydicarbonate de di-sec-butyle, le peroxydicarbonate de diisopropyle, le peroxydicarbonate de

di(4-tert-butylcyclohexyle), le peroxydicarbonate de di(2-éthylhexyle), le peroxyneodécanoate de tert-amyle, le peroxyneodécanoate de tert-butyle, le peroxydicarbonate de di-n-butyle, le peroxydicarbonate de dicétyle, le peroxydicarbonate de dimyrystyle, le peroxyipivalate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle, le peroxyneohéptanoate de tert-butyle, le peroxyipivalate de tert-amyle, le peroxyipivalate de tert-butyle, le peroxyde de di(3,5,5-triméthylhexanoyle), le peroxyde de dilauroyle, le peroxyde de didécanoyle, le 2,5-diméthyl-2,5-di(2-éthylhexanoylperoxy)hexane ou le peroxy-2-éthylhexanoate de 1,1,1,3-tétraméthylbutyle.

- [0127] La composition thermoplastique peut comprendre entre 0,1 phr et 5 phr d'un initiateur (Ini) pour démarrer la polymérisation du monomère (méth)acrylique (MI) et du comonomère (méth)acrylique (M2).
- [0128] Le procédé 100 selon l'invention peut comprendre **une étape 113 de chauffage**. Préférentiellement, l'étape de chauffage est mise en œuvre par un dispositif de chauffage. L'étape de chauffage permet le déclenchement et l'initiation de la polymérisation de la composition thermoplastique qui présente des fibres imprégnées.
- [0129] Le chauffage permet également d'augmenter l'espace entre les molécules, ce qui permet d'augmenter la souplesse du composite thermoplastique. Comme expliqué, un composite thermoplastique possède la spécificité d'être généralement solide à température ambiante et de ramollir pendant une hausse de température, en particulier après avoir dépassé sa température de transition vitreuse (Tg) ou la température de fusion (Tf) et de redevenir solide lorsque la température chute en dessous de son point de fusion et en dessous de sa température de transition vitreuse. Préférentiellement, le polymère thermoplastique (méth)acrylique formant la matrice polymère thermoplastique (méth)acrylique présente une température de transition vitreuse (Tg) entre 50 °C et 160 °C, préférentiellement entre 70 °C et 140 °C et encore plus préférentiellement entre 90 °C et 120 °C. Cet aspect lui confère un avantage par rapport à d'autres polymères thermoplastiques tels que les polyamines. En effet, les polyamines présentent généralement des points de fusion très élevés, notamment de 200 °C et plus, ce qui ne facilite pas le processus. Les températures de transition vitreuse ou les points de fusion peuvent être mesurés par des procédés bien connus par l'homme de l'art. Préférentiellement, ces températures sont mesurées par calorimétrie par balayage différentiel selon les conditions spécifiées dans les normes ISO 11357-2/2013 pour la Tg et ISO 11357-3/2011 pour la Tf. De plus, le polymère thermoplastique (méth)acrylique ou une partie du polymère thermoplastique (méth)acrylique présente un indice de fluidité à chaud (MFI) selon la norme ISO 1133 (230 °C/3,8 kg) inférieur à 20 g/10 min. Préférentiellement, l'indice de fluidité à chaud est inférieur à 18 g/10 min, plus préférentiellement inférieur à 16 g/10 min, avantageusement inférieur à 13 g/10 min.
- [0130] L'étape de chauffage peut comprendre un chauffage par convection, par conduction,

par IR (infrarouge (comprenant le NIR et le MIR (proche et moyen infrarouge)), par micro-ondes, par UV (ultraviolets) et/ou par induction.

- [0131] Selon un mode de réalisation de l'étape 113 de chauffage, la polymérisation peut avoir lieu à une température généralement inférieure à 140 °C, préférablement inférieure à 130 °C et encore plus préférablement inférieure à 125 °C.
- [0132] Selon un mode de réalisation de l'étape de chauffage, la polymérisation peut avoir lieu à une température d'au moins 40 °C, préférablement d'au moins 50 °C et plus préférablement d'au moins 60 °C.
- [0133] Préférablement, la polymérisation peut avoir lieu à une température entre 40 °C et 140 °C, préférablement entre 50 °C et 130 °C, encore plus préférablement entre 60 °C et 125 °C.
- [0134] Avantageusement, l'étape de chauffage peut être mise en œuvre de façon continue ou non.
- [0135] L'étape de chauffage et la polymérisation permettent de passer d'une composition thermoplastique qui a imprégné les fibres (résine polymère ou précurseur de résine polymère) et qui est liquide à un composite thermoplastique.
- [0136] Préférablement, le composite thermoplastique chauffé n'est pas limité par sa géométrie.
- [0137] Préférablement, le composite thermoplastique chauffé n'est pas limité par sa dimension, par exemple par sa longueur.
- [0138] Préférablement, les planches pultrudées en composite thermoplastique sont obtenues à partir d'un processus de pultrusion et plus préférablement à partir d'un processus de pultrusion réactive. La pultrusion et le processus de pultrusion réactive sont connus de l'homme de l'art. Dans ces procédés, les fibres sont guidées à travers un bain de résine ou une chambre d'injection comprenant la composition ou le sirop. Les fibres en tant que renforcement fibreux sont, par exemple, sous une forme d'un stratifil unidirectionnel ou d'un mat de filaments continus. Après imprégnation dans la résine, les fibres mouillées sont tirées à travers un dispositif chauffé, où la polymérisation peut avoir lieu.
- [0139] Avantageusement, le procédé 100 selon l'invention peut comprendre une étape de thermoformage. Les planches pultrudées peuvent être mises en forme. Une forme peut être un coude, une courbe, une torsion, un pli, une compression, une forme complexe ou une combinaison de tous les éléments précédents. Selon un mode de réalisation, la planche pultrudée comprend un changement de sa forme dans au moins une partie de la planche pultrudée entière.
- [0140] Préférablement, l'étape de thermoformage est mise en œuvre par tirage des planches pultrudées chauffées à travers un dispositif de mise en forme. La partie chauffée peut être mise en forme avec une géométrie différente grâce au composite thermoplastique

chauffé. L'étape de thermoformage permet de changer la forme des planches pultrudées. L'étape de thermoformage peut être réalisée grâce à des outils de fixation, un poids sur l'un ou l'autre côté du composite thermoplastique, de moteurs rotatifs ou à l'aide d'un moule. L'étape de thermoformage peut comprendre une pression appliquée aux planches pultrudées, préférablement aux planches pultrudées chauffées.

- [0141] Le procédé selon l'invention peut comprendre une **étape 114 de refroidissement**. Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de refroidissement peut être mise en œuvre par un dispositif de refroidissement. De plus, l'étape de refroidissement peut être mise en œuvre à une température de refroidissement donnée et/ou sur une durée de refroidissement donnée. L'étape de refroidissement permet une commutation à partir d'un composite chauffé (c'est-à-dire les planches pultrudées) à un composite refroidi, qui est plus facile à manipuler.
- [0142] Selon un mode de réalisation, la température de refroidissement et/ou la durée de refroidissement peu(ven)t être choisie(s) en fonction de la température de transition vitreuse (Tg) et/ou de la température de fusion du composite thermoplastique chauffé. Préférablement, l'étape de refroidissement se déroule à une température de refroidissement inférieure à une température de transition vitreuse du composite thermoplastique chauffé. Par exemple, la Tg peut être inférieure à 130 °C, préférablement inférieure à 120 °C et plus préférablement inférieure à 110 °C.
- [0143] Le procédé selon l'invention peut comprendre **une étape 116 de retrait des planches pultrudées**. Dans un mode de réalisation particulier, l'étape de retrait peut être mise en œuvre manuellement ou automatiquement. L'étape de retrait peut être mise en œuvre par découpe mécanique à une longueur requise.
- [0144] L'étape de retrait permet de récupérer les planches pultrudées.
- [0145] L'étape de retrait peut être mise en œuvre afin que les planches pultrudées présentent une épaisseur de 2 mm à 8 mm, préférablement de 2 mm à 7 mm, plus préférablement de 4 mm à 6 mm.
- [0146] Chaque planche pultrudée peut présenter une surface inférieure et une surface supérieure s'étendant dans une direction longitudinale. La surface supérieure et la surface inférieure peuvent être définies comme les deux surfaces les plus longues de la planche pultrudée et la surface supérieure étant opposée à la surface inférieure.
- [0147] Une planche pultrudée peut présenter différentes géométries telles qu'une géométrie ovale, plate, linéaire, circulaire. Préférablement, la pluralité de planches pultrudées présente la même géométrie. Plus préférablement, la planche pultrudée peut présenter une section constante.
- [0148] L'étape de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées selon l'invention peut comprendre d'autres étapes facultatives. Par exemple, l'étape de fourniture de planches pultrudées peut comprendre une **étape 115 de texturation de surface**. Cette étape

permet d'améliorer la rugosité et par conséquent l'adhérence.

- [0149] Préféablement, ladite surface texturée peut présenter un Ra entre 3 μm et 30 μm selon la norme ISO 4287: 1997. Avantageusement, une surface d'une planche pultrudée peut présenter une surface externe rugueuse afin de présenter plus d'adhérence ultérieurement pour mieux adhérer à la pale de turbine d'éolienne.
- [0150] La surface texturée peut comprendre des canaux présentant une profondeur d'au moins 0,04 mm et d'au plus 0,5 mm.
- [0151] L'étape de texturation de surface peut comprendre la texturation d'au moins une surface (c'est-à-dire la surface supérieure et/ou inférieure) des planches pultrudées.
- [0152] L'étape de texturation de surface peut être choisie parmi le sablage, le raclage, le décapage chimique, la stratification et/ou le calandrage. Avantageusement, l'étape de texturation de surface ne comprend pas de couche provisoire. Plus préféablement, les planches pultrudées ne comprennent pas de couche provisoire. Préféablement, l'étape de texturation de surface comprend un calandrage comme illustré dans **la** [Fig.3]. L'avantage des planches pultrudées se situe dans leur comportement thermoplastique qui permet notamment la conception d'un motif. De plus, le calandrage permet de remplacer la couche provisoire qui est coûteuse et ralentit la production. Avantageusement, le calandrage permet de concevoir un motif, d'augmenter la rugosité et est rapide à mettre en œuvre.
- [0153] Si on revient à la [Fig.1] et selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention peut comprendre une **étape 120 de fourniture d'une pluralité de couches intermédiaires**.
- [0154] Les couches intermédiaires peuvent comprendre des fibres, préféablement des fibres de verre ou des fibres de carbone. Les fibres peuvent correspondre aux fibres telles que décrites ci-dessus. Les fibres dans chaque couche intermédiaire peuvent être cousues ensemble, maintenues ensemble par un agent de liaison, cousues et/ou tissées ensemble. L'agent de liaison permet de maintenir les fibres les unes aux autres.
- [0155] Les couches intermédiaires peuvent être un tissu ouaté ou un tissu, préféablement un tissu de verre et plus préféablement un tissu de verre perméable.
- [0156] Les couches intermédiaires peuvent consister en une couche thermoplastique.
- [0157] Préféablement, la couche thermoplastique peut être une composition thermoplastique. La composition thermoplastique peut être un polymère thermoplastique et/ou un alliage polymère thermoplastique.
- [0158] La couche thermoplastique peut comprendre au plus 10 % en poids de fibres, préféablement au plus 5 %.
- [0159] Préféablement, les couches intermédiaires peuvent présenter la même dimension et/ou géométrie que celle(s) des planches pultrudée. De même, chaque couche intermédiaire peut présenter une surface inférieure et une surface supérieure s'étendant dans

une direction longitudinale. La surface supérieure et la surface inférieure peuvent être définies comme les deux surfaces les plus longues de la couche intermédiaire et la surface supérieure étant opposée à la surface inférieure.

- [0160] Selon un mode de réalisation, les couches intermédiaires peuvent présenter une épaisseur de 0,05 mm à 0,5 mm.
- [0161] Le procédé selon l'invention peut comprendre **une étape 130 d'empilement des planches pultrudées** en une forme de présemelle de longeron. Préférentiellement, cette étape est réalisée dans un moule.
- [0162] L'étape d'empilement peut comprendre une étape de thermoformage.
- [0163] Selon un mode de réalisation, une couche intermédiaire peut être agencée entre la surface inférieure et la surface supérieure de deux planches pultrudées, par exemple, la surface supérieure ou inférieure de la couche intermédiaire fait face à la surface inférieure d'une première planche pultrudée et la surface supérieure ou inférieure de la couche intermédiaire fait face à la surface supérieure d'une deuxième planche pultrudée.
- [0164] En variante, les planches pultrudées peuvent être séparées par une ou plusieurs couches intermédiaires.
- [0165] L'étape d'empilement peut être effectuée jusqu'à ce qu'une épaisseur requise soit atteinte, préférentiellement selon l'épaisseur de la semelle de longeron prévue. Préférentiellement, la contrainte maximale est inférieure à la contrainte de rupture de la fibre et, plus préférentiellement, pour une fibre de carbone, elle est de 1,8 % ou moins. L'épaisseur peut être calculée en ce sens.
- [0166] Selon un autre mode de réalisation, l'étape d'empilement peut comprendre au moins deux planches pultrudées.
- [0167] Selon un mode de réalisation, l'étape d'empilement peut comprendre au moins une couche intermédiaire entre deux planches pultrudées.
- [0168] Le procédé selon l'invention peut comprendre **une étape 140 d'assemblage des planches pultrudées empilées**. Cette étape permet de former et finalement de produire une semelle de longeron. Selon un mode de réalisation, une forme de présemelle de longeron peut être assemblée en une semelle de longeron.
- [0169] L'étape d'assemblage peut être réalisée dans un moule à semelle de longeron. Ce moule peut être le même que le moule pour empiler les planches pultrudées.
- [0170] En variante, les planches pultrudées empilées pour la semelle de longeron sont assemblées dans un moule à semelle de longeron et la semelle de longeron sera assemblée en pale de rotor, par exemple à l'aide d'un moule à pale de rotor.
- [0171] Selon un mode de réalisation, l'étape 140 d'assemblage peut être réalisée dans un moule à pale de rotor.
- [0172] Selon un mode de réalisation, les planches pultrudées empilées de la semelle de

longeron sont assemblées au moment de la formation de la pale de rotor, préférablement par infusion et/ou par un adhésif thermoplastique.

- [0173] L'étape 140 d'assemblage peut comprendre l'assemblage plastique, le soudage plastique, l'infusion et préférablement l'infusion thermoplastique, le soudage ultrasonore, le soudage par induction, le soudage par fil résistif, le soudage au laser, le chauffage par un rayonnement infrarouge ou ultraviolet et/ou le collage. Le soudage plastique peut comprendre un chauffage. Le chauffage peut être choisi parmi un chauffage par conduction, le chauffage radial et/ou le chauffage volumétrique. Préférablement, l'étape d'assemblage peut comprendre un soudage. En effet, la semelle de longeron thermoplastique peut être soudée au lieu d'utiliser un adhésif, ce qui permet la production d'une semelle de longeron facilement recyclable et par conséquent d'une turbine de pale de rotor qui ne nécessite aucune séparation de matériau. Préférablement, l'interface de type soudure peut présenter une épaisseur supérieure ou égale à 0,05 mm, préférablement supérieure ou égale à 0,5 mm. L'épaisseur de l'interface de type soudure peut être mesurée par des procédés classiques, par exemple sur une section verticale de ladite interface de type soudure.
- [0174] Le procédé peut également comprendre une étape d'infusion. L'étape 140 d'assemblage peut comprendre l'infusion d'une résine polymère entre les planches pultrudées et le durcissement de la résine polymère afin de former la semelle de longeron. L'étape 140 d'assemblage peut comprendre l'infusion d'une résine polymère entre les planches pultrudées et le durcissement de la résine polymère afin de former la semelle de longeron, par exemple au moment de la formation de la pale de rotor.
- [0175] L'étape 140 d'assemblage peut comprendre l'application d'au moins une force de déformation à la semelle de longeron. L'application d'une déformation à la semelle de longeron peut permettre l'adoption de la forme du moule et l'adaptation à la forme d'une pale de turbine d'éolienne. La déformation peut être appliquée grâce à la chaleur par une force, une force sous vide, un poids et/ou un moule.
- [0176] Le procédé de production d'une semelle de longeron selon l'invention peut en outre comprendre une étape 150 de thermoformage. L'étape 150 thermoformage peut correspondre à l'étape de thermoformage telle que divulguée ci-dessus.
- [0177] Le procédé selon l'invention représente une production plus rapide et économe en énergie par rapport à la pultrusion thermoplastique classique à l'aide notamment d'une pultrusion réactive. De plus, comme montré, le procédé permet la production de semelles de longeron qui présentent des propriétés identiques (ou meilleures) à celles d'une semelle de longeron thermodurcissable.
- [0178] Le procédé laisse toute liberté pour remplacer l'utilisation d'une couche provisoire qui est coûteuse et ralentit la production par le calandrage d'au moins une surface de la planche pultrudée pour améliorer la rugosité de surface. Le procédé laisse également

toute liberté pour souder l'ensemble de la semelle de longeron.

- [0179] De plus, le procédé permet la production d'une semelle de longeron et d'une pale d'éolienne recyclables.
- [0180] Enfin, le procédé selon l'invention permet de réduire les déchets, le temps et le coût tout en répondant aux besoins et exigences du secteur.
- [0181] Selon un autre aspect, l'invention propose **une semelle de longeron** pour une turbine d'éolienne pouvant être obtenue, préférablement étant obtenue, par un procédé selon l'invention.
- [0182] Une semelle de longeron pour une turbine d'éolienne peut comprendre une pluralité de planches pultrudées assemblées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique, ledit composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres. Préférablement, le composite thermoplastique comprend 40 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 60 % en volume de fibres et encore plus préférablement, le composite thermoplastique comprend 35 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 65 % en volume de fibres. Les planches pultrudées sont un composite thermoplastique comprenant au moins 25 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 75 % en volume de fibres. Préférablement, le composite thermoplastique comprend au moins 27 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 73 % en volume de fibres. Plus préférablement, le composite thermoplastique comprend au moins 30 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au plus 70 % en volume de fibres. Les planches pultrudées sont un composite thermoplastique comprenant entre 25 % et 45 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 55 % et 75 % en volume de fibres. Préférablement, le composite thermoplastique comprend entre 27 % et 40 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 60 % et 73 % en volume de fibres. Plus préférablement, le composite thermoplastique comprend entre 30 % et 35 % en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et entre 65 % et 70 % en volume de fibres.
- [0183] Selon un mode de réalisation, lesdites planches pultrudées peuvent présenter au moins une surface texturée. La surface texturée peut présenter un Ra entre 3 μm et 30 μm selon la norme ISO 4287: 1997.
- [0184] Les planches pultrudées peuvent être séparées par une ou plusieurs couches intermédiaires. La semelle de longeron selon l'invention peut comprendre des couches intermédiaires telles que divulguées ci-dessus.

- [0185] Préféablement, la semelle de longeron selon l'invention ne comprend pas de thermo-durcissable.
- [0186] Préféablement, la semelle de longeron selon l'invention ne comprend pas de couche provisoire.
- [0187] La semelle de longeron pour une turbine d'éolienne selon l'invention est facilement recyclable. De plus, la semelle de longeron selon l'invention présente une résistance élevée et est légère. Elle présente également une très bonne résistance aux UV ainsi qu'aux chocs.
- [0188] La semelle de longeron selon l'invention peut également être facilement thermoformée, liée, soudée et/ou surmoulée.
- [0189] Les semelles de longeron selon l'invention présentent des propriétés mécaniques similaires par rapport à celles de résines thermodurcissables. De plus, les semelles de longeron selon l'invention répondent aux spécifications requises dans le domaine.
- [0190] Selon un autre aspect, la présente invention concerne **une pale de rotor** comprenant une semelle de longeron selon l'invention.
- [0191] Une pale de rotor peut comprendre une forme sectionnelle transversale qui passe d'une pointe à une racine de la pale de rotor, correspondant à une zone de fixation. La pale de rotor peut comprendre un boîtier externe définissant une surface inférieure et une surface supérieure et un bord d'attaque et un bord de fuite. Le boîtier externe est par exemple plus particulièrement formé avec une semelle de longeron.
- [0192] Préféablement, la semelle de longeron s'étend le long de la pale de turbine d'éolienne et entre au moins le bord d'attaque et/ou au moins le bord de fuite. La semelle de longeron permet d'améliorer la stabilité et la rigidité locale par rapport à une pale de rotor en composite polymère thermoplastique uniquement.
- [0193] La présente invention basée sur l'utilisation d'un composite polymère thermoplastique permet de produire une nouvelle pale de rotor. La pale de rotor selon l'invention est facilement recyclable et plus recyclable par rapport à une pale de rotor actuelle. De plus, la pale de rotor selon l'invention présente des propriétés mécaniques similaires par rapport à celles des pales de rotor actuelles et plus particulièrement par rapport à une pale de rotor thermodurcissable et à une pale de rotor thermodurcissable-thermoplastique.
- [0194] Selon un autre aspect, la présente invention concerne un **procédé de production d'une pale de rotor** comprenant une semelle de longeron selon l'invention. Le procédé peut comprendre une étape d'association de la semelle de longeron avec une coque et une âme de cisaillement. Le procédé peut également comprendre une étape d'assemblage de ces éléments par collage, soudage ou infusion.
- [0195] Eu égard à l'étape d'association, différents processus peuvent être utilisés. On peut mentionner l'infusion de résine assistée par le vide (VARI), le moulage par transfert de

résine assisté par le vide (VARTM), la pultrusion, le moulage par infusion sous vide, le moulage par infusion sous pression, le moulage en autoclave, le moulage par transfert de résine (RTM) et ses variantes (HP-RTM, C-RTM, I-RTM), le moulage par injection et réaction (RIM), le moulage par injection et réaction renforcée (R-RIM) et ses variantes, le moulage à la presse, le moulage par compression, le moulage par compression liquide (LCM) ou le moulage en feuille (SMC) ou le moulage en vrac (BMC). Préférentiellement, la pale de rotor en composite polymère est fabriquée par moulage par injection à basse pression, par moulage par infusion ou par moulage de composite polymère thermoplastique (méth)acrylique.

- [0196] Un premier processus préféré de fabrication d'une pale de turbine d'éolienne est un processus selon lequel la composition thermoplastique est transférée sur le renforcement fibreux par imprégnation du renforcement fibreux dans un moule.
- [0197] Un deuxième processus préféré de fabrication d'une pale de turbine d'éolienne comprend des processus selon lesquels la composition thermoplastique est utilisée dans un processus de pultrusion. Les fibres sont guidées par l'intermédiaire d'un lot ou dans une chambre d'injection d'une composition thermoplastique comprenant la composition selon l'invention. Les fibres sous forme de renforcement fibreux sont, par exemple, sous une forme d'un stratifil unidirectionnel ou d'un mat de filaments continus. Après imprégnation, les fibres mouillées sont tirées à travers une filière chauffée où la polymérisation se produit.
- [0198] Un troisième processus de fabrication préféré est l'infusion de résine assistée par le vide (VARI).
- [0199] Le procédé de production d'une pale de rotor peut en outre comprendre un traitement subséquent dans le but de renforcer le boîtier extérieur et d'améliorer les propriétés mécaniques et chimiques correspondantes. Le traitement peut par exemple être situé spécifiquement dans certaines zones de la surface externe de la pale de rotor, par exemple le long du bord d'attaque. Dans ce cas, le traitement peut comprendre le dépôt d'une couche de protection de plastique ou de métal recouvrant le bord d'attaque.
- [0200] Le procédé de production d'une pale de rotor peut en outre comprendre une étape de postformage. Le postformage comprend le cintrage et également la modification de la forme de la pièce en composite. Le processus de fabrication d'une pale de rotor peut en outre comprendre une étape de laminage.
- [0201] Selon un autre aspect, la présente invention propose **une turbine d'éolienne** comprenant une semelle de longeron selon l'invention et/ou une pale de rotor selon l'invention.
- [0202] La turbine d'éolienne selon l'invention présente les mêmes avantages que la semelle de longeron selon l'invention et/ou la pale de rotor selon l'invention. En effet, une turbine d'éolienne selon l'invention est facilement recyclable tout en présentant des

propriétés mécaniques et chimiques qui répondent aux exigences de l'industrie éolienne.

Exemples

[0203] Tableau 1 - Propriétés suivant la spécification d'une semelle de longeron d'une turbine d'éolienne

Propriétés	Invention	Spécification générale pour la pultrusion d'une semelle de longeron
Résistance à la flexion à 0° (MPa)	1200	900-1200
Module en flexion à 0° (GPa)	140	130-150
Contrainte en flexion à 0° (%)	0,9	0,9-1,1
Résistance à la flexion à 90° (MPa)	82	20-100
ILSS à 0° (MPa)	55	50-80
Résistance à la traction à 0° (MPa)	1850	1700-1900
Module en traction à 0° (GPa)	156	130-160
Contrainte en traction à 0° (%)	1,2	0,9-1,2
Résistance à la compression à 0° (MPa)	840	800-1200
Module en compression à 0° (GPa)	140	130-160
Contrainte en compression (%)	0,6	0,6-1,1
Module moyen en traction-compression	150	130-160
Transition vitreuse T_g par DMA (°C)	120	65-120
Degré de durcissement (%)	99,6	> 98

Teneur en fibres	69,6	60-72
------------------	------	-------

- [0204] L'invention permet de proposer une semelle de longeron comprenant des thermoplastiques, préférablement sans thermodurcissables et par conséquent facilement recyclable tout en présentant des propriétés mécaniques et chimiques qui répondent aux exigences de l'industrie éolienne.
- [0205] L'invention permet la fourniture d'une solution recyclable pour une semelle de longeron et préférablement pour une semelle de longeron pultrudée et par conséquent pour une pale de rotor et une turbine d'éolienne. Chaque planche pultrudée ne doit pas être collée à une autre. De plus, une semelle de longeron thermoplastique présente des propriétés mécaniques similaires par rapport à celles de résines thermodurcissables et par conséquent pour la pale de rotor et la turbine d'éolienne.
- [0206] De plus, l'invention permet de réduire les déchets et de faciliter le processus de pultrusion.
- [0207] De plus, grâce au comportement thermoplastique, il est possible de concevoir un motif directement, sans utilisation de couche provisoire par exemple.
- [0208] L'invention permet également d'économiser du temps et de réduire les temps de cycle et le coût.
- [0209] L'invention peut être sujette à de nombreuses variantes et applications autres que celles décrites ci-dessus. En particulier, sauf indication contraire, les différentes caractéristiques structurales et fonctionnelles de chacune des mises en œuvre décrites ci-dessus ne doivent pas être considérées comme combinées et/ou liées étroitement et/ou inextricablement les unes aux autres, mais au contraire comme de simples juxtapositions. De plus, les caractéristiques structurales et/ou fonctionnelles des divers modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent être le sujet en entier ou en partie d'une quelconque juxtaposition différente ou d'une quelconque combinaison différente.

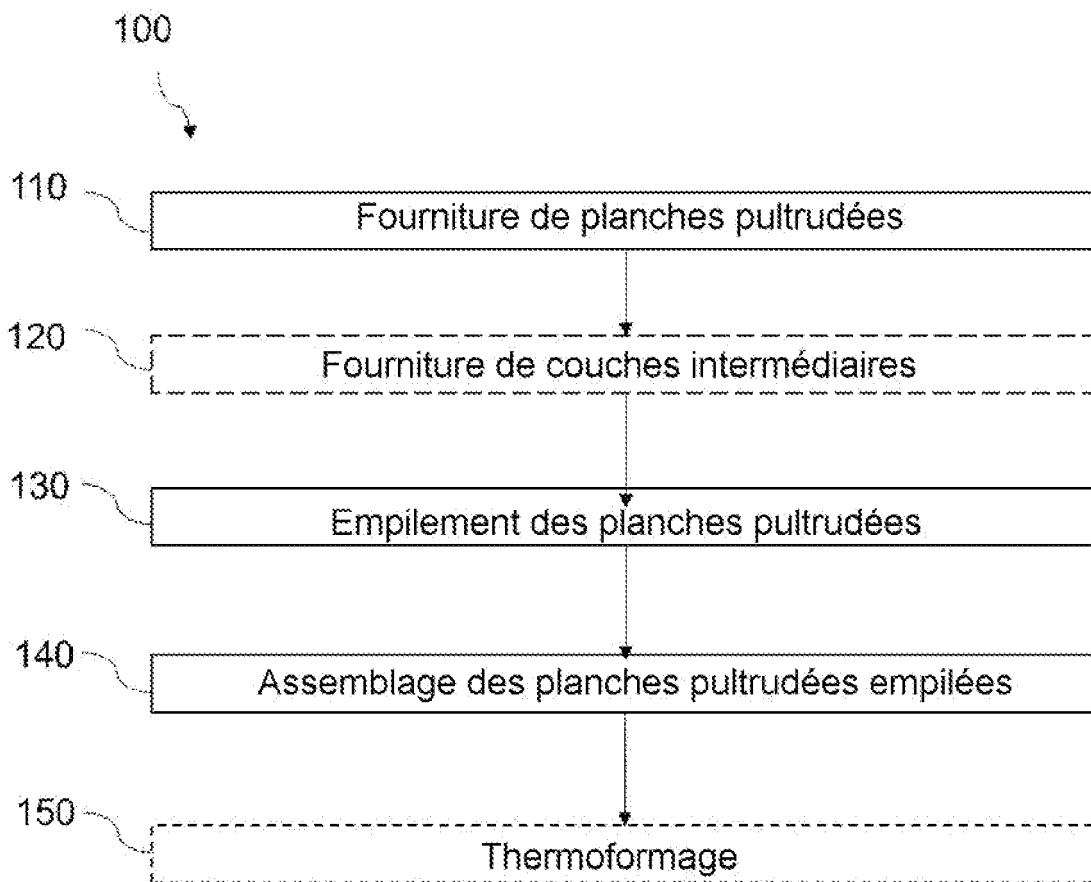
Revendications

- [Revendication 1] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron pour une pale de rotor d'une turbine d'éolienne, ledit procédé comprenant les étapes de :
- fourniture (110) d'une pluralité de planches pultrudées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres, préférablement des fibres de carbone ;
 - empilement (130) des planches pultrudées en une forme de présemelle de longeron ; et
 - assemblage (140) des planches pultrudées empilées afin de produire la semelle de longeron.
- [Revendication 2] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon la revendication 1, l'étape (110) de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées comprenant une étape (115) de texturation de surface, ladite surface texturée présentant préférablement un Ra entre 3 μm et 30 μm selon la norme ISO 4287: 1997.
- [Revendication 3] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon la revendication 1 ou 2, les planches pultrudées présentant une épaisseur de 2 mm à 8 mm.
- [Revendication 4] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications précédentes, comprenant en outre une étape (120) de fourniture d'une pluralité de couches intermédiaires.
- [Revendication 5] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications précédentes, ladite étape (130) d'empilement comprenant en outre une étape de thermoformage.
- [Revendication 6] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'étape (140) d'assemblage étant réalisée dans un moule à semelle de longeron.
- [Revendication 7] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, l'étape (140) d'assemblage étant réalisée dans un moule à pale de rotor et les planches pultrudées empilées de la semelle de longeron étant assemblées au moment de la formation de la pale de rotor, préférablement par infusion et/ou par un

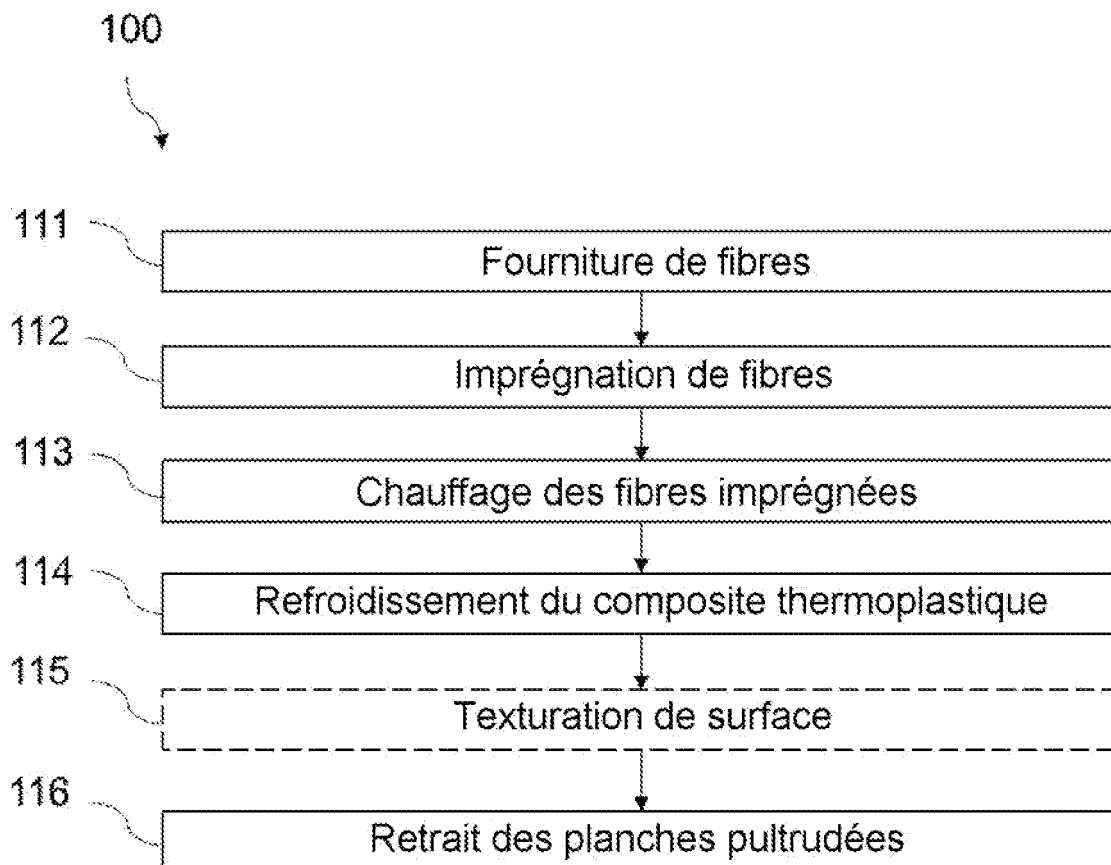
- adhésif thermoplastique.
- [Revendication 8] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications précédentes, l'étape (110) de fourniture d'une pluralité de planches pultrudées comprenant les étapes suivantes :
- fourniture (111) de fibres en stratifils ;
 - imprégnation (112) des fibres par une résine polymère comprenant une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques ;
 - chauffage (113) des fibres imprégnées ;
 - refroidissement (114) du composite chauffé avec un calandrage facultatif ; et
 - retrait (116) des planches pultrudées.
- [Revendication 9] Procédé (100) pour produire une semelle de longeron selon l'une quelconque des revendications précédentes, les planches pultrudées ne comprenant pas de couche provisoire.
- [Revendication 10] Semelle de longeron pour une turbine d'éolienne pouvant être obtenue par un procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant une pluralité de planches pultrudées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique comprenant 45 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 55 % en volume de fibres, préférablement des fibres de carbone, une pluralité pouvant correspondre à au moins deux.
- [Revendication 11] Semelle de longeron selon la revendication 10, comprenant une pluralité de planches pultrudées, lesdites planches pultrudées étant un composite thermoplastique comprenant 40 % ou moins en volume d'une matrice polymère comprenant des polymères (méth)acryliques et au moins 60 % en volume de fibres, préférablement des fibres de carbone, une pluralité pouvant correspondre à au moins deux.
- [Revendication 12] Semelle de longeron selon la revendication 11, les planches pultrudées présentant au moins une surface texturée présentant un Ra entre 3 µm et 30 µm selon la norme ISO 4287: 1997.
- [Revendication 13] Semelle de longeron selon la revendication 11, les planches pultrudées étant séparées par une ou plusieurs couches intermédiaires.
- [Revendication 14] Pale de rotor comprenant une semelle de longeron selon la revendication 10.

- [Revendication 15] Turbine d'éolienne comprenant une semelle de longeron selon la revendication 10 ou une pale de rotor selon la revendication 14.
- [Revendication 16] Procédé pour produire une pale de rotor comprenant une semelle de longeron selon la revendication 10, ledit procédé comprenant l'association de la semelle de longeron avec une coque et une âme de cisaillement et leur assemblage par collage, soudage ou infusion.

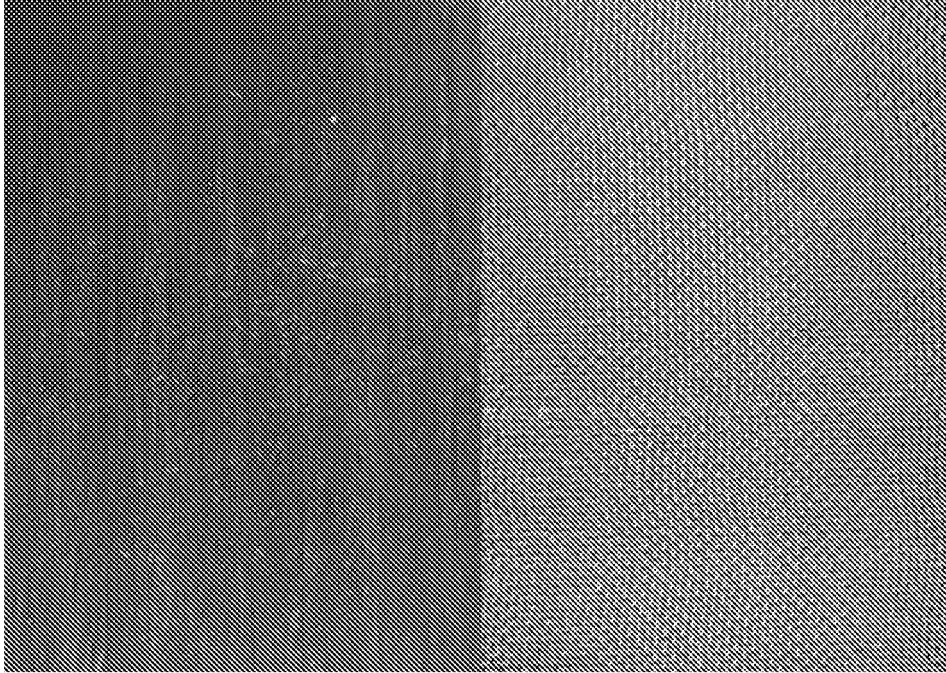
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.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'ETABLISSEMENT DU PRESENT 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 CITES DANS LE PRESENT 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**

US 2020/095978 A1 (RODWELL ANDREW MITCHELL
[US] ET AL) 26 mars 2020 (2020-03-26)

US 2017/082089 A1 (YARBROUGH AARON A [US]
ET AL) 23 mars 2017 (2017-03-23)

US 2017/080648 A1 (TOBIN JAMES ROBERT [US]
ET AL) 23 mars 2017 (2017-03-23)

WO 2021/245225 A1 (LM WIND POWER AS [DK])
9 décembre 2021 (2021-12-09)

**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