

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 07.09.10.

③③ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 09.03.12 Bulletin 12/10.

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

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : EUROPEAN AERONAUTIC
DEFENCE AND SPACE COMPANY EADS FRANCE
Société par actions simplifiée — FR.

⑦② Inventeur(s) : CINQUIN JACQUES.

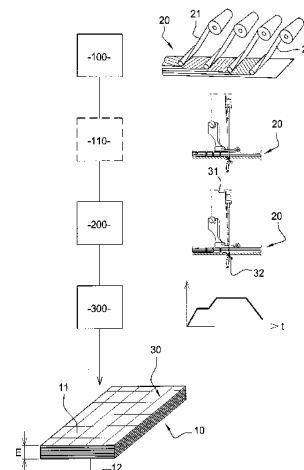
⑦③ Titulaire(s) : EUROPEAN AERONAUTIC DEFENCE
AND SPACE COMPANY EADS FRANCE Société par
actions simplifiée.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET SCHMIT CHRETIEN.

⑤④ PROCÉDE DE REALISATION D'UNE PIECE ELECTRIQUEMENT ET OU THERMIQUEMENT CONDUCTRICE
EN MATERIAU COMPOSITE ET PIECE OBTENUE.

⑤⑦ Pour fabriquer une pièce en matériau composite con-
ducteur sur au moins une de ses faces, le procédé consiste
à réaliser un sur-piquage conducteur d'une préforme de la
pièce au moyens de fils électriquement ou thermiquement
conducteur avec des lignes de coutures sensiblement paral-
lèles orientées suivant au moins deux directions sécantes.

Les pièces obtenues sont adaptées à la réalisation de
structures d'aéronefs susceptibles d'être soumises à des
impacts de foudre et permettent d'assurer des retours de
courant d'équipements électriques ou électroniques de l'aé-
ronef et ou d'évacuer la chaleur par conduction.



**PROCEDE DE REALISATION D'UNE PIECE ELECTRIQUEMENT ET OU
THERMIQUEMENT CONDUCTRICE EN MATERIAU COMPOSITE ET
PIECE OBTENUE**

La présente invention appartient au domaine des matériaux composites comportant des fibres maintenues dans une matrice organique dure.

Plus particulièrement l'invention concerne un procédé de réalisation
5 d'une pièce en matériau composite et présentant des propriétés contrôlées de conduction, électrique et ou thermique, sur ses surfaces et dans son épaisseur et concerne également une telle pièce en matériau composite.

Les matériaux composites formés de fibres longues maintenues dans
10 une matrice organique rigide sont bien connus et largement mis en œuvre dans la réalisation de pièces de structures, qu'il s'agisse de structures travaillantes fortement chargées ou de simples carénages plus faiblement chargés.

Les avantages de telles pièces en matériaux composites sont diverses
15 mais, en fonction des performances intrinsèques des fibres, des résines utilisées et des techniques de mise en œuvre appliquées, les pièces sont obtenues avec des bénéfices possibles sur la résistance, la masse, la complexité ou le coût en particulier par rapport à des pièces équivalentes qui seraient réalisées en matériaux métalliques.

20 On trouve le plus souvent des pièces qui sont réalisées en mettant en œuvre des fibres de verre ou des fibres aramide ou des fibres de carbone ou une combinaison de ces fibres.

En dehors de pièces de dimensions et de résistances limitées, ou

d'applications particulières comme celles mettant en œuvre un tissage en trois dimensions dit 3D, les fibres sont généralement agencées en couches successives dans l'épaisseur des pièces à réaliser pour former des plis dont l'accumulation forme l'épaisseur locale de la pièce et donne à cette dernière sa
5 résistance et sa rigidité lorsque les fibres sont maintenues dans la matrice dure.

Une particularité des pièces composites considérées est leurs faibles conceptions électriques intrinsèques du fait de la mise en œuvre de matrices à base de résines organiques isolantes et du fait des fibres qui sont elles même
10 réalisées avec des matériaux entrant dans la catégorie des isolants électriques (fibres de verre ou fibres aramide) ou dans la catégorie des matériaux considérés comme faiblement conducteurs ou mauvais isolants électriques, typiquement les fibres de carbone dans le domaine d'application considéré.

Un comportement similaire s'observe également vis à vis de ces
15 matériaux sur le plan thermique pour lesquels les performances mécaniques sont généralement prioritaires sur les caractéristiques de conduction thermiques au moment du choix des matériaux mis en œuvre pour réaliser une pièce.

Dans certaines applications, en particulier lorsque des courants doivent
20 être transportés par la structure, il est nécessaire de déposer à la surface des structures en matériaux composites des éléments conducteurs électriques.

Ainsi dans le cas des structures d'aéronef qui sont susceptibles d'être soumises à des impacts de foudre, un grillage métallique, le plus souvent en bronze ou en cuivre, est fixé sur une face des pièces en matériau composite,
25 grillage dont la densité surfacique est adaptée aux courants devant être supportés pour disperser les courants induits par les impacts de foudre.

En l'absence d'une telle métallisation la structure en matériau composite, incapable de disperser l'énergie apportée par un impact de foudre,

risque d'être endommagée localement par la foudre et de nécessiter dans ce cas des réparations urgentes.

En outre, contrairement aux structures métalliques, ces structures composites sont dans l'incapacité d'assurer la fonction de retour de courant d'un système électrique et il est nécessaire, par exemple dans le cas des aéronefs à structures en matériaux composites, de prévoir des conducteurs électriques pour assurer les retours de courant des systèmes électriques ou d'utiliser des éléments de structure métalliques et présentant une continuité électrique adaptée avec une fiabilité suffisante pour assurer le retour de courant des systèmes électriques.

Une telle solution, contraignante en elle-même sur le plan de la conception par le respect des cheminements électriques requis et de la continuité électrique nécessaire et par les contraintes de protection des structures métalliques par rapport aux structure composite lorsque celles-ci utilisent des fibres de carbone en particulier, s'ajoute à la nécessité de métalliser la structure pour la protéger des effets de la foudre et s'avère limiter le bénéfice attendu de l'utilisation généralisées des structures en matériau composite en particulier pour les aéronefs.

Lorsqu'il est nécessaire de rendre la structure de la pièce meilleure conductrice de la chaleur, en particulier lorsque de la chaleur d'un équipement supportée par la structure doit être évacuée par cette structure, une solution connue consiste à charger, lors de la réalisation de la pièce, la matrice organique avec des particules métalliques pour améliorer la conduction thermique du matériau obtenu.

Cette solution présente cependant les défauts de ne pas être réalisable avec tous les procédés de fabrication des pièces en matériau composite et de nécessiter une charge assez élevée en proportion de la résine et des fibres pour assurer une augmentation significative de la conduction thermique ce qui

induit un alourdissement de la pièce réalisée et une diminution de sa résistance mécanique qui doit être prise en compte dans la conception.

La présente invention propose un procédé de réalisation de pièces en
5 matériau composite qui apporte une solution pour réaliser la pièce en assurant une amélioration des propriétés de conduction électriques et ou thermiques de celle-ci sur l'une de ses faces ou sur les deux faces et/ou dans l'épaisseur.

La pièce fabriquée suivant le procédé de l'invention est une pièce en matériau composite comportant des fibres isolantes ou faiblement
10 conductrices, réparties suivant des plis empilés dans une épaisseur **E** de la pièce et maintenues, dans la pièce fabriquée, dans une matrice en résine organique dure.

Suivant le procédé un sur-piquage conducteur comportant des fils supérieurs et des fils inférieurs, un fil supérieur croisant un fil supérieur au
15 niveau d'une piqûre conformément aux sur-piquages connus, est réalisé sur une préforme, constituée de tout ou partie des plis placés les uns par rapport aux autres dans l'ordre et suivant les orientations que les plis doivent avoir dans la pièce fabriquée, le sur-piquage conducteur étant réalisé lors d'une étape du procédé pendant laquelle la résine de la matrice n'est pas dure ou
20 bien que les fibres des plis ne sont pas encore imprégnées et en utilisant pour au moins un des fils supérieurs ou inférieurs du sur-piquage conducteur un fil conducteur électriquement, c'est à dire un fil dans un matériau reconnu comme bon conducteur de l'électricité, ou thermiquement, c'est à dire un fil dans un matériau ayant des propriétés de conduction thermiques sensiblement
25 supérieures à celles des fibres ou de la matrice du matériau composite considéré.

Les fils conducteurs forment ainsi naturellement sur au moins une des faces de la préforme un ensemble d'éléments pouvant être agencés de

manières variées suivant des motifs considéré comme optimaux, à une étape de la fabrication de la pièce où il est aisé de déposer des fils conducteurs par des moyens conventionnels de piquage, les fils conducteurs restant à la surface de la pièce lorsque la résine est introduite et/ou durcie dans une étape
5 ultérieure de la fabrication de la pièce.

Avantageusement le sur-piquage conducteur est réalisé suivant des lignes de couture sensiblement parallèles suivant une première direction principale et suivant des lignes de couture sensiblement parallèles suivant au moins une seconde direction différente de la direction principale de sorte que
10 les fils conducteurs du sur-piquage conducteur se croisent sur la face considéré de la préforme correspondant à ces fils conducteurs.

Ces fils conducteurs forment alors sur au moins une face de la préforme un réseau de fils conducteurs en contact au niveau de leurs intersection pour favoriser la continuité électrique ou thermique entre les fils
15 du réseau.

Ainsi lorsque les fils sont en matériau électriquement conducteur, la face considérée de la pièce fabriquée est sensiblement équipotentielle au même titre qu'avec une métallisation conventionnelle par grillage de bronze par exemple.

20 Dans un mode de mise en œuvre, les paramètres du sur-piquage conducteur sont ajustés afin qu'au niveau de chaque piqure du sur-piquage traversant la préforme, le fil supérieur et le fil inférieur sont croisés dans une partie médiane d'une épaisseur de la préforme, ce qui permet de contrôler les caractéristiques de la conduction dans l'épaisseur de la préforme et donc de la
25 pièce fabriquée.

Dans un autre mode de mise en œuvre, les paramètres du sur-piquage conducteur sont ajustés afin qu'au niveau de chaque piqure du sur-piquage traversant la préforme, le fil supérieur et le fil inférieur sont croisés au niveau

d'une face inférieure de la préforme du côté de laquelle face inférieure se trouve le fil inférieur ce qui permet de garantir qu'un des fils traverse la préforme de part en part et que l'autre fil reste totalement en surface sur une face de la préforme.

- 5 Lorsque le sur-piquage conducteur est réalisé en utilisant des fils supérieurs conducteurs et des fils inférieurs conducteurs, les deux faces de la préforme ainsi que l'épaisseur, et donc de la pièce fabriquées si la préforme concerne tous les plis de la pièce, sont en continuité par les fils conducteurs, par exemple en continuité électrique si les fils sont conducteur électriquement
- 10 pour former une métallisation de la pièce.

- Lorsque le sur-piquage conducteur est réalisé en utilisant des fils supérieurs conducteurs et des fils inférieurs non conducteurs ou en utilisant des fils supérieurs non conducteurs et des fils inférieurs conducteurs, une seule face est rendu conductrice, par exemple métallisée si le fil de sur-
- 15 piquage est électriquement conducteur.

- Pour réaliser des sur-piquages conducteurs de qualité avec des machines conventionnelles nécessitant des fils à la fois souples et bon conducteurs, les fils conducteurs sont constitués d'un assemblage de brins métalliques de préférences torsadés entre eux ou de fil en carbone ayant des
- 20 propriétés de conduction thermique renforcée.

- Avantageusement, dans le cas d'une métallisation, suivant les fonctions devant être réalisées par la métallisation et suivant les caractéristiques des fils conducteurs utilisés, les distances **D** entre des lignes de couture voisines sensiblement parallèles sont déterminées pour obtenir une
- 25 densité surfacique de métallisation de la préforme comprise entre 30 et 500g/m².

En outre, suivant les caractéristiques des fils conducteurs utilisés, les longueurs **P** entre les piqûres successives d'une ligne de couture sont

déterminées pour obtenir, au moins localement, une section conductrice des fils de sur-piquage conducteur traversant la préforme suivant son épaisseur comprise entre 1000 et 50000 mm² par m² de surface de la pièce.

Il est ainsi possible de choisir lors de la conception de la pièce des caractéristiques de conduction électriques à travers l'épaisseur de la pièce ainsi que des caractéristiques de conduction thermique, en particulier par le choix de fils de sur-piquage conducteur en matériaux à conduction thermique amélioré et ou par le choix des matériaux conducteurs électrique qui ont de manière générale une conductivité thermique très supérieure aux matériaux composites considérés.

Le sur-piquage conducteur peut être réalisé sur une préforme sèche qui peut par ailleurs être poudrée ou non de grains d'une résine thermofusible ou encore être réalisé sur une préforme dont les fibres des plis sont pré-imprégnées d'une résine non durcie, et de manière générale dans les situations dans lesquelles les préformes peuvent être facilement traversées par les aiguilles de couture utilisées pour réaliser le sur-piquage conducteur.

L'invention concerne également une pièce telle qu'une pièce pouvant être réalisée par le procédé de l'invention.

Une telle pièce en matériau composite comporte des fibres isolantes ou faiblement conductrices maintenues dans une matrice organique dure, dans laquelle les fibres sont agencées en plis superposés suivant une épaisseur de la pièce entre une face supérieure et une face inférieure de la pièce.

En outre des fils supérieurs du côté de la face supérieure et des fils inférieurs du côté de la face inférieure, agencés en lignes de couture suivant au moins deux directions sécantes, traversent tout ou partie des plis au niveau de piqûres et les fils supérieurs et ou les fils inférieurs sont électriquement conducteurs de sorte qu'ils déterminent à la surface de la pièce sur au moins une face correspondante, supérieure, respectivement inférieure, un réseau de

fils conducteurs et en contact au niveau des intersections de fils, conférant à la pièce des caractéristiques de conduction électrique et ou thermique améliorée, par exemple une métallisation de la pièce sur une de ses faces ou sur ses deux faces.

- 5 Avantageusement, lorsqu'une seule face de la pièce doit être rendue conductrice, seuls les fils supérieurs ou seuls les fils inférieurs sont conducteurs, et les fils conducteurs ne traversent pas toute l'épaisseur de la pièce au niveau des piqûres.

- 10 Pour obtenir des bonnes propriétés de conduction, les fils conducteurs agencés en lignes de couture sont des fils métalliques, en particulier à base de cuivre, d'aluminium ou d'un acier, ou des fils de carbone à conduction thermique améliorée, sensiblement supérieure à la conduction thermique des fibres ou de la matrice du matériau composite de la pièce, formés par un assemblage de plusieurs brins qui assurent la souplesse de ces fils lors de leur
- 15 mise en place et limite les risques de ruptures de fils sous l'effet des vibrations et des déformations de la pièce sous charges.

 Pour obtenir ces qualités, de préférence les fils conducteurs ont des sections conductrices comprises entre 0.005mm² et 0.50mm² et comportent entre 1 et 50 brins.

- 20 En fonction des caractéristiques lorsque les fils conducteurs mis en œuvre sont des fils électriquement conducteurs, les distances **D** entre lignes de couture voisines déterminent sur la face considérée de la pièce une métallisation comprise entre 30 et 500 g/m² en fonction des exigences de métallisation.

- 25 Également en fonctions des caractéristiques des fils conducteurs mis en œuvre et des performances de conduction recherchées entre les faces opposées de la pièce, la densité de piqûres à la surface de la pièce est comprise localement entre 2500 et 250000 piqûres par m².

En outre sur la pièce réalisée, la densité surfacique de fils de sur-piquage conducteurs et ou la densité de piqûres sont variables suivant des emplacements à la surface de la pièce de sorte que les performances de conduction, par exemple les performances électriques de la métallisation
5 obtenue avec des fils de sur-piquage électriquement conducteur, peuvent être adaptées avec un impact minimal sur la masse de la pièce.

Pour assurer un contact électrique et ou thermique de qualité entre des pièces assemblées, sur la pièce de l'invention, la densité surfacique de fils conducteurs et ou la densité de piqûres sont augmentées dans les zones
10 correspondant à des surfaces d'assemblage entre la pièce et une ou plusieurs autres pièces conductrices telles que des pièces métalliques ou des pièces en matériau composite ayant des propriétés conductrices améliorées.

Dans une application avantageuse de l'invention, une telle pièce est destinée à une structure d'aéronef et comporte sur au moins une de ses faces
15 une métallisation réalisée au moyen d'un fil de sur-piquage électriquement conducteur destinée à assurer le retour de courant d'équipements électriques ou électroniques de l'aéronef et ou comporte sur au moins une de ses faces une métallisation destinée à protéger la pièce en matériau composite contre les effets d'un impact de foudre.

20 Dans une autre application de l'invention pour laquelle la conductivité thermique des fils de sur-piquage conducteur est considérée, une telle pièce est destinée à une structure de satellite et comporte un sur-piquage conducteur réalisé avec un matériau à conduction thermique améliorée destiné à évacuer la chaleur de zones du satellite comportant des sources de chaleur
25 fixées à ladite structure. Dans ce cas le fil de piquage est par exemple un fil métallique ou un un fil non métallique avec une conductivité thermique importante comme du carbone spécifique.

La description d'un mode de mise en œuvre du procédé et des pièces en matériaux composites de l'invention est faite en référence aux figures qui représentent :

- Figure 1 : un schéma des étapes principales du procédé de l'invention ;
- 5 Figures 2a et 2b : des sections de pièces en matériau composite au niveau d'une ligne de couture pour deux exemples de piquûres ;
- figure 3 : une vue schématique en perspective d'une pièce de l'invention telle qu'elle peut être obtenue par le procédé ;
- 10 figure 4 : une illustration schématique d'un assemblage d'une pièce de l'invention avec une autre pièce.

La présente invention s'applique aux pièces en matériaux composites comportant des fibres longues minérales ou organiques, isolantes ou
15 faiblement conductrices, telles que des fibres de verre, des fibres aramide, des fibres de carbone..., maintenues dans une matrice organique rigide.

Dans le cadre de la présente description, les expressions "isolante ou faiblement conducteur" et "conducteur" doivent être comprises de manière générale comme signifiant "électriquement et ou thermiquement isolante ou
20 faiblement conducteur" et "électriquement et ou thermiquement conducteur" sauf s'il en est précisé autrement ou s'il est évident dans un contexte particulier pour un homme du métier qu'il en est autrement.

Les expressions "isolante ou faiblement conducteur" et "conducteur" doivent également être comprises sur le plan électrique dans un sens qui leur
25 est donné dans l'industrie électromécanique, c'est à dire pour les matériaux électriquement isolants des matériaux pouvant être utilisé comme isolant tels que le verre ou la plupart des matériaux polymères, pour les matériaux faiblement conducteurs des matériaux considéré de manière générale comme

insuffisamment conducteur de l'électricité pour être utilisé pour transporter l'énergie électrique et trop conducteur pour être utilisé comme isolant, telles que les fibres de carbone, et enfin pour les matériaux électriquement conducteurs les matériaux généralement reconnus comme pouvant servir dans le cadre du transport de l'énergie électrique, c'est à dire la plupart des métaux et alliages métalliques courants.

A titre d'illustration, les fibres de carbone, considérées comme faiblement conductrices, ont des résistivités électriques généralement comprises entre $1,5 \cdot 10^{-6} \Omega.m$ et $1,5 \cdot 10^{-5} \Omega.m$, valeurs qui sont à comparer à celles des matériaux conducteurs métalliques ordinaires de l'ordre de 10^{-8} à $10^{-7} \Omega.m$ ou à celle des matériaux isolants ordinaires dont la résistivité est supérieure à $10^{10} \Omega.m$ et dépasse souvent $10^{15} \Omega.m$.

D'une manière générale l'invention a pour objet d'améliorer les caractéristiques de conduction électrique et ou thermique de pièces réalisées en matériau composite, dont les performances sont limitées sur les plans électriques ou thermiques, et lorsque le terme "conducteur" est utilisé comme caractéristique d'un fil de sur-piquage, il convient de comprendre que dans la présente invention le fil de sur-piquage a "des caractéristiques de conduction sensiblement supérieures à celles des fibres et de la matrice du matériau composite considéré"

Plus particulièrement l'invention s'applique aux pièces en matériaux composites qui au cours de leurs procédés de fabrication comportent une étape de mise en forme de plusieurs plis de fibres empilés et compactés ensemble dans des conditions dans lesquelles les plis ne sont pas encore immobilisés dans la matrice rigide.

Les fibres d'un pli peuvent être organisées en nappes, dans lesquelles les fibres ont toutes sensiblement la même orientation, ou en tissus, dans lesquels les fibres ont au moins deux orientations différentes et sont agencées

pour former le tissu ou encore un mat dans lequel les fibres n'ont pas d'orientations privilégiées dans le plan du pli.

Dans cette étape de mise en forme, les plis sont par exemple imprégnés d'une résine à l'état pâteux avant une phase de durcissement de la
5 résine par polymérisation ou sont par exemple manipulés sous la forme de tissus secs devant faire l'objet d'une imprégnation ultérieure par de la résine liquide (cas du procédé RTM : Resin Transfer Molding) qui est durcie après cette imprégnation.

10 Pour les besoins de la description détaillée d'un mode de mise en oeuvre du procédé de l'invention, il sera considéré de manière non limitative le cas d'une pièce réalisée par un procédé RTM dans lequel les fibres sont d'abord agencées entre elles sous la forme d'une préforme sèche puis placées dans un moule pour être imprégnées de résine par transfert.

15 Dans une première étape 100 du procédé de réalisation d'une pièce 10 suivant l'invention, une préforme 20, dans l'exemple considéré une préforme sèche, est réalisée par un empilement de plis 21 de fibres sèches suivant un procédé conventionnel de réalisation des préformes.

20 Dans les pièces réalisées suivant ce procédé, les plis 21 sont placés en couches sensiblement parallèles entre elles, également sensiblement parallèles à une face supérieure 11 ainsi qu'à une face inférieure 12 de la pièce 10, et l'accumulation des plis déterminent une épaisseur **E** de la pièce à réaliser.

25 En particulier le nombre de plis souhaité est déposé en fonction des emplacements sur la pièce 10 en tenant compte des orientations souhaitées pour les fibres de chaque pli, le nombre des plis et les orientations des fibres étant déterminées lors de la conception de la pièce.

Le cas échéant, lors d'une étape facultative 110 de préassemblage des plis, les différents plis 21 sont maintenus entre eux par un sur-piquage au moyen de fils conventionnels pour cet usage qui peuvent être de même nature que les fibres de la préforme ici encore suivant un procédé conventionnel dans
 5 le domaine de la réalisation des préformes sèches.

Le sur-piquage consiste à réaliser des piqûres, le plus souvent en lignes de coutures successives plus ou moins espacées, à l'aide de fils qui, au niveau de chaque piqûre, traversent l'ensemble des plis formant l'épaisseur de la préforme et qui maintiennent ainsi les différents plis entre eux.

10 Le plus souvent, lors de la réalisation d'une ligne de couture par piquage, la couture est réalisée suivant la technique des points de navette en utilisant deux fils.

Un premier fil, stocké sur une bobine principale, traverse le chas d'une aiguille qui va faire traverser à ce premier fil les plis devant être surpiqués, depuis une face de la préforme correspondant à la face supérieure de la pièce
 15 à réaliser, au niveau des piqures. Ce premier fil est dit fil supérieur.

Un second fil, stocké sur une bobine secondaire dite canette, assure le blocage du fil supérieur au niveau de chaque piqure, en croisant le fil supérieur au niveau d'une boucle formée par ledit fil supérieur, du côté d'une
 20 face de la préforme opposée à la face traversée correspondant à la face inférieure de la pièce à réaliser. Ce second fil est dit fil inférieur.

Par extension les expressions "face supérieure de la préforme" et "face inférieure de la préforme" désigneront par la suite les faces de la préforme correspondant aux faces de la pièce 10 à réaliser, respectivement la face
 25 supérieure 11 et la face inférieure 12.

Le sur-piquage décrit précédemment, optionel vis à vis des besoins de la présente invention, est dit sur-piquage isolant car il n'apporte en lui-même aucune modification sensible des caractéristiques de conduction de la pièce.

Ce sur-piquage isolant, qui a pour fonction essentiel de stabiliser la préforme et d'éviter le déplacement des plis entre eux lors des manipulations de la préforme avant la phase d'injection de la matrice ou pendant cette phase d'injection, pourra cependant comme il sera compris ultérieurement être limité, voire supprimé au profit d'un sur-piquage décrit dans la suite du procédé.

Dans une seconde étape 200 du procédé, la préforme sèche 20 est surpiquée suivant des lignes de couture en utilisant des fils de sur-piquage supérieurs et ou des fils de sur-piquage inférieurs réalisés dans un matériau conducteur, électrique ou thermique comme signalé ci-dessus.

10 Ce sur-piquage, dans lequel les fils supérieurs ou les fils inférieurs ou les deux fils supérieurs et fils inférieurs sont en matériau conducteur, est dit sur-piquage conducteur 30.

Le principe des sur-piquages est connu et n'est pas décrit ici plus en détail. Il s'applique bien évidemment à l'éventuel sur-piquage isolant mais également au sur-piquage conducteur 30 qui s'en distingue essentiellement par la nature des fils de sur-piquage et qui peut impliquer des réglages particuliers compte tenu des caractéristiques (diamètre, nombre de brins dans le fil, résistance, résilience ...) des fils utilisés, mais qui mettent cependant en œuvre les mêmes principes.

20 Les deux sur-piquages, isolant et conducteur, sont par ailleurs indépendants lorsqu'ils coexistent sur une même préforme, et pour les besoins de la réalisation de ces deux sur-piquages, les faces désignées supérieures et inférieures peuvent le cas échéant être inversées comme le comprendra l'homme du métier à la lecture de la description de l'invention.

25 Un tel matériau conducteur est par exemple du cuivre ou un alliage à base de cuivre en raison de ses propriétés de conduction électrique ou thermique d'une part mais également de ses propriétés mécaniques, en

particulier sa malléabilité qui donne au fil de cuivre une souplesse recherchée, et de ses propriétés électrochimiques, qui rendent compatible son utilisation avec des matériaux composite incorporant des fibres de carbone, d'autre part.

Un tel matériau conducteur est par exemple un fil à conduction thermique améliorée tel qu'un fil carbone spécifique, dont l'action de conduction thermique peut être recherchée seule ou être associée à celle de matériaux conducteurs électriques sur lesquels il présente l'avantage d'une masse plus réduite pour un même résultat thermique.

Un fil carbone spécifique dont les propriétés de conduction thermique sont améliorées est par exemple un fil obtenu à partir d'un brai de houille ou de pétrole, fil carbone à précurseur de type Brai.

La conductivité thermique des fibres carbone à précurseur de type Brai est très supérieure, jusqu'à 800W/m.K (par exemple la fibre diffusée sous la référence K13D2U de la société Mitsubishi Chemical), à celle des fils obtenus à partir de PolyAcryloNitrile, fil carbone à précurseur de type PAN, en moyenne de 20W/m.K, valeur qui doit également être comparée à la conductivité thermique d'une résine époxy utilisée comme matrice et dont la conductivité thermique est inférieure à 1 W/m.K.

Par contre la résistance à la traction de fils de carbone du type à précurseur Brai est sensiblement inférieure, typiquement 2 à 3 fois plus faible, à celle des fils de carbone à précurseur de type PAN, raison pour laquelle les fibres de cette seconde catégorie sont préférentiellement utilisées dans les applications de structures en matériaux composites, mais ces performances réduites sur la résistance en traction des fils à précurseur du type Brai n'est pas pénalisant pour l'utilisation en tant que fils de sur-piquage.

Cependant les fils pour le sur-piquage conducteur peuvent être réalisés avec tout autre matériau reconnu comme ayant de bonnes

caractéristiques de conduction électrique et ou thermique, ce qui est le cas de nombreux matériaux métalliques ou leurs alliages tels que le fer ou l'aluminium, que ces matériaux métalliques soient utilisés purs ou sous la forme d'alliages, ou encore sous la forme de brins d'un premier matériau
5 plaqués par un second matériau, sous réserve de leurs compatibilités électrochimiques et rhéologiques avec les autres matériaux mis en œuvre dans la pièce en matériau composite.

Dans une troisième étape 300, lorsque le sur-piquage conducteur 30 de la préforme sèche a été réalisé, ladite préforme sèche 20 est imprégnée
10 d'une résine à l'état liquide suivant une technique conventionnelle, comme la technique d'injection de résine du procédé connu sous l'acronyme RTM, technique dans laquelle la préforme sèche 20 est placée dans un moule pendant l'injection de la résine et maintenue jusqu'au durcissement de la résine.

15 A l'issue de cette troisième étape 300, les fils conducteurs du sur-piquage conducteur 30 se trouvent à la surface de la pièce 10 sur les faces supérieure 11 et inférieure 12, comme ils se trouvaient à la surface de la préforme 20 à l'issue de la seconde étape 200 du procédé, et forment sur les dites surfaces un réseau de fils conducteur suivant les motifs réalisés par les
20 lignes de couture du sur-piquage conducteur réalisé sur la préforme 20, réseau de fils dont la continuité électrique et ou thermique est assurée par les contacts directes entre les fils supérieurs et inférieurs d'une part et entre les différentes lignes de sur-piquage conducteur d'autre part comme il sera compris par la suite.

25 La pièce 10 en matériau composite obtenue présente alors un comportement électrique et thermique de ses surfaces et entre ses surfaces dont les caractéristiques sont déterminées par celles du sur-piquage

conducteur 30 réalisé sur la préforme sèche 20.

Suivant la manière dont le procédé est mis en œuvre, les pièces obtenues et leurs caractéristiques sont adaptées.

- 5 Lors de la seconde étape 200, le sur-piquage conducteur 30 est réalisé sur la préforme sèche 20 dans toutes les zones correspondant à des surfaces ou des volumes de la pièce 10 devant être rendus conducteur, ces surfaces ou volumes étant déterminés lors de la conception de la pièce 10.

- 10 Dans le cas du présent sur-piquage conducteur, la densité du sur-piquage conducteur 30 réalisé n'a pas pour but premier d'assurer le maintien des plis 21 de la préforme sèche 20 comme dans le cas du sur-piquage isolant, même si ce sur-piquage conducteur est en mesure d'assurer ce maintien et donc d'éviter ou de limiter le besoin d'un sur-piquage isolant, mais de générer, à la surface et dans l'épaisseur de la préforme 20 à ce stade du procédé, et de
15 la pièce 10 à réaliser à un stade ultérieur, un motif conducteur ayant des caractéristiques voulues de conduction électrique et ou thermique.

Les caractéristiques de conduction sont en effet déterminées par :

- les caractéristiques des fils supérieurs 31 et inférieurs 32 du sur-piquage conducteur, en particulier leurs sections et les matériaux
20 utilisés pour les dits fils de sur-piquage conducteur,
- les caractéristiques du sur-piquage conducteur 30 lui-même qui peut être réalisé :
 - avec des points plus ou moins longs caractérisés par une distance **P** entre deux piqûres 33 successives sur une ligne de
25 couture,
 - avec des lignes de couture 34 parallèles ou non, réalisées

suivant une distance locale de séparation **D** entre les lignes de couture plus ou moins serré,

–avec des lignes de couture sécantes réalisées dans des directions différentes, par exemple dans une première orientation principale et dans une seconde orientation à 90 degrés de la première orientation ou encore à plus ou moins 60 degrés de la première orientation, et se croisant alors pour former à la surface de la préforme un réseau plus ou moins dense de fils de sur-piquage conducteur avec des mailles obtenues pour ledit réseau plus ou moins serrées.

En réalisant des lignes de couture sécantes, les fils du sur-piquage conducteur se chevauchent à la surface de la préforme et les fils conducteurs sont alors en continuité électrique et thermique.

En effet, même si dans certain cas le contact physique n'est pas totalement assuré à chaque intersection de fils, le nombre de points de contact dans un réseau comportant de nombreuses lignes sécantes garanti en pratique que tous les fils conducteurs sont reliés entre eux.

On comprend ainsi que l'homme du métier par le choix de ces différents paramètres est en mesure de réaliser des caractéristiques de conduction voulues à la surface, et suivant l'épaisseur entre les faces, d'une pièce 10 en matériau composite et que ces conditions peuvent être variables en différents points d'une même pièce et également suivant des directions préférentielles données en un point de la surface de la pièce.

Comme l'illustrent les figures 2a et 2b, qui représentent des sections de pièces obtenues par le procédé, chaque fil supérieur 31 ou inférieure 32 d'une ligne de couture du sur-piquage conducteur 30 forme une ligne conductrice à la surface de la face correspondante, respectivement supérieure

11 ou inférieure 12, et traverse tout ou partie de la préforme 20 et donc de la pièce 10 au niveau des piqûres 33.

Dans le cas illustré sur la figure 2a, le fil supérieur 31 et le fil inférieur 32 se croisent au niveau de chaque piqûre sensiblement à mi-épaisseur de la préforme 20 ou de la pièce 10, ou pour le moins dans une partie médiane de l'épaisseur de telle sorte que, au niveau d'une piqûre, le fil supérieur 31 n'atteint pas la face inférieure 12 de la pièce et que le fil inférieur 32 n'atteint pas la face supérieure 11 de la pièce.

Dans le cas illustré sur la figure 2b, un des fils du sur-piquage conducteur, le fil supérieur 31 dans l'exemple représenté, traverse la pièce dans toute son épaisseur sensiblement jusqu'à la face inférieure 12 opposée alors que l'autre fil, ici le fil inférieur 32, est maintenu près de la face inférieure 12 et éloigné de la face supérieure 11.

Obtenir de telles caractéristiques du sur-piquage conducteur, en agissant en particulier sur la tension des fils lors des opérations de piquage, permet de réaliser des caractéristiques de conduction de surface de la pièce 10 adaptées à des besoins spécifiques, en particulier lorsque que la conduction ne doit pas présenter les mêmes caractéristiques sur les deux faces de la pièces 10.

Ainsi, en choisissant un fil supérieur 31 conducteur ou isolant et un fil inférieur 32 conducteur ou isolant, le procédé permet de réaliser sur la préforme 20 un réseau conducteur de sorte que la pièce 10 est rendue conductrice :

- sur ses deux faces, les réseaux conducteurs des deux faces étant reliées sur le plan électrique et ou thermique, le fil supérieur 31 et le fil inférieur 32 étant choisi conducteurs,
- sur une seule face sans traversées conductrices en utilisant un fil

conducteur ne traversant pas totalement l'épaisseur de la pièce 10 au niveau des piqûres 33, le fil supérieur 31 ou le fil inférieur 32 dans l'exemple de la figure 2a ou le fil inférieur 32 dans l'exemple de la figure 2b, et en utilisant un fil non conducteur pour l'autre fil,

- 5 –sur une face avec des traversées conductrices en utilisant un fil conducteur au niveau de piqûres traversantes 33, comme dans le cas du fil supérieur 31 dans l'exemple de la figure 2b, l'autre fil étant non conducteur.

- 10 Les sur-piquages conducteurs qui viennent d'être décrits dont les caractéristiques peuvent être variables en fonction de la pièce à rendre conductrice ou en fonction d'emplacements à la surface de la pièce 10 peuvent être réalisés par toute technique connue de sur-piquage.

- Avantageusement les sur-piquages conducteurs seront réalisés au
15 moyen de machines à sur-piquer à commande numérique et les opérations de sur-piquage conducteur seront réalisées pour optimiser les caractéristiques de conduction dans chaque zone de la surface de la pièce 10.

- Une telle optimisation permet en particulier en utilisant des fils électriquement conducteurs pour métalliser une pièce en matériau composite
20 d'éviter un alourdissement résultant de la mise en œuvre des techniques conventionnelles de métallisation par grillage de bronze dans lesquelles une telle optimisation est impossible ou pour le moins serait très complexe à réaliser par des applications de grillages ayant des caractéristiques différentes en fonction de la zone à la surface de la pièce.

25

L'intérêt du procédé de l'invention et la variété des pièces à conduction améliorée pouvant être obtenues seront mieux compris en considérant à titre

d'illustrations non limitatives les exemple suivants.

Dans une application du procédé à la métallisation d'une pièce, une pièce 10 en matériau composite réalisée suivant le procédé dit RTM est
5 réalisée à partir d'une préforme en fibre sèche dont les plis ont été surpiqués avec des fils supérieurs et inférieurs électriquement conducteurs 31, 32 suivant des lignes de couture 34 sensiblement parallèles à une première direction principale sur la surface de la pièce et suivant une seconde direction sensiblement perpendiculaire à la direction principale comme schématisé sur la
10 figure 3.

La distance D séparant deux lignes de couture parallèles est par exemple de 5 mm pour les deux directions des lignes de couture, formant ainsi sur les faces supérieure et inférieure de la préforme un réseau de mailles carrées de 5 mm de côté.

15 Dans le cas de la pièce représentée sur la figure 3, les mailles représentées sont rectangulaires. Les formes carrées et rectangulaires des mailles ne constituent que des exemples simples, les mailles pouvant également être en losange avec deux lignes de coutures non orthogonales et pouvant présenter de nombreuses autres formes polygonales régulières ou
20 non lorsque plus de deux directions de couture sont utilisées.

Pour obtenir une pièce métallisée sur ses deux faces, mais comportant une métallisation ayant des caractéristiques différentes sur la face supérieure 11 et sur la face inférieure 12, le fil supérieur 31 est choisi d'une section conductrice différente de celle du fil inférieur 32.

25 Par exemple le fil supérieur 31 est réalisé par 20 brins torsadés de 50 micromètres de diamètre alors que le fil inférieur 32 n'en comporte que 10.

L'utilisation de fils de cuivre avec ces valeurs de paramètres permet de réaliser une pièce bénéficiant d'une métallisation d'environ 140g/m² sur la face supérieur 11 et de 70g/m² sur la face inférieure 12, les deux métallisations étant en continuité électrique par les piqûres.

- 5 En pratique les fils auront sans difficulté particulière de mise en œuvre de 1 à 50 brins pouvant avoir de 0,05 à 0,20 mm de diamètre.

- Une telle pièce en matériau composite dispose ainsi d'une métallisation suffisante pour assurer une protection contre les effets de la foudre en cas d'impact de foudre sur la face supérieure tout en permettant d'assurer la
- 10 continuité électrique de ligne de retour de courant y compris depuis la face inférieure.

Les densités de métallisation sont bien évidemment adaptables en fonction des exigences de la pièce en choisissant la section des fils et la distance entre les lignes de couture.

- 15 Dans une autre application, plus générale, du procédé, la quantité de matériau conducteur apporté par les fils du sur-piquage conducteur par unité de surface sur les faces de la pièce est modulée en fonction de zones sur la pièce en matériau composite suivant les caractéristiques recherchées localement en agissant sur les distances **D** entre les lignes de couture du sur-
- 20 piquage conducteur et ou en modifiant les sections des fils conducteurs de sur-piquage conducteur utilisés.

- Ainsi, dans le cas d'une application du procédé à la métallisation d'une pièce, certaines zones nécessitant une métallisation relativement dense, par exemple en raison d'un fort risque d'impact de foudre, comportent des lignes
- 25 de couture du sur-piquage conducteur relativement rapprochées et ou des fils conducteurs de sections supérieures comparativement à des zones ayant un faible risque d'impact, des zones sans risque pouvant même ne comporter

aucun sur-piquage conducteur au profit si besoin d'un sur-piquage isolant a priori moins lourd.

Une autre raison pour créer des zones présentant une métallisation de densité surfacique augmentée au moins localement correspond au besoin de
5 former à la surface de la pièce en matériau composite des cheminements préférentiels pour les courants électriques.

Il est alors dans ce cas possible de créer ces cheminements ou lignes de surface en augmentant la densité du sur-piquage électriquement conducteur dans les zones de cheminements préférentiels. Avantageusement
10 les sections des fils utilisés pour le sur-piquage électriquement conducteur seront choisies en fonctions des courants attendus et de conductivités électriques recherchées pour ces lignes, ainsi que la distance **D** séparant les lignes de couture du sur-piquage électriquement conducteur voisines, au moins pour les directions des lignes de couture orientées pour suivre les
15 cheminements choisis.

Une raison pour créer une zone ayant des propriétés de conduction thermique particulière est par exemple la nécessité de fixer sur la pièce un équipement dégageant de la chaleur devant être évacuée par la structure de la pièce. Dans ce cas la densité du sur-piquage avec un fil conducteur
20 thermique est avantageusement augmenté au niveau de la surface devant être en contact avec l'équipement ou son support.

Suivant que la chaleur devra être préférentiellement évacuée dans une direction et par une face de la pièce, le sur-piquage conducteur sera réalisé comme décrit précédemment en privilégiant ou non la conduction à travers
25 l'épaisseur de la pièce et sur chaque face de la pièce suivant des directions ou cheminements préférentiels, en particulier lorsque l'énergie thermique doit être conduite vers un emplacement particulier de la structure tel qu'un puits

de chaleur ou un équipement pour refroidir une zone.

Dans une application du procédé illustrée schématiquement sur la figure 4, il est également réalisé sur des zones de contact 13 d'une pièce 10, par lesquelles zones de contact la pièce doit être assemblée à d'autres pièces conductrices 10a, une densité des sur-piquages conducteurs augmentée au moins sur la face de la pièce devant être en contact avec la pièce assemblée, afin d'assurer une continuité électrique et ou thermique améliorée entre les pièces assemblées.

Dans l'exemple de la figure 4, la pièce 10 est métallisée sur la face supérieure 11 mais se trouve assemblée avec la pièce 10a, métallique ou composite métallisée, au niveau d'une zone de contact 13 de la face inférieure 12 en bordure de la pièce dans cet exemple qui peut ne pas être métallisée ou être insuffisamment métallisée pour garantir la continuité électrique recherchée entre la pièce 10a et la face supérieure 11 de la pièce 10.

Dans les zones 13 de contact, pour obtenir la continuité électrique recherchée, le fil de sur-piquage inférieur 32 est électriquement conducteur d'une part avec une section de fil adaptée et des distances de séparation entre les ligne de couture également adaptée, a priori des sections augmentées et distances diminuées, et d'autre part la distance **P** séparant les piqûres successives est avantageusement diminuée de sorte à augmenter le nombre de piqûres dans la zone de contact et donc de liaisons entre les deux faces de la pièce en matériau composite et d'améliorer ainsi la continuité électrique entre les deux pièces assemblées par une augmentation résultante de la section effective de conducteur électrique traversante.

En diminuant la distance **D** entre les lignes de couture 34 dans ces zones, on augmente également de manière statistique le nombre de points de contacts électriques entre les deux pièces 10 et 10a et donc la garantie d'une

continuité électrique satisfaisante.

Dans une autre forme de réalisation une pièce est métallisée sur une seule de ses faces sans toutefois que des éléments conducteurs ne traversent l'épaisseur de la pièce. Ce résultat, obtenu en utilisant un fil électriquement
5 conducteur pour la face devant être métallisée et un fil isolant électriquement pour la face de la pièce ne devant pas être métallisée et en réalisant un sur-piquage conducteur dans lequel le fil conducteur n'atteint pas la face ne devant pas être métallisée, permet de métalliser des pièces pour lesquelles la traversée de charges électriques et un étincelage sur la face non métallisée
10 doit être évités, par exemple en raison de la présence de vapeurs inflammables.

Une autre méthode mise en œuvre du procédé pour obtenir un résultat similaire pour la pièce réalisée consiste à réaliser un sur-piquage conducteur avec des fils électriquement conducteurs sur une partie des plis de
15 la préforme qui dans la pièce à réaliser vont se trouver du côté devant être métallisé afin de créer une première préforme partielle.

Ensuite les autres plis de fibres sèches prévus de la préforme sont placés sur la face de la préforme partielle du côté de la pièce ne devant pas être métallisée et l'ensemble des plis est surpiqué si besoin avec des fils
20 isolants conventionnels qui assurent le compactage et le maintien de l'ensemble des plis de la préforme.

Ainsi, lorsque la pièce est terminée après injection de résine, une face de la pièce est métallisée alors que l'autre face ne l'est pas du fait que le fil de sur-piquage conducteur ne traverse pas la pièce d'une face à l'autre et
25 seulement une partie des plis du côté d'une face de la pièce.

Dans une variante, la pièce est métallisée sur chacune de ses deux faces comme il vient d'être décrit pour une face, une partie médiane des plis

n'étant pas surpiqués ou surpiqués avec des fils non conducteur électrique de sorte que les métallisations de chacune des faces de la pièce sont isolées l'une de l'autre.

Dans le cas de l'utilisation de la structure composite pour réaliser des retours de courants des équipements électriques l'invention s'avère particulièrement avantageuse.

Les pièces métallisées de l'invention sont conductrices électriquement et assurent la continuité électrique entre les différentes pièces assemblées ce qui permet dans une structure complexe telle que la cellule d'un avion de réaliser le retour de courant de l'alimentation électrique des équipements par la structure composite assemblée ainsi conductrice et ce d'autant plus aisément que la jonction électrique de l'équipement avec la structure par une tresse de masse d'un équipement peut être réalisée sur n'importe laquelle des deux faces de la pièce, au moins dans des zones où cette possibilité aura été rendue possible par les caractéristiques du sur-piquage conducteur.

La pièce 10 en matériau composite de l'invention est donc une pièce dont une dimension, l'épaisseur, comporte un empilement de plis 21 formés de fibres maintenues dans une résine organique dure, les fibres étant des fibres minérales ou organiques isolantes ou faiblement conductrices (verre, aramide, carbone ...).

En outre dans cette pièce en matériau composite des fils supérieurs 31 et des fils inférieurs 32, l'une au moins de ces deux catégories de fils étant constituée de fils réalisés dans un matériau électriquement conducteur et ou à conduction thermique améliorée, par rapport aux caractéristiques des fibres et de la matrice du matériau composite, par exemple du cuivre, de l'aluminium ou du fer ou un alliage à base d'un de ces métaux, ou une fibre carbone à conduction thermique renforcée, détermine sur au moins une face de la pièce

un réseau formé par des lignes de couture 34 d'un sur-piquage conducteur d'au moins une partie des plis 21 de la pièce en matériau composite situés du côté d'une face de la pièce conductrice en matériau composite, c'est à dire rendue électriquement et ou thermiquement conductrice en surface par la
5 présence à la surface de la pièce des fils conducteurs électriquement et ou thermiquement.

La pièce 10 en matériau composite ainsi formée est par exemple un panneau réalisé en fibres de carbone maintenues dans une matrice organique obtenu par le procédé RTM tel qu'un panneau de fuselage d'aéronef ou un
10 panneau de caisson d'une aile d'avion.

De manière générale une telle pièce correspond à toute pièce en matériau composite dont l'épaisseur est le résultat principalement d'un empilage de plis de fibres.

Dans le domaine des aéronefs cela correspond notamment, outre des
15 panneaux déjà cités, à des cadres ou à des raidisseurs qui bien que de formes complexes sont formés de voiles dont l'épaisseur est le résultat d'un empilage de plis.

De telles pièces comportent par exemple dans le sens de l'épaisseur **E** de dix à cinquante plis 21 de fibres de carbone, de Kevlar® ou de verre
20 suivant la résistance recherchée, le nombre de plis pouvant varier pour une même pièce suivant l'emplacement considéré sur la pièce.

Pour les besoins d'une structure électriquement conductrice, les fils supérieurs 31 et ou inférieures 32 du sur-piquage conducteur sont formés par un fil de cuivre ou d'un autre matériau bon conducteur électrique de section
25 conductrice de préférence comprise entre 0,005 mm² et 0,50 mm² dans les cas les plus courants de pièces destinées à des aéronefs.

De préférence les fils électriquement conducteurs sont des fils comportant une pluralité de brins, par exemple de 1 à 50 brins pouvant avoir un diamètre compris entre 0,05 à 0,20 mm, de sorte à disposer de fils suffisamment souples au moment de leurs mises en œuvre avant qu'ils ne
5 soient maintenus dans la matrice dure.

Le réseau conducteur formé par les lignes de couture comporte une première direction principale, par exemple avec un pas entre les lignes de couture d'environ 5 mm et une distance entre les points de piquage du même ordre de grandeur, et comporte au moins une seconde direction telle que les
10 lignes de couture suivant cette direction intersectent les lignes de couture suivant la direction principale.

Du point de vue du comportement thermique de la pièce en matériau composite considérée, il doit être noté que les sur-piquages conducteurs au moyen de fils métalliques, privilégiés dans le cas ou une métallisation de la
15 pièce est recherchée, permettent également de modifier le comportement thermique d'une pièce en matériau composite.

En effet les matériaux bons conducteurs de l'électricité sont également, dans le domaine des matériaux courants, de bons conducteurs thermiques.

20 Ainsi chaque piquûre traversant la pièce entre ses deux faces correspond aussi à un pont thermique en ces deux faces, pont thermique dont la multiplication en raison du nombre de piquûre, 80000 piquûres par m² pour une distance entre les piquûres de 5 mm suivant deux directions de lignes de couture, permet d'obtenir des capacités significatives de transfert de chaleur
25 entre les deux faces de la pièce en matériau composite par les fils métalliques traversant.

De même les fils conducteurs à la surface de la pièce forment un

réseau conduisant la chaleur et apte à transférer l'énergie sous forme de chaleur entre une source chaude et une source froide que ces sources soient distantes ou non sur une structure et soient sur la même face ou sur des faces opposées d'une pièce de la structure.

- 5 Suivant que l'amplification de cet effet sera recherché ou qu'au contraire on cherchera à en limiter l'ampleur malgré une métallisation, le nombre de piqûres au m² et le type du matériau conducteur électriquement utilisé pour les fils de sur-piquage conducteur seront adaptés.

- 10 Par exemple les capacités de transfert de chaleur d'une pièce métallisée entre ses deux faces pourront être diminuées en utilisant des fils en acier inoxydable ou en invar, dont les caractéristiques de conduction thermiques sont sensiblement inférieures à celle du cuivre, et en diminuant si besoin le nombre de piqures par unité de surface.

- 15 Une application où une amélioration de la conduction thermique d'une pièce composite, qui pourra être obtenue en utilisant un matériau de métallisation bon conducteur thermique tel que le cuivre ou avantageusement si la conduction électrique n'est pas recherchée en utilisant un sur-piquage par un fil de carbone à conduction thermique renforcée ou encore en superposant à un sur-piquage de métallisation un sur-piquage par un fil de carbone à
20 conduction thermique renforcée, concerne les structures de satellites.

- Dans les satellites qui évolue dans le vide les équipements ne peuvent pas être refroidis par convection et en raison des mauvaises propriétés de conduction thermique des matériaux composites mis en œuvre dans les structures des satellites, les équipements constituant des sources de chaleur
25 sont refroidi le plus souvent par des dispositifs complexes du type caloduc.

 L'application du procédé de l'invention à des pièces de structure du satellite est en mesure d'assurer le transfert de la chaleur des équipements

vers des dispositifs rayonnant et d'éviter de faire appel à des dispositifs plus complexes ou du moins d'en limiter le nombre.

Bien que le procédé décrit soit particulièrement adapté à une pièce
5 réalisée suivant le procédé RTM, les opérations de sur-piquage conducteur
étant aisément réalisés sur la préforme en fibres sèches non enduites de
résine, ledit procédé est applicable également avec toutes les préformes sur
lesquelles des opérations de sur-piquage peuvent être réalisées, c'est à dire
pour lesquelles il est possible de traverser un empilage de plis d'une préforme
10 au moyen d'une aiguille de piquage.

En particulier le sur-piquage conducteur peut être réalisé sur des
préformes dont les fibres ont subi des traitements préalables comme des
fibres poudrées, c'est à dire comportant à la surface des fibres des grains de
petites dimensions par rapport aux fibres, d'une résine thermofusible destinées
15 à donner une stabilité dimensionnelle temporaire à la préforme réalisée.

Le sur-piquage conducteur peut également être réalisé sur des
préformes en fibres pré-imprégnées d'une résine thermodurcissable, à un
stade du procédé de fabrication d'une pièce en matériau composite dans
lequel la matrice maintenant les fibres de la pièce n'est pas encore durcie.

20 Bien que la description ait été détaillée avec des coutures utilisant des
points de navette mettant en œuvre deux fils, il est également possible de
réaliser les coutures en réalisant des points de chaînette qui ne nécessitent
qu'un fil unique, bien que les machines produisant ce type de points soient
actuellement moins performantes pour réaliser des coutures.

25 Dans cette solution appliquée à l'invention le fil unique d'une couture
du sur-piquage conducteur est bien sûr un fil conducteur et il faut alors

comprendre dans la description de l'invention que le fil supérieur sur la face supérieure de la pièce et le fil inférieur sur la face inférieure de la pièce sont un seul et même fil dont la désignation est changée en fonction de la face observée.

- 5 On comprendra également que les lignes de couture représentées sensiblement rectilignes sur les figures peuvent être de formes quelconques et en particulier présenter des courbures adaptées aux formes de la pièce.

- 10 Par la mise en œuvre du procédé de l'invention, en optimisant en tout point de la surface de la pièce la densité surfacique du sur-piquage conducteur et de ses différentes caractéristiques, il est ainsi possible d'obtenir des caractéristiques de conduction, électrique et ou thermique, optimisée en tout point de la pièce et donc de diminuer la masse totale consacrée aux besoins de conduction et vis à vis de la métallisation d'obtenir des pièces allégées par
- 15 rapport à des pièces comportant une métallisation conventionnelle par un grillage conducteur à la surface de la pièce ainsi que des pièces en matériau composite aptes à assurer la retour de courant des équipements électriques ou électroniques d'un véhicule.

REVENDICATIONS

- 1 – Procédé de fabrication d'une pièce (10) à caractéristiques de conduction électrique ou thermique améliorée, pièce (10) en matériau composite comportant des fibres isolantes ou faiblement conductrices, réparties suivant des plis (21) empilés dans une épaisseur **E** de la pièce (10) et maintenues, dans la pièce fabriquée, dans une matrice en résine organique dure caractérisé en ce qu'un sur-piquage conducteur (30) comportant des fils supérieurs (31) et des fils inférieurs (32), un fil supérieur croisant un fil supérieur au niveau d'une piqûre (33), est réalisé sur une préforme (20), constituée de tout ou partie des plis (21) placés les uns par rapport aux autres dans l'ordre et suivant les orientations que les dits plis doivent avoir dans la pièce fabriquée, le dit sur-piquage conducteur étant réalisé lors d'une étape (200) du procédé pendant laquelle la résine de la matrice n'est pas dure et en utilisant pour au moins un des fils supérieurs (31) ou inférieurs (32) du sur-piquage conducteur un fil conducteur électriquement et ou thermiquement.
- 2 – Procédé suivant la revendication 1 dans lequel le sur-piquage conducteur (30) est réalisé suivant des lignes de couture (34) sensiblement parallèles suivant une première direction principale et suivant des lignes de couture (34) sensiblement parallèles suivant au moins une seconde direction différente de la direction principale de sorte que les fils conducteurs du sur-piquage conducteur (30) se croisent et forment sur au moins une face de la préforme un réseau de fils conducteurs en contact au niveau de leurs intersections.
- 3 – Procédé suivant la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel au

niveau de chaque piqûre (33) du sur-piquage conducteur traversant la préforme (20), le fil supérieur (31) et le fil inférieur (32) sont croisés dans une partie médiane d'une épaisseur de la préforme.

- 5 4 - Procédé suivant la revendication 1 ou la revendication 2 dans lequel au niveau de chaque piqûre (33) du sur-piquage conducteur traversant la préforme (20), le fil supérieur (31) et le fil inférieur (32) sont croisés au niveau d'une face inférieure de la préforme du côté de laquelle face inférieure se trouve le fil inférieur.
- 10 5 – Procédé suivant l'une des revendications précédentes dans lequel le sur-piquage conducteur (30) est réalisé en utilisant des fils supérieurs (31) conducteurs et des fils inférieurs (32) conducteurs.
- 15 6 – Procédé suivant l'une des revendications 1 à 4 dans lequel le sur-piquage conducteur (30) est réalisé en utilisant des fils supérieurs (31) conducteurs et des fils inférieurs (32) non conducteurs ou en utilisant des fils supérieurs (31) non conducteurs et des fils inférieurs (32) conducteurs.
- 20 7 – Procédé suivant l'une des revendications précédentes dans lequel les fils supérieurs et ou inférieurs conducteurs sont constitués d'un assemblage de brins métalliques ou réalisés dans un carbone à caractéristiques de conduction thermique améliorées.
- 25 8 - Procédé suivant l'une des revendications précédentes dans lequel des distances **D** entre des lignes de couture (34) voisines sensiblement parallèles sont déterminées pour obtenir une densité surfacique d'une

métallisation de la préforme (20) comprise entre 30 et 500g/m².

- 9 - Procédé suivant l'une des revendications précédentes dans lequel des longueurs **P** entre des piqûres (33) successives d'une ligne de couture (34) sont déterminées pour obtenir, au moins localement, une section conductrice des fils de sur-piquage conducteur traversant la préforme suivant son épaisseur comprise entre 1000 et 50000 mm² par m² de surface de la pièce (10).
- 10 10 – Procédé suivant l'une des revendications précédentes dans lequel le sur-piquage conducteur (30) est réalisé sur une préforme sèche.
- 11 – Procédé suivant l'une des revendications 1 à 9 dans lequel le sur-piquage conducteur (30) est réalisé sur une préforme dont les fibres des plis (21) sont pré-imprégnées d'une résine non durcie.
- 12 – Pièce (10) en matériau composite comportant des fibres isolantes ou faiblement conductrices maintenues dans une matrice organique dure, dans laquelle les fibres sont agencées en plis (21) superposés suivant une épaisseur **E** de la pièce entre une face supérieure (11) et une face inférieure (12) de la pièce, caractérisée en ce que des fils supérieurs (31) du côté de la face supérieure (11) et des fils inférieurs (32) du côté de la face inférieure (12), agencés en lignes de couture (34) suivant au moins deux directions sécantes, traversent tout ou partie des plis (21) au niveau de piqûres (33) et en ce que les fils supérieurs (31) et ou les fils inférieurs (32) sont conducteurs et déterminent à la surface de la pièce (10) sur au moins une face correspondante, supérieure (11), respectivement inférieure (12), un réseau de fils conducteurs et en

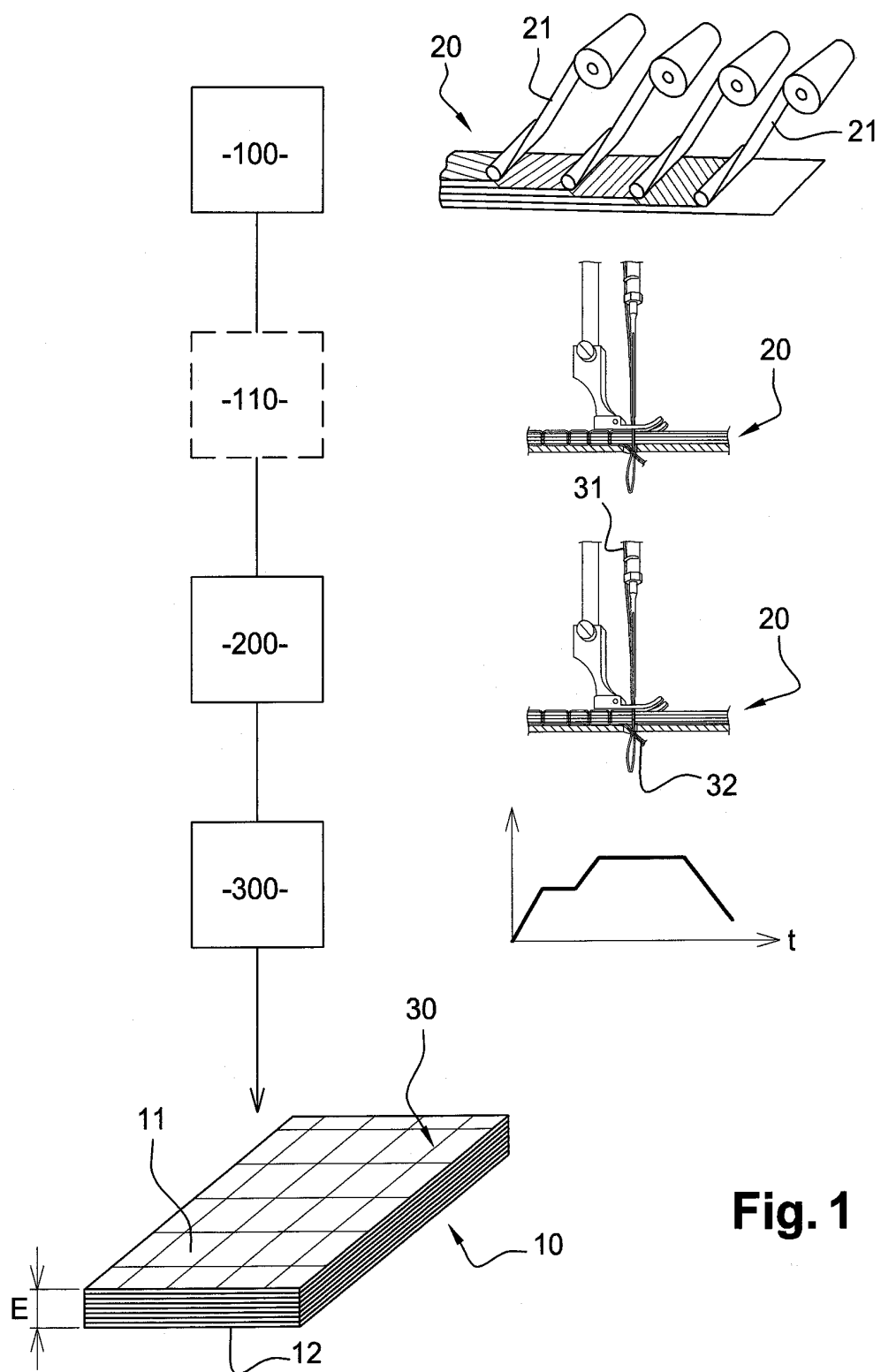
contact au niveau d'intersections entre les fils conducteurs.

- 13 – Pièce suivant la revendication 12 dans laquelle seuls les fils supérieurs (31) ou seuls les fils inférieurs (32) sont conducteurs, lesdits fils conducteurs ne traversant qu'une partie de l'épaisseur **E** de la pièce (10) au niveau des piqûres (33).
- 14 – Pièce suivant la revendication 12 ou la revendication 13 dans laquelle les fils conducteurs (31, 32) sont des fils métalliques, en particulier à base de cuivre, d'aluminium ou d'un acier, formés par un assemblage de plusieurs brins ou sont des fils de carbone à caractéristiques de conduction thermique améliorées.
- 15 – Pièce suivant la revendication 14 dans lequel les fils conducteurs (31, 32) ont des sections conductrices comprises entre 0.05mm² et 0.50mm² et comportent entre 1 et 50 brins.
- 16 – Pièce suivant l'une des revendications 12 à 15 dans laquelle les fils conducteurs (31, 32) sont métalliques et électriquement conducteur et dans laquelle des distances **D** entre lignes de couture (34) voisines déterminent sur la face considérée de la pièce (10) une métallisation comprise entre 30 et 500 g/m².
- 17 – Pièce suivant l'une des revendications 12 à 16 dans laquelle la densité de piqûres (33) du sur-piquage conducteur (30) à la surface de la pièce (10) est compris localement entre 2500 et 250000 piqûres par m².
- 18 – Pièce suivant l'une des revendications 12 à 17 dans laquelle la densité

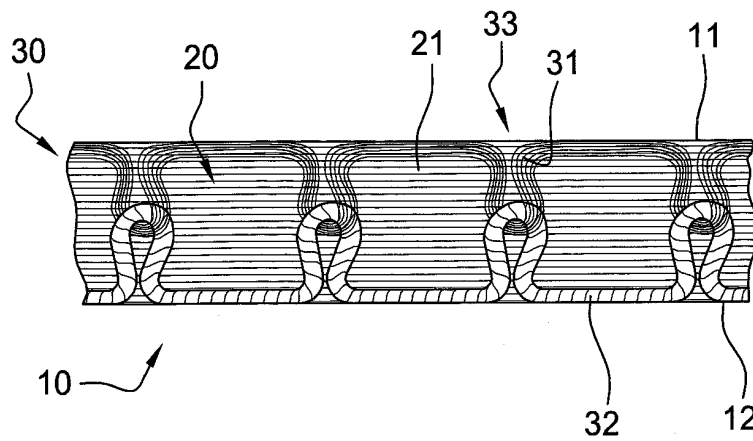
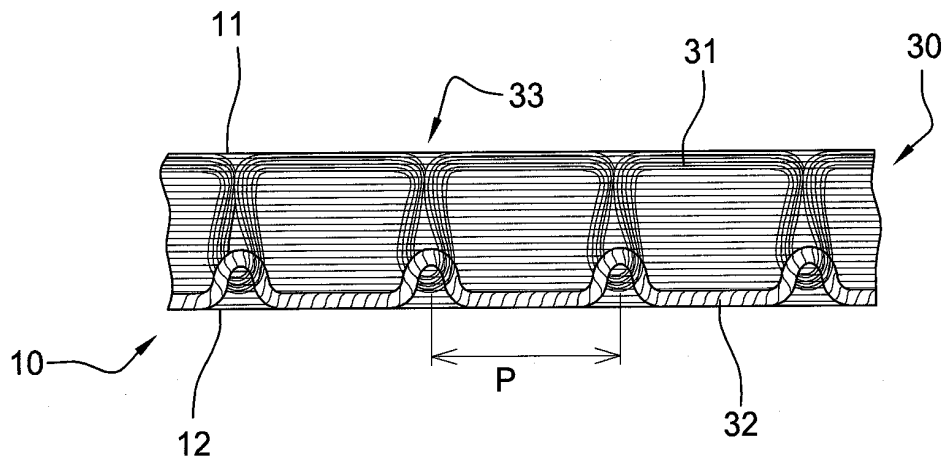
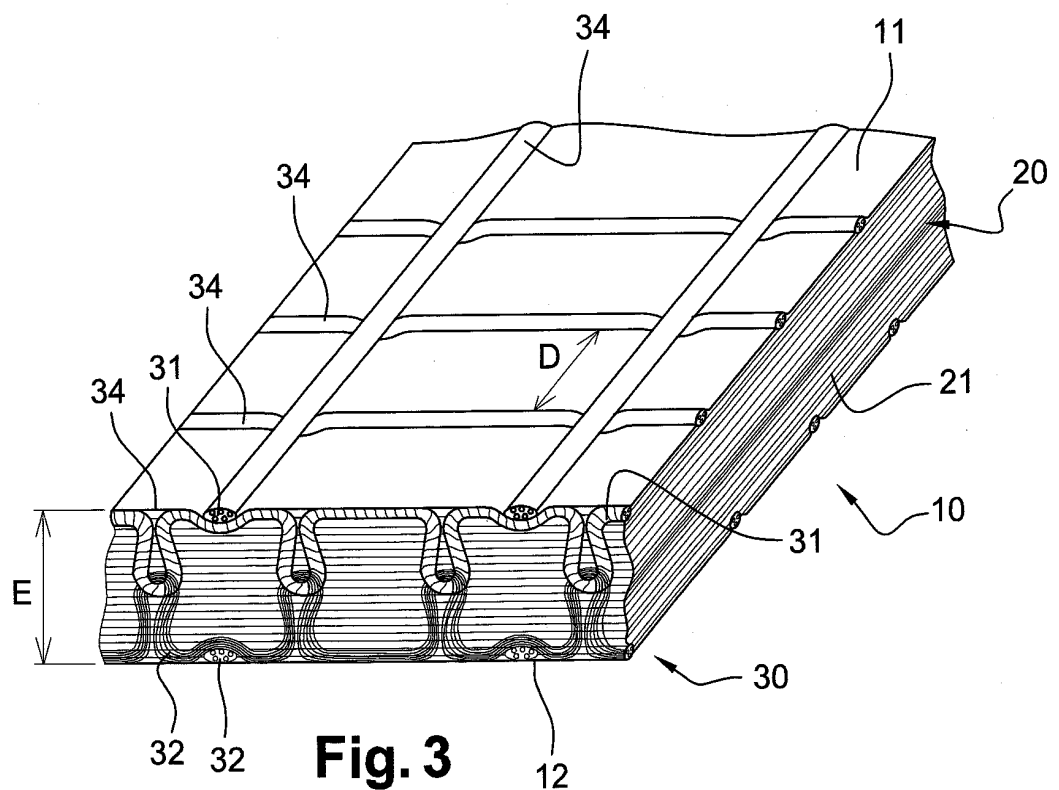
surfacique de fils conducteur et ou la densité de piqûres (33) du sur-piquage conducteur (30) sont variables suivant des emplacements à la surface de la pièce (10).

- 5 19 – Pièce suivant la revendication 18 dans laquelle la densité surfacique de fils conducteur et ou la densité de piqûres (33) du sur-piquage conducteur (30) sont augmentées dans des zones (13) correspondant à des surfaces d'assemblage entre la pièce (10) et une ou plusieurs autres pièces (10a) conductrices.
- 10 20 – Pièce conforme à l'une des revendications 12 à 19 destinée à une structure d'aéronef et comportant sur au moins une de ses faces une métallisation réalisée au moyen de fils de sur-piquage électriquement conducteurs destinée à assurer le retour de courant d'équipements
- 15 électriques ou électroniques de l'aéronef.
- 21 - Pièce conforme à l'une des revendications 12 à 20 destinée à une structure d'aéronef et comportant sur au moins une de ses faces une métallisation réalisée au moyen de fils de sur-piquage électriquement
- 20 conducteurs destinée à protéger la pièce en matériau composite contre les effets d'un impact de foudre.
- 22 – Pièce conforme à l'une des revendications 12 à 20 destinée à une structure de satellite dans laquelle les fils de sur-piquage sont en
- 25 matériau à conduction thermique améliorée destiné à évacuer la chaleur de zones du satellite comportant une ou des sources de chaleur fixées à ladite structure.

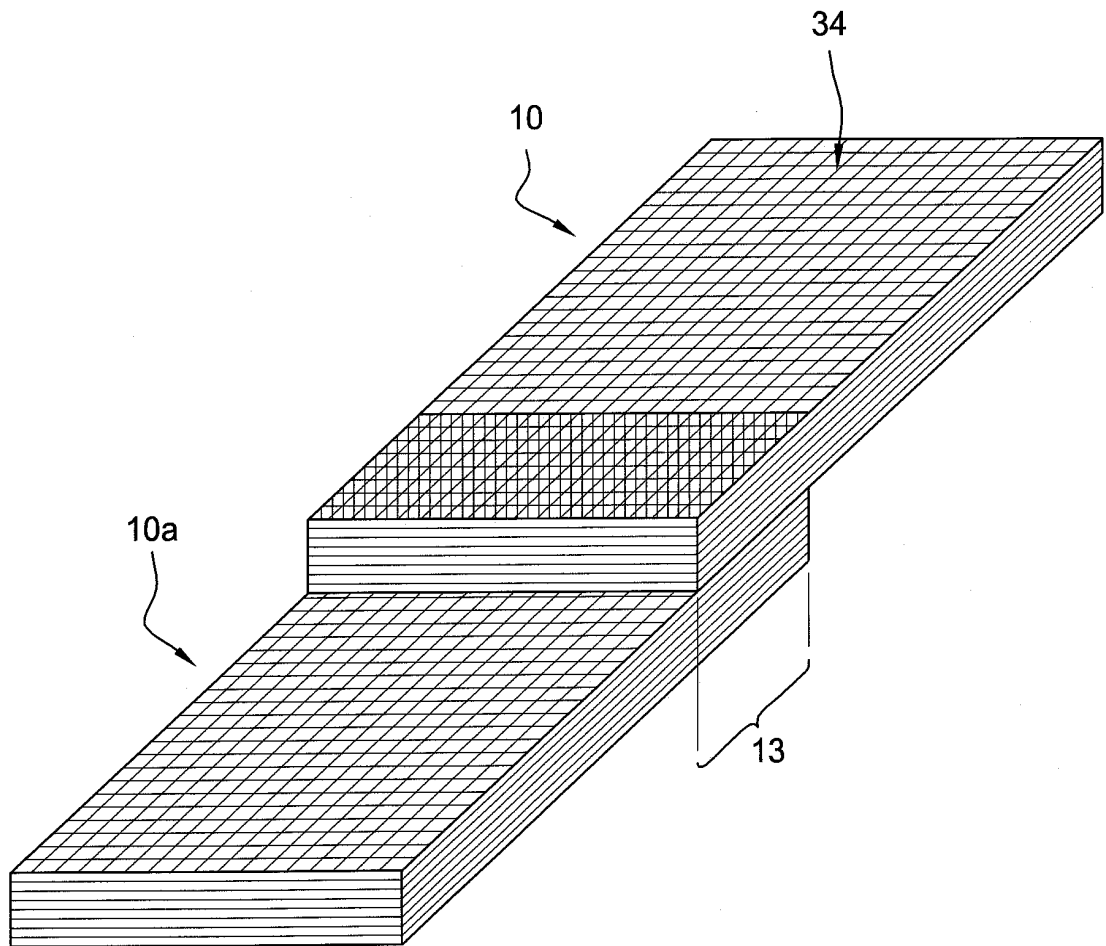
1/3

**Fig. 1**

2 / 3

**Fig. 2a****Fig. 2b****Fig. 3**

3 / 3

**Fig. 4**



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 744765
FR 1057111

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	CAMPBELL F C ED - CAMPBELL FLAKE C: "Manufacturing processes for advanced composites", 1 janvier 2004 (2004-01-01), MANUFACTURING PROCESSES FOR ADVANCED COMPOSITES, ELSEVIER ADVANCED TECHNOLOGY, OXFORD, GB, XP002580602, ISBN: 978-1-85617-415-2 pages 304-356,	1,3-11	B29C70/08 B29C70/54 B64D45/02 B64G1/58 B29C70/22D B29C70/24 B29C70/88A L29C307/202 L29C307/302 L29C353/04
Y	* figures 2,9,37 * * page 312 - page 314 *	2,12-22	
Y	----- US 2010/021682 A1 (LIANG ZHIYONG [US] ET AL) 28 janvier 2010 (2010-01-28) * alinéas [0006], [0008], [0009], [0011], [0020], [0026], [0028], [0046]; figures 1,2 *	1-22	
Y	----- GB 1 303 593 A (JEAN NOYCE) 17 janvier 1973 (1973-01-17) * page 1, ligne 18 - ligne 21 * * page 1, ligne 76 - ligne 84 * * page 2, ligne 7 - ligne 18; figure 1 *	1,3-7, 10-15, 20-22	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) B29C
Y	----- EP 0 561 064 A1 (LANTOR BV [NL]) 22 septembre 1993 (1993-09-22) * page 2, ligne 42 - ligne 53 * * page 3, ligne 6 - page 4, ligne 19 *	1-22	
Y	----- DE 100 05 202 A1 (INST VERBUNDWERKSTOFFE GMBH [DE]) 2 novembre 2000 (2000-11-02) * figure 5 *	2,12,18, 19	
	----- -/--		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 mai 2011		Jouannon, Fabien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 744765
FR 1057111

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 3 998 173 A (WILLIAMSON CLYDE E ET AL) 21 décembre 1976 (1976-12-21) * colonne 2, ligne 3 - ligne 7 * * colonne 3, ligne 26 - ligne 44 * * colonne 4, ligne 55 - ligne 63 * * figure 6 *	1-22	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	GB 1 275 705 A (VLAM PETER HUBERTUS MARIA DE [NL]) 24 mai 1972 (1972-05-24) * page 1, ligne 9 - ligne 14 * * page 1, ligne 64 - ligne 84 * * page 2, ligne 13 - ligne 16 * * page 3, ligne 86 - ligne 118 * * figure 9 *	1-22	
T	Anonymous: "Lockstitch", Wikipedia, the free encyclopedia, 2 mars 2011 (2011-03-02), XP002629775, Extrait de l'Internet: URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Lockstitch [extrait le 2011-03-23] * le document en entier *	1-22	
A	FR 2 847 113 A1 (ELECTRICITE DE FRANCE [FR]) 14 mai 2004 (2004-05-14) * page 8, ligne 26 - ligne 30 *	1-22	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
5 mai 2011		Jouannon, Fabien	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS 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 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			

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE **RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1057111 FA 744765**

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 **05-05-2011**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2010021682 A1	28-01-2010	AUCUN	
GB 1303593 A	17-01-1973	AUCUN	
EP 0561064 A1	22-09-1993	BR 9301254 A	28-09-1993
		CA 2091811 A1	21-09-1993
		JP 6039930 A	15-02-1994
		US 5384185 A	24-01-1995
		ZA 9301826 A	04-10-1993
DE 10005202 A1	02-11-2000	AUCUN	
US 3998173 A	21-12-1976	AUCUN	
GB 1275705 A	24-05-1972	CA 922089 A1	06-03-1973
		DE 2032423 A1	28-01-1971
		FR 2048071 A1	19-03-1971
		NL 7008333 A	13-12-1971
FR 2847113 A1	14-05-2004	AU 2003290178 A1	15-06-2004
		EP 1561364 A1	10-08-2005
		ES 2332407 T3	04-02-2010
		WO 2004047492 A1	03-06-2004
		US 2006081612 A1	20-04-2006