

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
26 juin 2025 (26.06.2025)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2025/133552 A1

(51) Classification internationale des brevets :

D03D 1/00 (2006.01) *D03D 13/00* (2006.01)

D03D 11/00 (2006.01) *D03D 25/00* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2024/051754

(22) Date de dépôt international :

20 décembre 2024 (20.12.2024)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

FR2314722

21 décembre 2023 (21.12.2023) FR

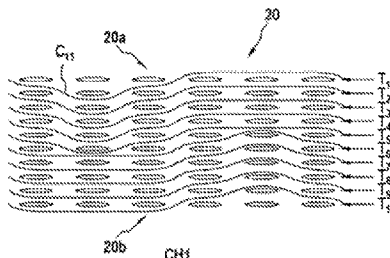
(71) Déposant : **SAFRAN CERAMICS** [FR/FR] ; RUE DE TOUBAN, LES CINQ CHEMINS, 33185 LE HAILLAN (FR).

(72) Inventeurs : **PLANCKEEL, Aline** ; c/o SAFRAN, Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-Point René Ravaud-Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **PHILIPPE, Eric** ; c/o SAFRAN, Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-Point René Ravaud-Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **LEFEBVRE, Marie** ; c/o SAFRAN, Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-Point René Ravaud-Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **CHANTALAT, Frédéric** ; c/o SAFRAN, Centre d'Excellence Propriété Intellectuelle, Rond-Point René Ravaud-Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR).

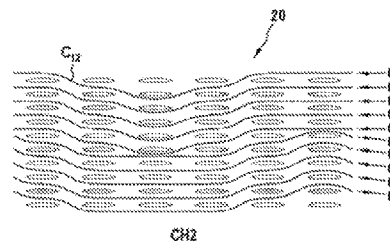
(54) Title: FIBROUS REINFORCING TEXTURE FOR A PART MADE FROM COMPOSITE

(54) Titre : TEXTURE FIBREUSE DE RENFORT POUR UNE PIÈCE EN MATÉRIAU COMPOSITE

[Fig. 5A]



[Fig. 5B]



(57) Abstract: A fibrous reinforcing texture (20) for a component made from composite involves three-dimensional or multilayer weaving between layers of warp yarns (C_1 - C_{10}) juxtaposed in the thickness of the fibrous texture and layers of weft yarns (T_1 - T_{10}) juxtaposed in the thickness of the fibrous texture. The fibrous texture has a determined weave on a plurality of warp planes (CH1, CH2) and on a plurality of weft planes. The weave has a simple weave infiltrability score greater than or equal to 0.67 and a number of contact points less than 80.

(57) Abrégé : Texture fibreuse de renfort pour une pièce en matériau composite Une texture fibreuse (20) de renfort pour une pièce en matériau composite comprend un tissage tridimensionnel ou multicouche entre des couches de fils de

[Suite sur la page suivante]

(74) **Mandataire : DESORMIERE, Pierre-Louis** et al. ;
CABINET BEAU DE LOMENIE, 158 Rue de l'Université,
75340 PARIS CEDEX 07 (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

chaîne (C₁-C₁₀) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame (T₁-T₁₀) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse. La texture fibreuse présentant une armure de tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne (CH1, CH2) et sur une pluralité de plans de trame. L'armure de tissage présente un score d'infiltrabilité armure simple supérieur ou égale à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80.

Description

Titre de l'invention : Texture fibreuse de renfort pour une pièce en matériau composite

5 Domaine Technique

L'invention concerne les textures fibreuses comprenant un tissage tridimensionnel ou multicouche utilisées pour former des renforts fibreux dans des matériaux composites.

10 Technique antérieure

Un domaine d'application de l'invention est la réalisation de pièces en matériau composite structural, c'est-à-dire des pièces de structure à renfort fibreux et densifié par une matrice. Les matériaux composites permettent de réaliser des pièces ayant une masse globale moins élevée que ces mêmes pièces lorsqu'elles sont réalisées en matériau métallique.

15 L'invention concerne plus particulièrement les pièces en matériau composite fabriquées à partir d'un renfort fibreux obtenu au moins en partie par tissage tridimensionnel (3D) ou multicouche entre une pluralité de couches de fils de chaîne et une pluralité de couches de fils de trame, le renfort étant densifié par infiltration chimique en phase gazeuse (CVI). Un tissage 3D peut par exemple correspondre à
20 une armure de tissage interlock tandis qu'un tissage multicouche peut par exemple correspondre à une armure de tissage multi-toile, multi-satin ou multi-sergé.

Suivant l'armure de tissage 3D ou multicouche utilisée pour former la texture fibreuse, cette dernière présente une infiltrabilité, c'est-à-dire une capacité
25 d'infiltration par le gaz réactif utilisé pour la CVI, plus ou moins bonne. L'infiltrabilité dépend en particulier de la densité des fils de chaîne traversant deux couches de trame ou plus dans l'épaisseur de la texture fibreuse. En effet, lorsqu'un fil de chaîne lie deux couches ou plus de fils de trame, il crée un chemin préférentiel qui facilite la circulation du gaz dans la texture fibreuse.

30 En outre, dans le cas d'une armure de tissage comportant une peau tissée bidimensionnelle en surface d'un tissage 3D ou multicouche, la peau crée un

gradient de densification entre la surface et le cœur de la texture fibreuse avec une densification plus rapide en surface qui bouche alors la porosité en surface et empêche une bonne densification à cœur de texture fibreuse.

Par ailleurs, le nombre de points de contact entre les fils de chaîne et les fils de trame dans une armure de tissage 3D ou multicouche influe sur la déformabilité et le foisonnement d'une texture fibreuse. Une texture présentant une armure de tissage avec beaucoup de points de contact est peu déformable et peu foisonnante, ce qui pose problème lors de la mise en forme en conformateur, la préforme ne remplissant pas alors complètement l'entrefer du conformateur.

10 Le document EP 2 032 751 décrit une texture fibreuse de renfort pour une pièce en matériau composite, la texture fibreuse présentant un tissage tridimensionnel ou multicouche entre des couches de fils de chaîne juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse, la texture fibreuse comprenant éventuellement sur une de ses
15 surfaces externes une peau présentant un tissage bidimensionnel, la texture fibreuse présentant une armure de tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne et sur une pluralité de plans de trame.

Il existe, par conséquent, un besoin pour définir des textures fibreuses formées au moins en partie par tissage tridimensionnel ou multicouche présentant un bon
20 compromis entre infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement.

Exposé de l'invention

A cet effet, l'invention propose une texture fibreuse de renfort pour une pièce en matériau composite, la texture fibreuse présentant un tissage tridimensionnel ou
25 multicouche entre des couches de fils de chaîne juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse, la texture fibreuse comprenant en outre sur une de ses surfaces externes une peau présentant un tissage bidimensionnel et recouvrant le tissage tridimensionnel ou multicouche, la texture fibreuse présentant une armure de
30 tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne et sur une pluralité de plans de trame, caractérisée en ce l'armure de tissage présente un score d'infiltrabilité

armure complexe supérieur ou égale à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, le score d'infiltrabilité armure complexe de la texture fibreuse correspondant au ratio entre un nombre de points de croisement réels d'intérêt entre des fils de chaîne et des fils de trame de la peau de la texture fibreuse et un nombre maximum de points de croisement théoriques sur ladite peau, chaque point de croisement réel d'intérêt correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne de la peau par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs, ledit fil de chaîne de la peau étant situé au-dessus d'un fil de chaîne d'une couche de fils de chaîne sous-jacente à la couche de fil de chaîne de la peau liant au moins deux couches de fils de trame dans l'épaisseur de la texture fibreuse, le nombre de points de contact correspondant à la somme de valeurs de points de contact en chaîne par centimètre déterminées pour chaque point de contact en chaîne et de valeurs de points de contact en trame par centimètre déterminées pour chaque point de contact en trame, un point de contact en chaîne, respectivement un point de contact en trame, correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne, respectivement d'un fil de trame, dans un plan de chaîne, respectivement dans un plan de trame, de l'armure de tissage de la texture fibreuse.

La texture fibreuse selon l'invention comprenant en surface une peau 2D et à cœur une armure de tissage 3D ou multicouche présente ainsi un bon compromis entre :

- infiltrabilité, c'est-à-dire la capacité d'infiltration de la texture fibreuse par le gaz réactif utilisé pour la CVI, qui permet d'améliorer la densification par CVI à cœur, et
- capacité de déformation et de foisonnement afin de faciliter la mise en forme de la texture fibreuse.

Selon un aspect particulier de la texture fibreuse de l'invention, le score d'infiltrabilité armure complexe S_m correspond à la formule suivante:

$$S_m = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} h \left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}, \text{ si } \nexists (i, j) \text{ tel que } P_1(i, j) \geq 2 \right\}$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

P_{Tr} est le nombre de plans de trame

h est une fonction d'identification de points de croisement réels d'intérêt

i est le plan de chaîne courant

j est le plan de trame courant

Selon un autre aspect particulier de la texture fibreuse de l'invention, le nombre de

5 points de contact N correspond à la formule suivante :

$$N = Nch \times C \times \frac{D}{(Ptr \times Cch)} + Ntr \times D \times \frac{C}{(Pch \times Ctr)}$$

Avec :

N : Nombre de points de contact total

10 Nch : Nombre de points de contact en Chaîne par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

Ntr : Nombre de points de contact en Trame par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

C = Compte (nombre de fils de chaîne par cm)

D = Duitage (Nombre de fils de trame par cm)

15 Pch = Nombre de plans en Chaîne

Ptr = Nombre de plans en Trame

Cch = Nombre de couches de Chaines

Ctr = Nombre de couches de trames.

L'invention a également pour objet une texture fibreuse de renfort pour une pièce en
 20 matériau composite, la texture fibreuse comprenant un tissage tridimensionnel ou multicouche entre des couches de fils de chaîne juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse, le tissage tridimensionnel ou multicouche étant présent sur des surfaces externes de la texture fibreuse, la texture fibreuse présentant une armure
 25 de tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne et sur une pluralité de plans de trame, caractérisée en ce l'armure de tissage présente un score d'infiltrabilité armure simple supérieur ou égale à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, le score d'infiltrabilité armure simple de la texture fibreuse correspondant au ratio entre un nombre de points de croisement réels entre des fils
 30 de chaîne de la couche de fil de chaîne présente sur une surface externe de la texture fibreuse et des fils de trame de couches de fils de trame et un nombre

maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse, chaque point de croisement réel correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs, le nombre de

- 5 points de contact correspondant à la somme de valeurs de points de contact en chaîne par centimètre déterminées pour chaque point de contact en chaîne et de valeurs de points de contact en trame par centimètre déterminées pour chaque point de contact en trame, un point de contact en chaîne, respectivement un point de contact en trame, correspondant à un changement de position relative dans le sens
- 10 de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne, respectivement d'un fil de trame, dans un plan de chaîne, respectivement dans un plan de trame, de l'armure de tissage de la texture fibreuse.

La texture fibreuse selon l'invention formée par un tissage 3D ou multicouche présente ainsi un bon compromis entre :

- 15 - infiltrabilité, c'est-à-dire la capacité d'infiltration de la texture fibreuse par le gaz réactif utilisé pour la CVI, qui permet d'améliorer la densification par CVI à cœur, et
- capacité de déformation et de foisonnement afin de faciliter la mise en forme de la texture fibreuse.

Selon un aspect particulier de la texture fibreuse de l'invention, le score d'infiltrabilité

20 armure simple S_1 correspond à la formule suivante:

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} f\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

P_{Tr} est le nombre de plans de trame

f est une fonction d'identification de points de croisement réels

- 25 i est le plan de chaîne courant

j est le plan de trame courant

Selon un autre aspect particulier de la texture fibreuse de l'invention, le nombre de points de contact N correspond à la formule suivante :

$$N = N_{ch} \times C \times \frac{D}{(P_{tr} \times C_{ch})} + N_{tr} \times D \times \frac{C}{(P_{ch} \times C_{tr})}$$

Avec :

N : Nombre de points de contact total

N_{ch} : Nombre de points de contact en Chaîne par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

5 N_{tr} : Nombre de points de contact en Trame par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

C = Compte (nombre de fils de chaîne par cm)

D = Duitage (Nombre de fils de trame par cm)

P_{ch} = Nombre de plans en Chaîne

10 P_{tr} = Nombre de plans en Trame

C_{ch} = Nombre de couches de Chaines

C_{tr} = Nombre de couches de trames.

15 L'invention concerne également une pièce en matériau composite ayant une texture fibreuse de renfort selon l'invention densifiée par une matrice au moins partiellement formée par infiltration chimique en phase vapeur. La texture fibreuse de renfort peut notamment comprendre des fils en céramique ou en carbone.

Brève description des dessins

20 [Fig. 1A-1R] Les figures 1A à 1R illustrent des plans successifs d'une armure de tissage d'une texture fibreuse avec tissage tridimensionnel à cœur et tissage bidimensionnel en peau,

[Fig. 2] La figure 2 illustre un quadrillage d'une des surfaces externes d'une texture fibreuse ayant l'armure de tissage des figures 1A à 1R utilisé pour le calcul d'un
25 score d'infiltrabilité conformément à l'invention,

[Fig. 3] La figure 3 illustre quatre points de croisement théoriques d'une cellule du quadrillage de la figure 2

[Fig. 4] La figure 4 illustre un exemple d'attribution de valeurs de points de contact dans une texture fibreuse tissée 3D conformément à l'invention,

[Fig. 5A-5F] Les figures 5A à 5F illustrent des plans successifs d'une armure de tissage d'une texture fibreuse avec tissage tridimensionnel selon un mode de réalisation de l'invention,

5 [Fig. 6A-6L] Les figures 6A à 6L illustrent des plans successifs d'une armure de tissage d'une texture fibreuse avec tissage tridimensionnel à cœur et tissage bidimensionnel en peau conformément à un mode de réalisation de l'invention,

[Fig. 7A-7H] Les figures 7A à 5H illustrent des plans successifs d'une armure de tissage d'une texture fibreuse avec tissage tridimensionnel selon un mode de réalisation de l'invention.

10

Description des modes de réalisation

L'invention s'applique à la définition de textures fibreuses présentant une armure de tissage tridimensionnelle (3D) ou multicouche entre une pluralité de couches de fils de chaîne et une pluralité de couches de fils de trame et destinée à former un renfort
15 fibreux d'une pièce en matériau composite, la texture fibreuse étant au moins partiellement consolidée ou densifiée par infiltration chimique en voie gazeuse (CVI). La texture fibreuse est destinée à former le renfort fibreux d'une pièce en matériau composite, en particulier mais non exclusivement, une pièce en matériau composite à matrice céramique (CMC) c'est-à-dire comportant un renfort fibreux par exemple
20 en fibres de carbone ou de céramique densifié par une matrice au moins partiellement en céramique.

Par "tissage tridimensionnel" ou "tissage 3D", on entend ici un mode de tissage par lequel certains au moins des fils de chaîne lient des fils de trame sur plusieurs couches de trame comme par exemple une armure de "tissage interlock" dont
25 chaque couche de chaîne lie plusieurs couches de trames avec tous les fils de la même colonne de chaîne ayant le même mouvement dans le plan de l'armure.

Par "tissage multicouche", on désigne ici un tissage 3D avec plusieurs couches de trame dont l'armure de base de chaque couche est équivalente à une armure de tissu 2D classique, tel qu'une armure de type toile, satin ou sergé, mais avec
30 certains points de l'armure qui lient les couches de trame entre elles. Des exemples

connus d'armure de tissage multicouche sont les armures multi-toile, multi-satin et multi-sergé.

Une armure de tissage 3D ou multicouche définit la façon dont les fils de chaîne s'entrecroisent avec les fils de trame et inversement suivant un motif élémentaire pour chaque plan de l'armure de tissage. Le motif de l'armure de tissage est défini sur une pluralité de plans en coupe chaîne, encore appelés plans de chaîne, qui montrent le trajet des fils de chaîne par rapport aux fils de trame (représentés en coupe) dans l'épaisseur d'une texture fibreuse pour une colonne de fils de chaîne déterminée, c'est-à-dire le trajet d'un fil de chaîne pour chaque couche de fils de chaîne, ainsi que sur une pluralité de plans en coupe trame, encore appelés plans de trame, qui montrent le trajet des fils de trame par rapport aux fils de chaîne (représentés en coupe) dans l'épaisseur d'une texture fibreuse pour une colonne de fils de trame déterminée, c'est-à-dire le trajet d'un fil de trame pour chaque couche de fils de trame. Les plans en coupe chaîne et trame sont répétés dans l'ordre tout au long du tissage de la texture fibreuse. La figure 2 représente un exemple d'armure de tissage multicouche dont le motif représentatif est défini sur huit plans en chaîne.

Le traitement CVI est un processus bien connu de densification de préformes poreuses pour réaliser des pièces en matériau composite CMC. La ou les préformes à densifier sont placées dans une chambre de réaction d'une installation CVI où elles sont chauffées. Un gaz réactif contenant un ou plusieurs précurseurs gazeux du matériau constitutif de la matrice est introduit dans la chambre de réaction. La température et la pression dans l'installation sont réglées pour permettre au gaz réactif de diffuser au sein de la porosité des préformes et y former un dépôt du matériau constitutif de la matrice par décomposition d'un ou plusieurs constituants du gaz réactif ou par réaction entre plusieurs constituants, ces constituants formant le précurseur de la matrice. Un tel processus est décrit notamment dans le brevet US 9 845 534.

Conformément à l'invention, une armure de tissage d'une texture fibreuse ayant un bon compromis entre infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement présente un score d'infiltrabilité armure simple ou complexe supérieur ou égal à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, plus préférentiellement inférieur à 70.

Le calcul d'un score d'infiltrabilité d'une texture fibreuse permet de déterminer une valeur représentative de son potentiel d'infiltration par le ou les gaz utilisés pour la CVI. Comme décrit ci-après en détails, un score « d'infiltrabilité armure simple » permet de déterminer une valeur représentative du potentiel d'infiltration d'une armure de tissage 3D ou multicouche lorsque celle-ci est présente sur les surfaces externes de la texture fibreuse, c'est-à-dire directement accessibles par le gaz réactif de la CVI. Un score « d'infiltrabilité armure complexe » permet de déterminer une valeur représentative du potentiel d'infiltration d'une armure de tissage comprenant une partie interne ou cœur formée par un tissage 3D ou multicouche et une partie externe ou peau présentant un tissage bidimensionnel et recouvrant le tissage 3D ou multicouche.

Comme expliqué ci-après, le score « d'infiltrabilité armure simple » correspond au ratio entre un nombre de points de croisement réels entre des fils de chaîne de la couche de fil de chaîne présente sur une surface externe de la texture fibreuse et des fils de trame de couches de fils de trame et un nombre maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse tandis que le score « d'infiltrabilité armure complexe » correspondant au ratio entre un nombre de points de croisement réels à proximité d'un liage profond sous-jacent, appelé « points de croisement d'intérêt », entre des fils de chaîne et des fils de trame de la peau de la texture fibreuse et un nombre maximum de points de croisement théoriques sur ladite peau.

On décrit maintenant un exemple de calcul d'un score d'infiltrabilité d'une texture fibreuse illustrée sur les figures 1A à 1R. Les figures 1A à 1R représentent dix-huit plans de chaîne successifs CH1 à CH18 d'une armure de tissage d'une texture fibreuse 10 obtenue par tissage 3D à cœur 12 et tissage bidimensionnel en peau 14, 16. Le motif représentatif de l'armure de la texture fibreuse 10 est défini sur dix-huit plans de chaîne et de trame. La structure fibreuse 10 comprend cinq couches de fils de chaîne C₁ à C₅ et cinq couches de fils de trame T₁ à T₅.

Le calcul du score d'infiltrabilité débute par le quadrillage d'une des surfaces externes de la texture fibreuse 10, ici la surface de la texture fibreuse 10 comportant la peau 16, en une pluralité de cellules carrées comme représentées sur la figure 2. Chaque cellule carrée correspondant à une intersection entre un plan de chaîne CH1 à CH18 et un plan de trame TR1 à TR18. Les cellules carrées du quadrillage

représentent le comportement du fil de chaîne C_{11} à C_{118} de la couche de fils de chaîne C_1 de la peau 16 respectivement sur les dix-huit plans en chaîne CH1 à CH18 et en trame TR1 à TR18. Par exemple, le fil de chaîne C_{11} visible sur le plan en chaîne CH1 de la figure 1A est représenté sur la figure 2 dans la colonne de gauche de bas en haut de la figure et ainsi de suite pour les fils de chaîne C_{12} à C_{118} de gauche à droite sur la figure 2. Les cellules carrées en noir représentent des fils de chaîne visible en surface de la texture fibreuse tandis que les cellules carrées en blanc représentent des fils de trame visible en surface de la texture fibreuse.

Dans la suite de l'explication du calcul du score d'infiltrabilité, on généralise en notant PCh le nombre de plan de chaîne, et Ptr celui de trame. On note également Cch le nombre de couches en chaîne, et Ctr celui en trame. Dans l'exemple des figures 1A à 1R, $Cch = Ctr$.

En notant i le plan de chaîne courant, et j le plan de trame courant, et $P_k(i, j)$ la position du fil de chaîne k , définie par le nombre de trames localement au-dessus du fil k (le fil 1 étant le fil de surface), la valeur de la cellule $C(i, j)$ est obtenue par la formule suivante :

$$C(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{si } P_1(i, j) = 0 \\ 1 & \text{si } P_1(i, j) > 0 \end{cases} \quad \text{pour } 1 \leq i \leq PCh \text{ et } \text{pour } 1 \leq j \leq Ptr$$

Les cellules en noir sur la figure 2 correspondent donc aux cellules (i, j) pour lesquelles $C(i, j) = 0$, et les cellules en blanc correspondent donc aux cellules (i, j) pour lesquelles $C(i, j) = 1$.

Par exemple, la valeur des cellules $C(i, j)$ de la colonne de gauche sur la figure 2 de bas en haut est $C(1, 1) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{11}), $C(1, 2) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{12}), $C(1, 3) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{13}), $C(1, 4) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{14}), $C(1, 5) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{15}), $C(1, 6) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{16}), $C(1, 7) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{17}), $C(1, 8) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{18}), $C(1, 9) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{19}), $C(1, 10) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{110}), $C(1, 11) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{111}), $C(1, 12) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{112}), $C(1, 13) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{113}), $C(1, 14) = 1$ (fil de trame au-dessus du fil de chaîne C_{114}), $C(1, 15) = 1$ (fil de trame

au-dessus du fil de chaîne C_{115}), $C(1,16) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{116}), $C(1,17) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{117}) $C(1,18) = 0$ (fil de trame en dessous du fil de chaîne C_{118}).

Chaque cellule carrée comporte quatre sommets correspondant chacun à un point de croisement théorique entre un fil de chaîne et un fil de trame.

La figure 3 illustre les quatre points de croisement théoriques d'une cellule carrée $C(i,j)$. Pour une cellule $C(i,j)$ donnée, les points de croisements théoriques entre un fil de chaîne et un fil de trame sont identifiés aux sommets des cellules carrées comme indiqué ci-dessous, avec pour hypothèse aux limites :

$$10 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Point} \left(-\frac{1}{2}, j + \frac{1}{2} \right) = \text{Point} \left(Pch + \frac{1}{2}, j + \frac{1}{2} \right), \quad \text{pour } 1 \leq j \leq Ptr \\ \text{Point} \left(-\frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right) = \text{Point} \left(Pch + \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right), \quad \text{pour } 1 \leq j \leq Ptr \\ \text{Point} \left(i + \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right) = \text{Point} \left(i + \frac{1}{2}, Ptr + \frac{1}{2} \right), \quad \text{pour } 1 \leq i \leq PCh \\ \text{Point} \left(i - \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} \right) = \text{Point} \left(i - \frac{1}{2}, Ptr + \frac{1}{2} \right), \quad \text{pour } 1 \leq i \leq PCh \\ \text{Cellule} (-1, j) = \text{Cellule} (PCh, j), \quad \text{pour } 1 \leq j \leq Ptr \\ \text{Cellule} (i, -1) = \text{Cellule} (i, Ptr), \quad \text{pour } 0 \leq i \leq PCh \end{array} \right.$$

Il est ainsi possible de déterminer le nombre maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse.

La fonction f définie ci-dessous permet d'isoler les points de croisement réels, représentés par P_1 et P_2 sur la figure 2, parmi tous les points de croisement théoriques sur une cellule donnée (i,j) :

Pour $1 \leq i \leq PCh - 1$ et $1 \leq j \leq Ptr$

$$f \left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right) = f \left(i + \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right) = \begin{cases} 1 & \text{si } |C(i,j) - C(i,j-1)| = 1 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

Les points de croisement réels chaîne trame sont ceux pour lesquels la fonction f vaut 1.

Chaque point de croisement réel correspond à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs

Dans le cas d'une armure de tissage 3D ou multicouche présente directement sur les surfaces externes de la texture fibreuse, c'est-à-dire sans peau bidimensionnelle à sa surface, on additionne tous les points de croisement réels isolés à la surface de la texture fibreuse comme décrit ci-avant puis on divise le nombre trouvé de points de croisement réels par le nombre maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse pour calculer un score d'infiltrabilité armure simple.

Le score d'infiltrabilité « armure simple », noté S_1 peut être calculé avec la formule suivante :

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} f\left(i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}},$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

P_{Tr} est le nombre de plans de trame

f est une fonction d'identification de points de croisement réels

i est le plan de chaîne courant

j est le plan de trame courant

A titre d'exemple, si on considère que la figure 2 représente la surface d'une texture fibreuse sans la peau bidimensionnelle, à savoir que les fils de chaîne présents dans la première couche de fils de chaîne réalisent déjà des liages en profondeur, le score d'infiltrabilité armure simple serait $216/324 = 0,67$.

Dans le cas d'une armure comprenant une partie interne ou cœur formée par un tissage 3D ou multicouche et une partie externe ou peau présentant un tissage bidimensionnel et recouvrant le tissage 3D ou multicouche comme c'est le cas sur les figures 1A à 1R et 2, on identifie d'abord les cellules où un point de liage en profondeur existe. Un point liage en profondeur correspond à un fil de chaîne d'une couche de fils de chaîne sous-jacente à la couche de fil de chaîne de la peau qui lie au moins deux couches de fils de trame dans l'épaisseur de la texture fibreuse. Les cellules où un point de liage en profondeur existe sont représentées avec un point L_{pa} ou L_{pd} sur la figure 2, L_{pa} correspondant à un point de liage profond ascendant et L_{pd} correspondant à un point de liage profond descendant. Pour ce faire, il suffit de regarder, plan de chaîne par plan de chaîne, le comportement du fil de chaîne C_{21} à

C₂₁₈ (figures 1A à 1R), et de repérer les positions où deux couches de trames ou plus sont liées.

Les cellules (i, j) pour lesquelles il existe un point de liage en profondeur sont identifiées par les valeurs +1 ou -1 en sortie de la fonction suivante :

5

$$g(i, j) = \begin{cases} 0 & \text{si } 1 \leq P_2(i, j) \leq 2 \\ 1 & \text{si } P_2(i, j) > 2 \\ -1 & \text{si } P_2(i, j) < 1 \end{cases}$$

Les cellules (i, j) pour lesquelles $g(i, j) = 1$ sont repérées par un point L_{pd} (liage descendant) (figure 2). Les cellules (i, j) pour lesquelles $g(i, j) = -1$ sont repérés
10 par un point L_{pa} (liage ascendant) (figure 2).

Une fois ce repérage effectué, la fonction h définie ci-dessous permet de distinguer, parmi les points de croisements réels les points de croisement réels d'intérêt représentés par P₁ sur la figure 2.

Pour $1 \leq i \leq PCh$ et $1 \leq j \leq PTr$

$$15 \quad h\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right) = f\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right) \times \min(|g(i, j)| + |g(i - 1, j)| + |g(i, j - 1)| + |g(i - 1, j - 1)|, 1)$$

Les points de croisement réels d'intérêt sont ceux qui sont proches d'un liage en profondeur d'un fil de chaîne dans la texture fibreuse. En d'autres termes, chaque point de croisement réel d'intérêt P₁ correspond à un changement de position
20 relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne de la peau par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs, le fil de chaîne considéré de la peau étant situé au-dessus d'un fil de chaîne d'une couche de fils de chaîne sous-jacente à la couche de fil de chaîne de la peau liant au moins deux couches de fils de trame dans l'épaisseur de la texture fibreuse

25 Les points de croisement réels d'intérêt entre fils de chaîne et de trame de la peau sont ceux pour lesquels la fonction h vaut 1 ($h=0$ pour les autres). Il suffit pour cela d'examiner les quatre cellules adjacentes à chacun de ces points.

Le score « d'infiltrabilité multicouche », noté S_m peut être calculée avec la formule suivante :

$$S_m = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} h\left(i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}, \text{ si } \exists(i, j) \text{ tel que } P_1(i, j) \geq 2 \\ S_1 \text{ sinon} \end{array} \right\}$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

5 P_{Tr} est le nombre de plans de trame

h est une fonction d'identification de points de croisement réels d'intérêt

i est le plan de chaîne courant

j est le plan de trame courant

10 Le score d'infiltrabilité de l'armure de tissage représentée sur les figures 1A à 1R est égal à 0,22, obtenu sur la base du nombre de points P_1 présents sur la figure 2 divisé par le nombre maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse, soit 72/324. La texture fibreuse ayant l'armure de tissage définie sur les figures 1A à 1R présente un score d'infiltration insatisfaisant car il est inférieur à 0,67.

15 Le calcul d'un nombre de points de contact entre des fils de chaîne et des fils de trame permet d'évaluer la capacité de déformation (souplesse) et de foisonnement d'une texture fibreuse.

Le calcul du nombre de points de contact pour les fils de chaîne de la texture fibreuse débute par le calcul pour chaque fil de chaîne des couches de fils de chaîne de la texture fibreuse d'une valeur de points de contact en chaîne. Un point de contact correspond à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne dans un plan de chaîne de l'armure de tissage de la texture fibreuse. La valeur d'un point de contact en chaîne est déterminée en fonction du nombre de couches de fils de trame traversées par un fil de chaîne considéré correspondant à une profondeur du point de liage dans la ou les couches de fils de trame, le calcul étant répété pour chaque plan d'armure en chaîne. Comme illustré dans l'exemple de la figure 4, le fil de chaîne Ca comporte deux points de contact. On attribue une valeur égale à 1 au premier point de contact du fil de chaîne Ca à gauche sur la figure 4 puisque le fil Ca traverse ici une couche de fils de trame Ta. On attribue une valeur égale à 2 au deuxième point de contact

20

25

30

du fil de chaîne Ca à droite sur la figure 4 puisque le fil Ca traverse ici deux couches de fils de trame Ta et Tb. De même, le fil de chaîne Cb comporte deux points de contact auxquels on attribue respectivement une valeur égale à 1 (premier point de contact du fil de chaîne Cb à gauche sur la figure 4) puisque le fil Cb traverse ici une
5 couche de fils de trame Tb et une valeur égale à 2 (deuxième point de contact du fil de chaîne Cb à droite sur la figure 4) puisque le fil Cb traverse ici deux couches de fils de trame Tb et Tc. le fil de chaîne Ca comporte deux points de contact. On attribue une valeur égale à 1 à chacun des deux points de contact du fil de chaîne Cc puisque le fil Cc traverse ici deux fois une seule couche de fils de trame Tc.

- 10 Plus généralement, quand un fil de chaîne traverse n couches de fils de trame, cela correspond à un point de contact auquel la valeur n est attribuée.

Une valeur est attribuée à tous les points de contact identifiés pour les fils de chaîne de toutes les couches de fils de chaîne, c'est-à-dire pour chaque fil de chaîne présent dans chaque plan de chaîne de l'armure de tissage de la texture fibreuse.

- 15 Le calcul du nombre de points de contact comprend ensuite le calcul d'une valeur de points de contact en chaîne par centimètre. A cet effet, la contexture des fils de trame, correspondant au nombre de fils de trame par centimètre encore appelé « duitage au centimètre », est calculée afin d'obtenir un chiffrage du nombre de points de contacts par centimètre. Pour gérer les contextures, on calcule une
20 pondération moyenne du contact sur une couche et on multiplie par le nombre de fil par cm dans chaque direction.

On réalise également les étapes décrites ci-dessus pour les fils de trame de la texture fibreuse à savoir :

- Calcul pour chaque fil de trame des couches de fils de trame de la texture fibreuse
25 d'une valeur de points de contact en trame (un point de contact correspond à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de trame dans un plan de trame de l'armure de tissage de la texture fibreuse) selon la méthode décrite ci-avant pour les fils de chaîne,
- calcul d'une valeur de points de contact en trame par centimètre, la contexture des
30 fils de chaîne, correspondant au nombre de fils de chaîne par centimètre encore appelé « compte au centimètre », afin d'obtenir un chiffrage du nombre de points de contacts par centimètre.

On additionne ensuite les valeurs de points de contact en chaîne et en trame par centimètre calculées précédemment de manière à obtenir un nombre de points de contact dans la texture fibreuse.

Le calcul du nombre de points de contact dans une texture fibreuse peut être

5 obtenue avec la formule suivante :

$$N = Nch \times C \times \frac{D}{(Ptr \times Cch)} + Ntr \times D \times \frac{C}{(Pch \times Ctr)}$$

Avec :

10 *N* : Nombre de points de contact total

Nch : Nombre de points de contact en Chaîne par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

Ntr : Nombre de points de contact en Trame par plan (comptés selon le principe ci-dessus)

15 *C* = Compte (nombre de fils de chaîne par cm)

D = Duitage (Nombre de fils de trame par cm)

Pch = Nombre de plans en Chaîne

Ptr = Nombre de plans en Trame

Cch = Nombre de couches de Chaines

20 *Ctr* = Nombre de couches de trames

Sur la base de cette formule de calcul, il est donc possible de compter le nombre de points de contact sur de nouvelles armures, et ainsi d'estimer leur comportement en foisonnement et en déformabilité les unes par rapport aux autres.

25 Le nombre de points de contact calculé pour la texture fibreuse ayant l'armure de tissage définie sur les figures 1A à 1R est de 65, ce qui est satisfaisant car il est inférieur à 80.

Ainsi, l'armure de tissage définie sur les figures 1A à 1R n'est pas retenue pour réaliser une texture fibreuse selon l'invention en raison d'un score d'infiltrabilité

30 inférieur à 0,67 qui ne permet pas d'assurer une bonne infiltration chimique en phase

gazeuse à cœur entraînant des gradients de dépôt de matrice trop importants entre la surface externe et le cœur de la texture.

Le tableau ci-dessous présente les scores d'infiltrabilité et le nombre de points de contact calculés suivant les méthodes détaillées ci-avant pour les armures connues

- 5 3D interlock, avec et sans peau 2D, et les armures connues multicouches multi-toile, multi-satin et multi sergé :

Type armure	Score d'infiltrabilité	Nombre de points de contact
Multi-toile	0,4 (S_m)	152
Multi-satin	0,19 (S_m)	34
Interlock	0,5 (S_l)	90
Interlock + peau de surface	0,25 (S_m)	90
Multi-sergé	0,67 (S_m)	115

- On constate que chacune des armures connues listées ci-dessus présente au moins un score d'infiltrabilité inférieur à 0,67 ou un nombre de points de contact supérieur à
- 10 80. En d'autres termes, aucune des armures 3D ou multicouches connues ne satisfait le compromis entre infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement défini par la présente invention.

- On présente maintenant des exemples d'armures de tissage pour textures fibreuses de renfort de pièces en matériau composite qui satisfont le compromis entre
- 15 infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement défini par la présente invention, à savoir des armures présentant un score d'infiltrabilité armure supérieur ou égal à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, plus préférentiellement inférieur à 70.

- Les figures 5A à 5F représentent six plans de chaîne successifs CH1 à CH6 d'une
- 20 armure de tissage d'une texture fibreuse 20 obtenue par tissage tridimensionnel présent sur des surfaces externes 20a et 20b de la texture fibreuse. Le motif représentatif de l'armure de la texture fibreuse 10 est défini sur six plans de chaîne et de trame. La structure fibreuse 20 comprend dix couches de fils de chaîne C_1 à C_{10} et dix couches de fils de trame T_1 à T_{10} .

- 25 L'armure de tissage définie sur les figures 5A à 5F est constitué d'un tissage 3D présent directement sur les surfaces externes de la texture fibreuse, c'est-à-dire avec par exemple les fils de chaîne C_{11} à C_{16} de la première couche de fils de

chaîne C₁ qui lie déjà en profondeur au moins deux couches de fils de trame à la surface externe 20a de la texture fibreuse 20. Comme expliqué ci-avant, le score d'infiltrabilité de la texture fibreuse 20 correspond donc au score d'infiltrabilité armure simple calculé avec la formule suivante :

$$5 \quad S_1 = \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} f\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}},$$

La texture fibreuse 20 présente un score d'infiltrabilité de 0,67 qui est équivalent au score d'infiltrabilité d'une armure multi-sergé. En revanche, la texture fibreuse 20 a un nombre de points de contact égal à 63 bien inférieur au nombre de points de contact égale à 115 pour l'armure multi-sergé et surtout inférieur à 80 correspondant
10 au nombre de points de contact maximum défini dans la présente invention.

Les figures 6A à 6L représentent douze plans de chaîne successifs CH1 à CH12 d'une armure de tissage d'une texture fibreuse 30 obtenue par tissage 3D à cœur 32 et tissage bidimensionnel en peau 34, 36. Le motif représentatif de l'armure de la texture fibreuse 30 est défini sur douze plans de chaîne et de trame. La structure
15 fibreuse 30 comprend dix couches de fils de chaîne C₁ à C₁₀ et dix couches de fils de trame T₁ à T₁₀.

Comme expliqué ci-avant, le score d'infiltrabilité de la texture fibreuse 30 correspond donc au score d'infiltrabilité multicouche S_m calculée avec la formule suivante :

$$S_m = \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} h\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}, \text{ si } \nexists(i, j) \text{ tel que } P_1(i, j) \geq 2 \\ S_1 \text{ sinon} \end{array} \right\}$$

20 La texture fibreuse 30 présente un score d'infiltrabilité de 0,33 et un nombre de points de contact égal à 77. L'armure de tissage de la texture fibreuse 30 remplit donc les conditions pour proposer un bon compromis selon l'invention entre infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement.

Les figures 7A à 7H représentent huit plans de chaîne successifs CH1 à CH8 d'une
25 armure de tissage d'une texture fibreuse 40 obtenue par tissage tridimensionnel présent sur des surfaces externes 40a et 40b de la texture fibreuse. Le motif représentatif de l'armure de la texture fibreuse 40 est défini sur huit plans de chaîne et de trame. La structure fibreuse 40 comprend dix couches de fils de chaîne C₁ à C₁₀ et onze couches de fils de trame T₁ à T₁₁.

L'armure de tissage définie sur les figures 7A à 7H est constitué d'un tissage 3D présent directement sur les surfaces externes de la texture fibreuse, c'est-à-dire avec par exemple les fils de chaîne C₁₁ à C₁₈ de la première couche de fils de chaîne C₁ qui lie déjà en profondeur au moins deux couches de fils de trame à la surface externe 40a de la texture fibreuse 40. Comme expliqué ci-avant, le score d'infiltrabilité de la texture fibreuse 40 correspond donc au score d'infiltrabilité armure simple calculé avec la formule suivante :

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} f\left(i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}},$$

La texture fibreuse 40 présente un score d'infiltrabilité de 0,5. La texture fibreuse 40 a en outre un nombre de points de contact égal à 61 inférieur à 80 correspondant au nombre de points de contact maximum défini dans la présente invention. L'armure de tissage de la texture fibreuse 40 remplit donc les conditions pour proposer un bon compromis selon l'invention entre infiltrabilité et capacité de déformation et de foisonnement.

La nature chimique des fils est choisie en fonction de l'application envisagée. Ainsi, dans le cas d'une pièce en matériau composite thermostructural à renfort de fibres réfractaires, on pourra utiliser une structure fibreuse avec des fibres carbone et/ou des fibres en céramique, par exemple en carbure de silicium (SiC), la texture fibreuse étant densifiée par une matrice au moins partiellement formée par infiltration chimique en phase vapeur.

Revendications

[Revendication 1] Texture fibreuse (30) de renfort pour une pièce en matériau composite, la texture fibreuse présentant un tissage tridimensionnel ou multicouche (32) entre des couches de fils de chaîne (C_1 , C_{10}) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame (T_1 - T_{10}) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse (30), la texture fibreuse comprenant en outre sur une de ses surfaces externes une peau (36) présentant un tissage bidimensionnel et recouvrant le tissage tridimensionnel ou multicouche, la texture fibreuse présentant une armure de tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne (CH1-CH12) et sur une pluralité de plans de trame, caractérisée en ce que l'armure de tissage présente un score d'infiltrabilité armure complexe supérieur ou égale à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, le score d'infiltrabilité armure complexe de la texture fibreuse correspondant au ratio entre un nombre de points de croisement réels d'intérêt (P_1) entre des fils de chaîne et des fils de trame de la peau (36) de la texture fibreuse (30) et un nombre maximum de points de croisement théoriques sur ladite peau, chaque point de croisement réel d'intérêt (P_1) correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne de la peau par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs, ledit fil de chaîne de la peau étant situé au-dessus d'un fil de chaîne d'une couche de fils de chaîne sous-jacente à la couche de fil de chaîne de la peau liant au moins deux couches de fils de trame dans l'épaisseur de la texture fibreuse, le nombre de points de contact correspondant à la somme de valeurs de points de contact en chaîne par centimètre déterminées pour chaque point de contact en chaîne et de valeurs de points de contact en trame par centimètre déterminées pour chaque point de contact en trame, un point de contact en chaîne, respectivement un point de contact en trame, correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne, respectivement d'un fil de trame, dans un plan de

chaîne, respectivement dans un plan de trame, de l'armure de tissage de la texture fibreuse.

[Revendication 2] Texture selon la revendication 1, dans laquelle le score d'infiltrabilité armure complexe S_m correspond à la formule suivante:

$$S_m = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} h \left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2} \right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}, \text{ si } \exists (i, j) \text{ tel que } P_1(i, j) \geq 2 \right\}$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

P_{Tr} est le nombre de plans de trame

h est une fonction d'identification de points de croisement réels d'intérêt

i est le plan de chaîne courant

10 j est le plan de trame courant

[Revendication 3] Texture selon la revendication 1 ou 2, dans laquelle le nombre de points de contact N correspond à la formule suivante :

$$N = N_{ch} \times C \times \frac{D}{(P_{tr} \times C_{ch})} + N_{tr} \times D \times \frac{C}{(P_{ch} \times C_{tr})}$$

Avec :

15 N : Nombre de points de contact total

N_{ch} : Nombre de points de contact en Chaîne par plan

N_{tr} : Nombre de points de contact en Trame par plan

C = Compte (nombre de fils de chaîne par cm)

D = Duitage (Nombre de fils de trame par cm)

20 P_{ch} = Nombre de plans en Chaîne

P_{tr} = Nombre de plans en Trame

C_{ch} = Nombre de couches de Chaines

C_{tr} = Nombre de couches de trames

[Revendication 4] Texture fibreuse (20) de renfort pour une pièce en

25 matériau composite, la texture fibreuse comprenant un tissage tridimensionnel ou multicouche entre des couches de fils de chaîne (C_1 - C_{10}) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse et des couches de fils de trame (T_1 - T_{10}) juxtaposées dans l'épaisseur de la texture fibreuse, le tissage tridimensionnel ou multicouche étant présent sur des surfaces externes (20a,

20b) de la texture fibreuse (20), la texture fibreuse présentant une armure de tissage déterminée sur une pluralité de plans de chaîne (CH₁-CH₆) et sur une pluralité de plans de trame, caractérisée en ce l'armure de tissage présente un score d'infiltrabilité armure simple supérieur ou égale à 0,67 et un nombre de points de contact inférieur à 80, le score d'infiltrabilité armure simple de la texture fibreuse correspondant au ratio entre un nombre de points de croisement réels (P₁, P₂) entre des fils de chaîne de la couche de fil de chaîne présente sur une surface externe (20a) de la texture fibreuse (20) et des fils de trame de couches de fils de trame et un nombre maximum de points de croisement théoriques sur la surface externe de la texture fibreuse, chaque point de croisement réel (P₁, P₂) correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne par rapport à un fil de trame entre deux plans de chaîne successifs, le nombre de points de contact correspondant à la somme de valeurs de points de contact en chaîne par centimètre déterminées pour chaque point de contact en chaîne et de valeurs de points de contact en trame par centimètre déterminées pour chaque point de contact en trame, un point de contact en chaîne, respectivement un point de contact en trame, correspondant à un changement de position relative dans le sens de l'épaisseur de la texture fibreuse d'un fil de chaîne, respectivement d'un fil de trame, dans un plan de chaîne, respectivement dans un plan de trame, de l'armure de tissage de la texture fibreuse.

[Revendication 5] Texture selon la revendication 4, dans laquelle le score d'infiltrabilité armure simple S₁ correspond à la formule suivante:

$$S_1 = \frac{\sum_{i=1}^{P_{Ch}} \sum_{j=1}^{P_{Tr}} f\left(i - \frac{1}{2}, j - \frac{1}{2}\right)}{P_{Ch} \times P_{Tr}}$$

où P_{Ch} est le nombre de plans de chaîne

P_{Tr} est le nombre de plans de trame

f est une fonction d'identification de points de croisement réels

i est le plan de chaîne courant

j est le plan de trame courant

[Revendication 6] Texture selon la revendication 4 ou 5, dans laquelle le nombre de points de contact N correspond à la formule suivante :

$$N = N_{ch} \times C \times \frac{D}{(P_{tr} \times C_{ch})} + N_{tr} \times D \times \frac{C}{(P_{ch} \times C_{tr})}$$

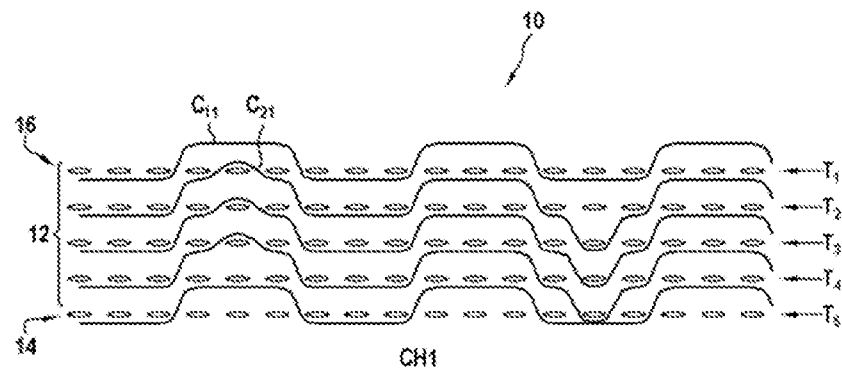
Avec :

- 5 N : Nombre de points de contact total
 N_{ch} : Nombre de points de contact en Chaîne par plan
 N_{tr} : Nombre de points de contact en Trame par plan
 C = Compte (nombre de fils de chaîne par cm)
 D = Duitage (Nombre de fils de trame par cm)
10 P_{ch} = Nombre de plans en Chaîne
 P_{tr} = Nombre de plans en Trame
 C_{ch} = Nombre de couches de Chaines
 C_{tr} = Nombre de couches de trames.

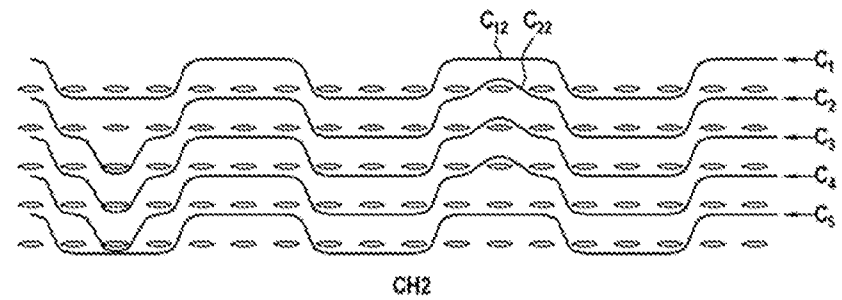
15 [Revendication 7] Pièce en matériau composite ayant une texture fibreuse de renfort selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 densifiée par une matrice au moins partiellement formée par infiltration chimique en phase vapeur.

[Revendication 8] Pièce selon la revendication 7, dans laquelle la texture fibreuse de renfort comprend des fils en céramique ou en carbone.

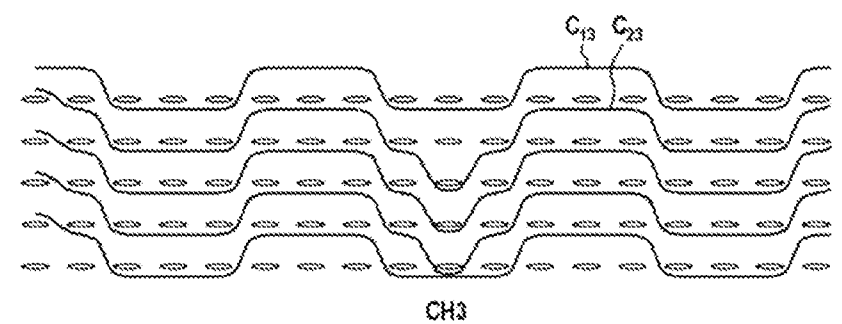
[Fig. 1A]



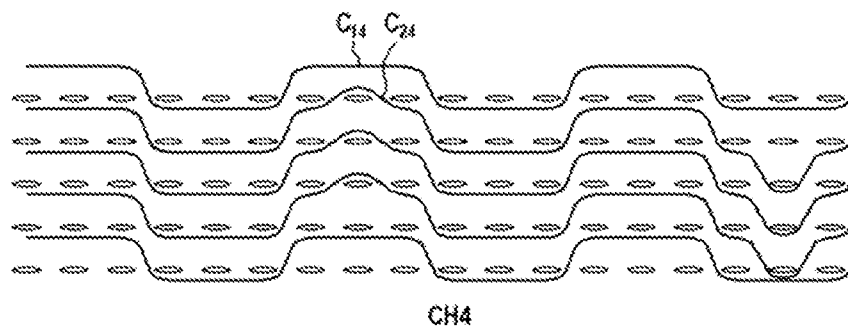
[Fig. 1B]



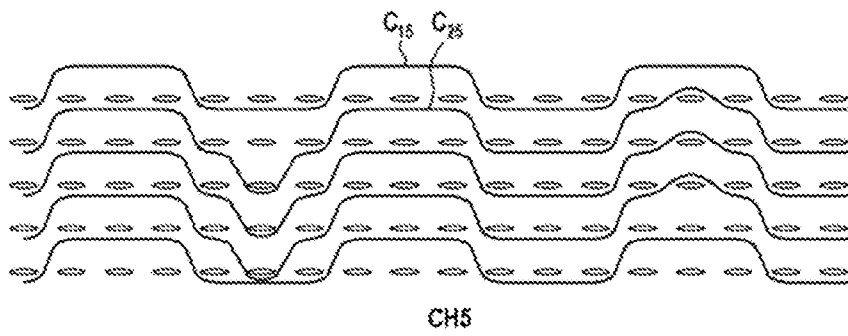
[Fig. 1C]



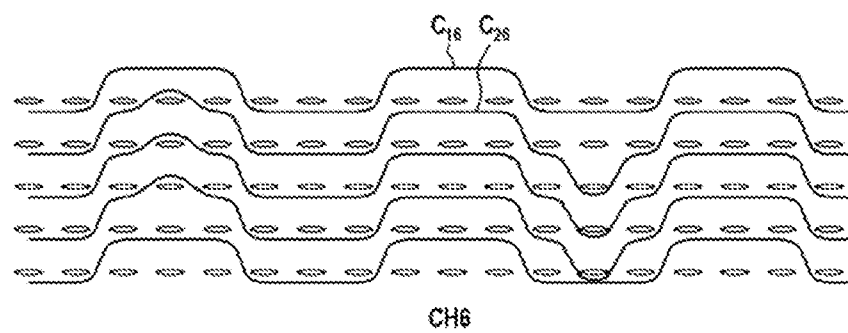
[Fig. 1D]



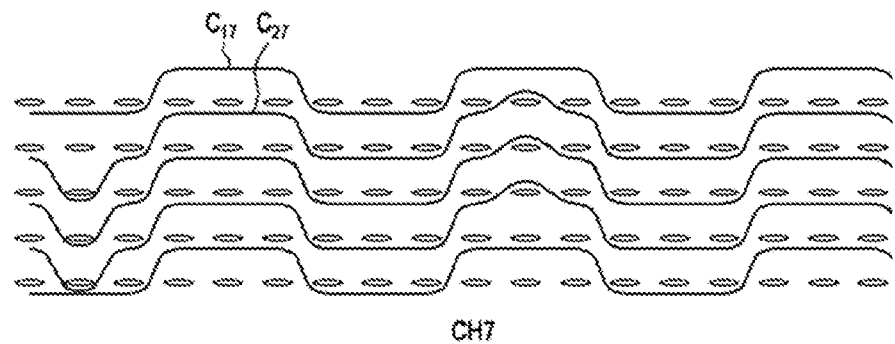
[Fig. 1E]



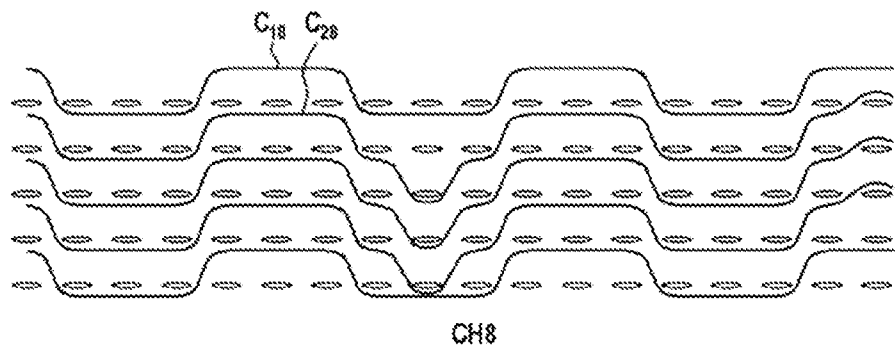
[Fig. 1F]



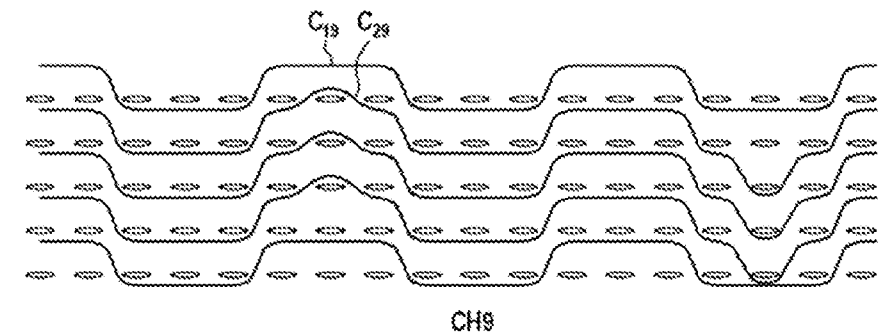
[Fig. 1G]



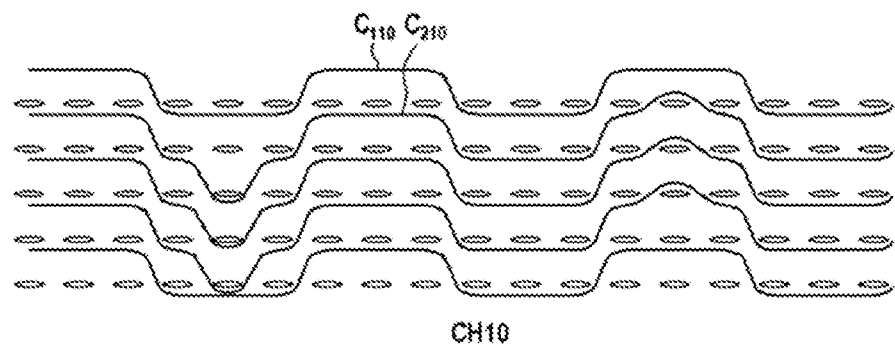
[Fig. 1H]



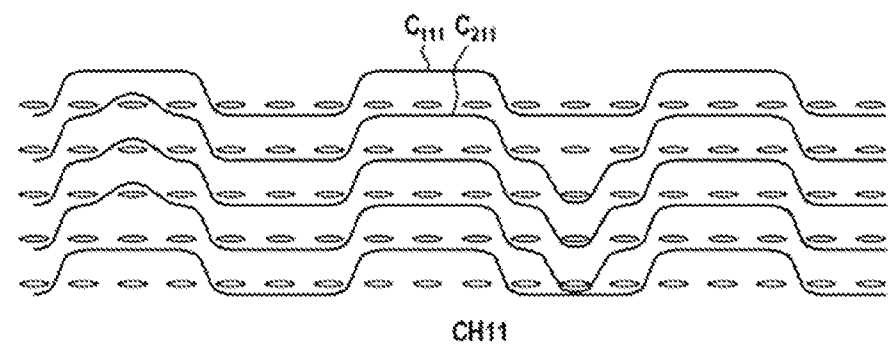
[Fig. 1I]



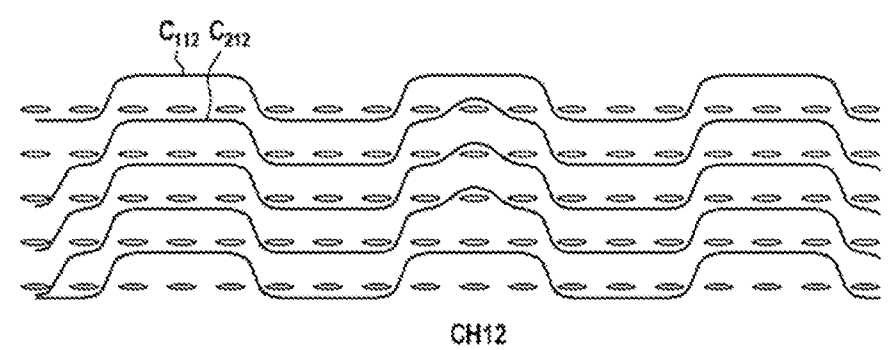
[Fig. 1J]



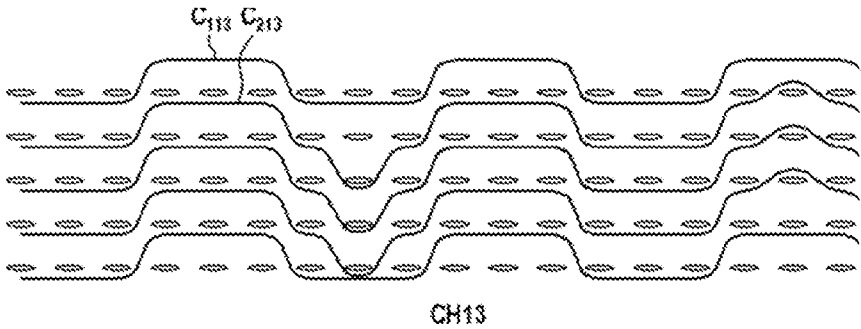
[Fig. 1K]



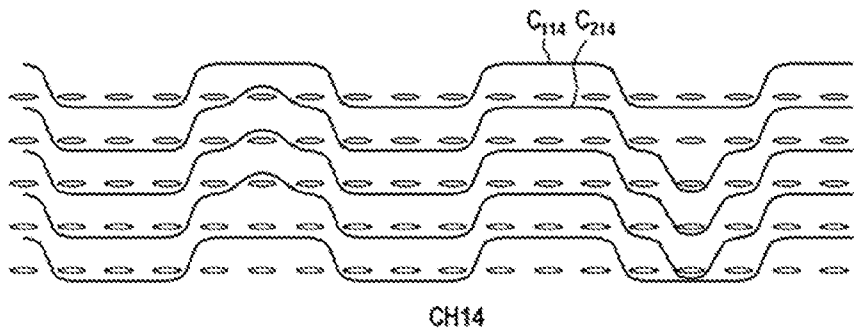
[Fig. 1L]



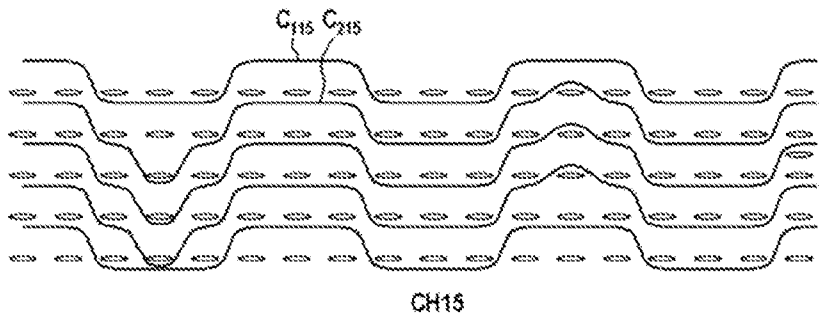
[Fig. 1M]



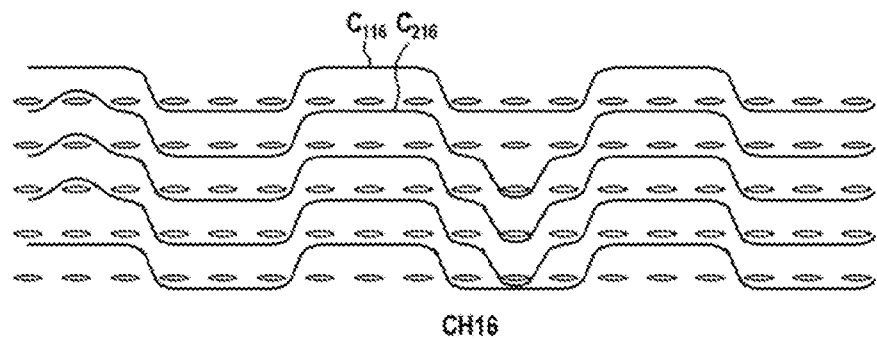
[Fig. 1N]



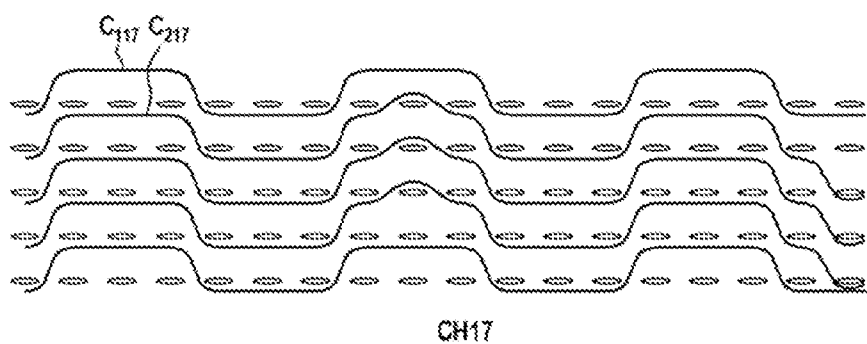
[Fig. 1O]



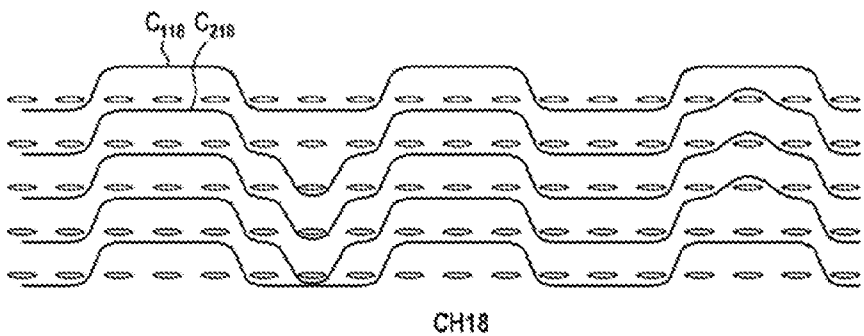
[Fig. 1P]



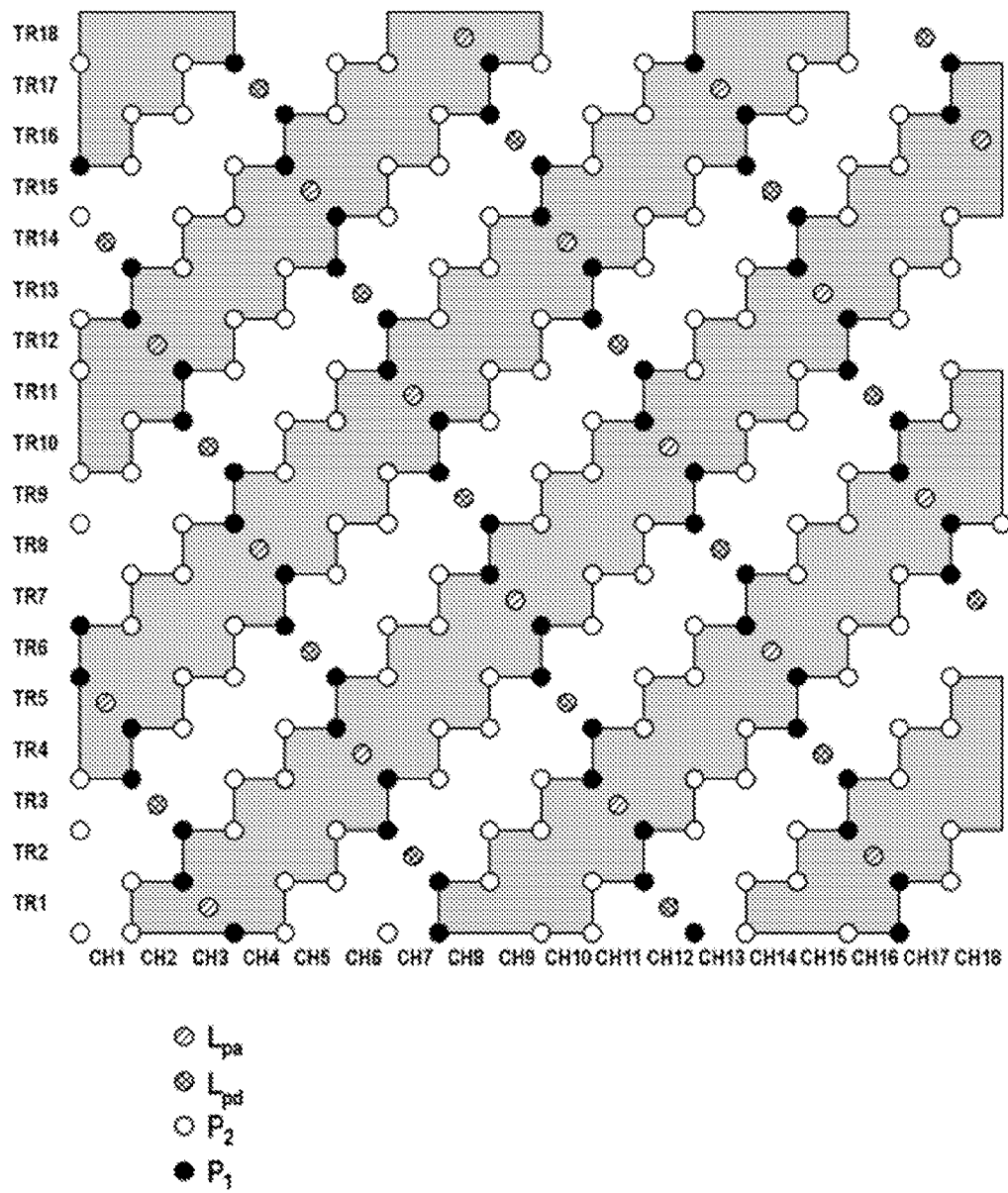
[Fig. 1Q]



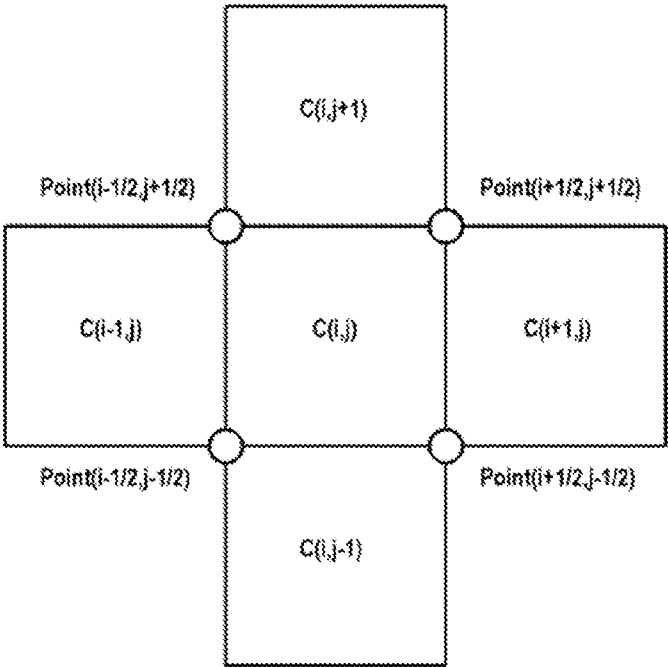
[Fig. 1R]



[Fig. 2]



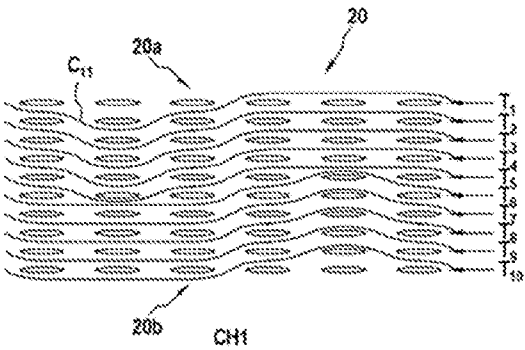
[Fig. 3]



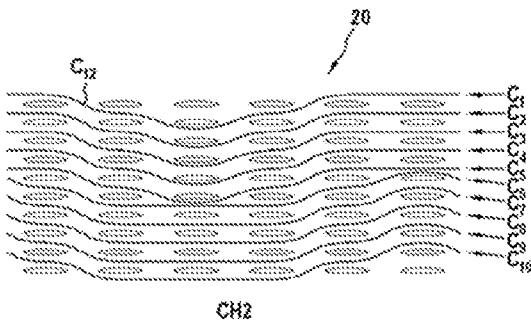
[Fig. 4]



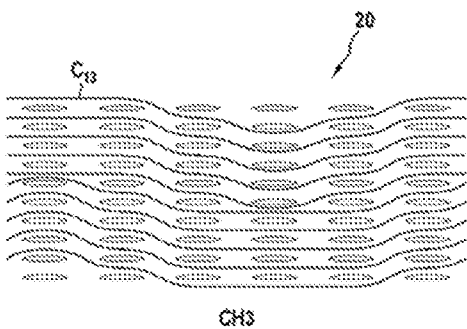
[Fig. 5A]



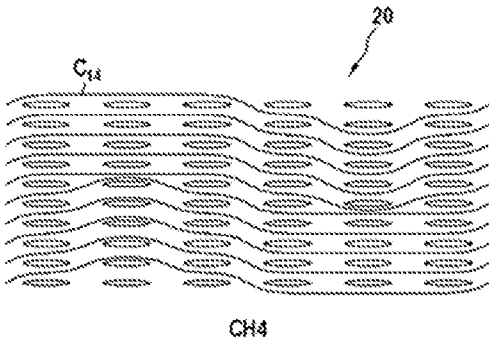
[Fig. 5B]



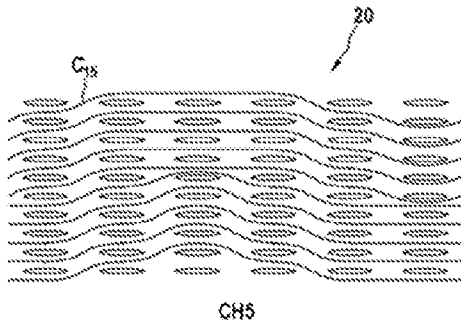
[Fig. 5C]



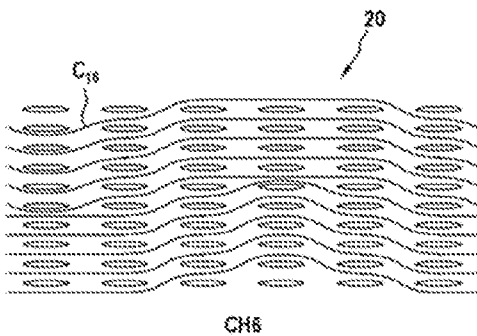
[Fig. 5D]



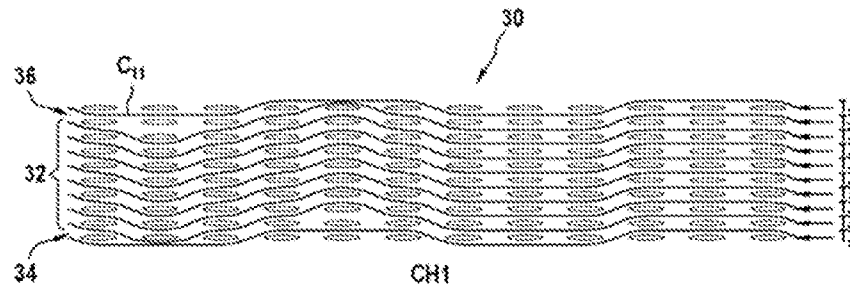
[Fig. 5E]



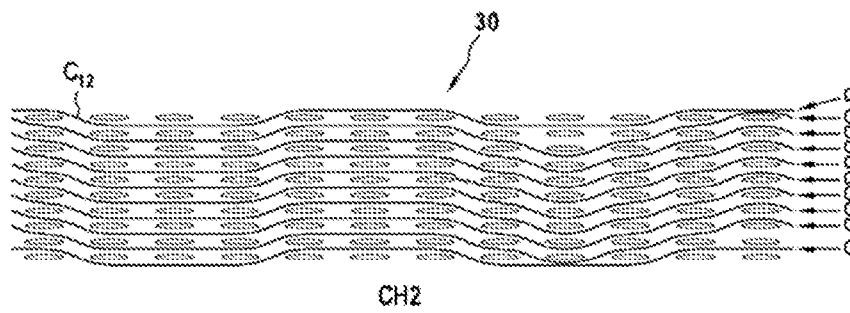
[Fig. 5F]



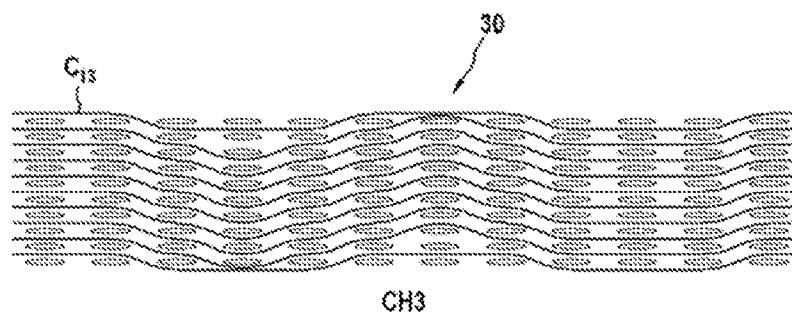
[Fig. 6A]



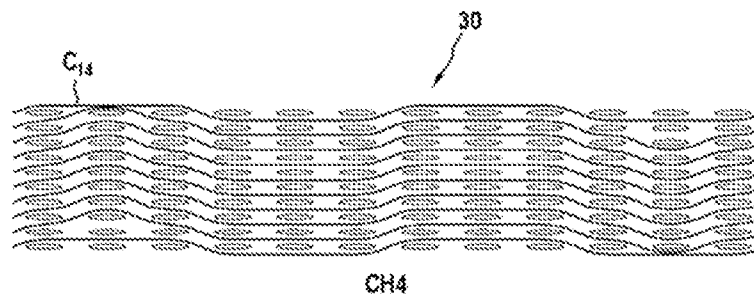
[Fig. 6B]



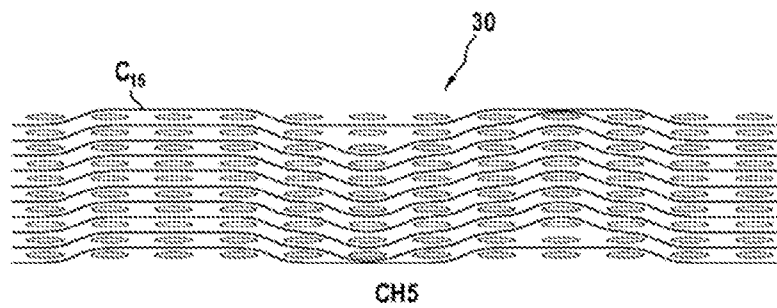
[Fig. 6C]



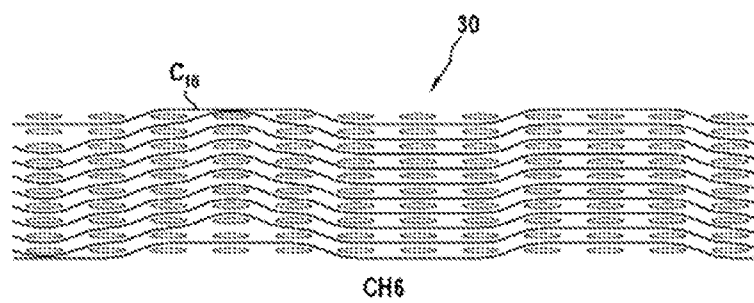
[Fig. 6D]



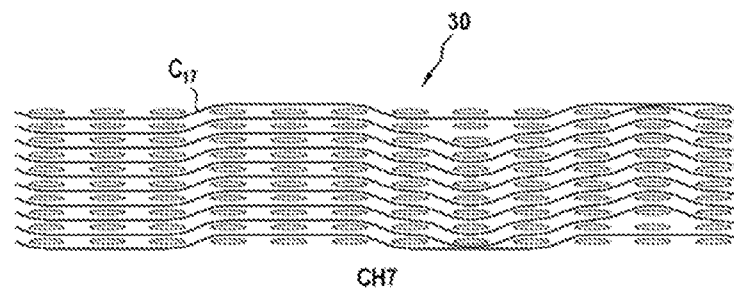
[Fig. 6E]



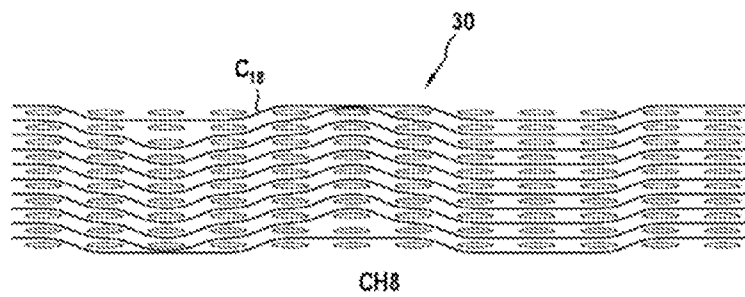
[Fig. 6F]



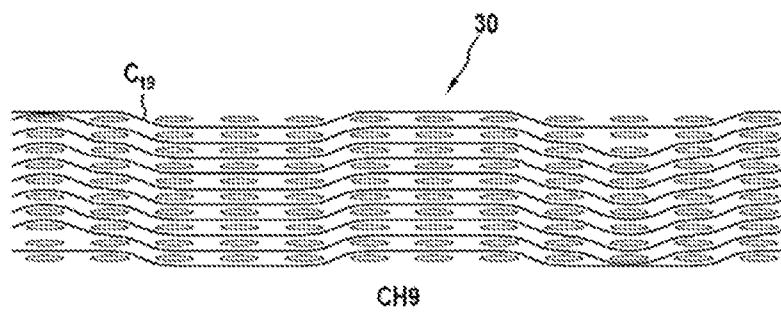
[Fig. 6G]



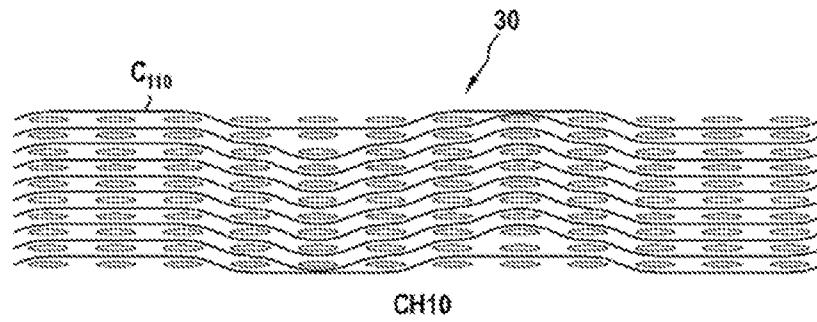
[Fig. 6H]



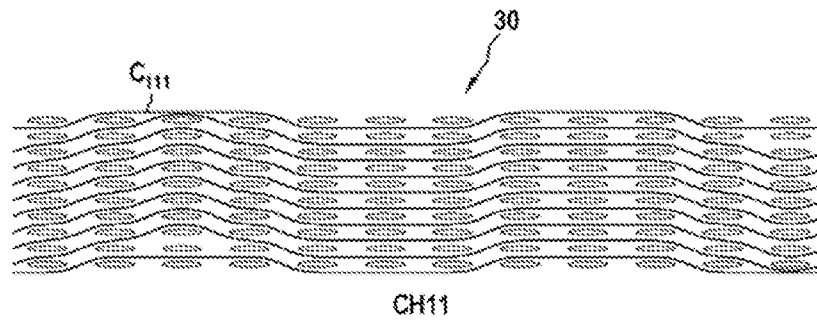
[Fig. 6I]



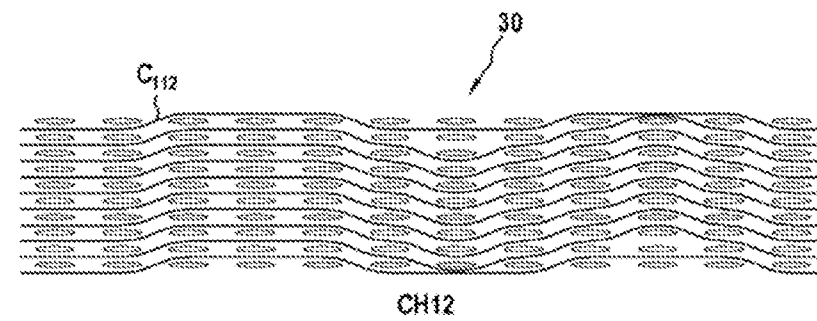
[Fig. 6J]



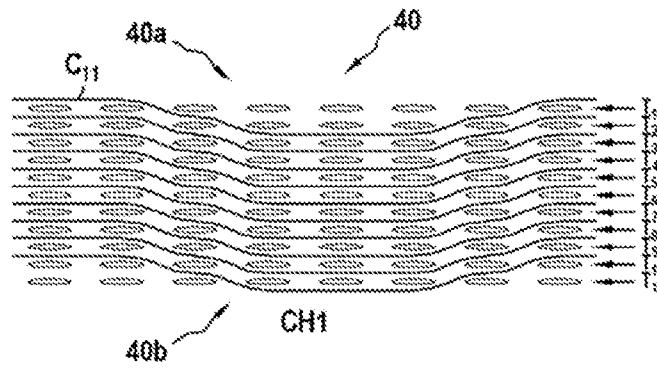
[Fig. 6K]



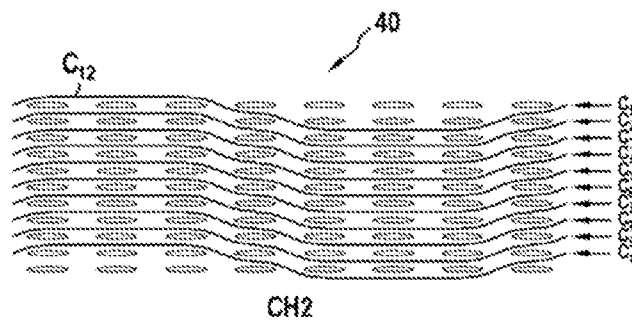
[Fig. 6L]



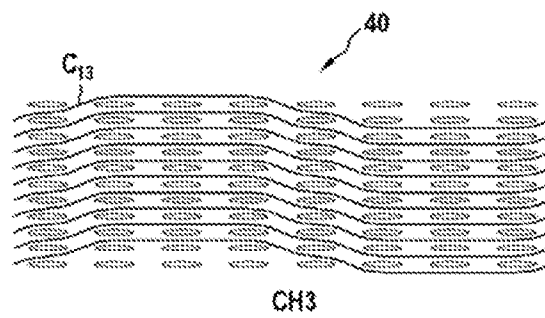
[Fig. 7A]



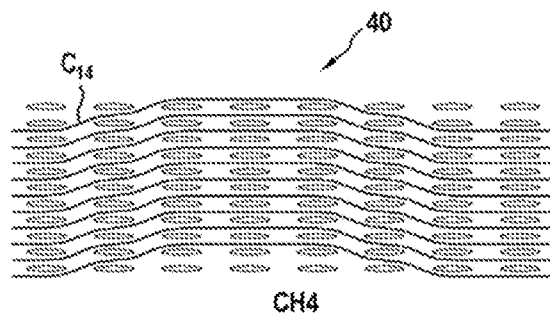
[Fig. 7B]



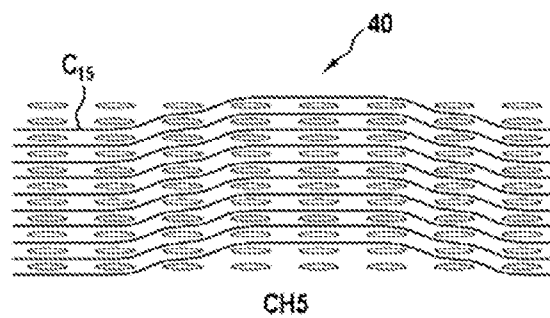
[Fig. 7C]



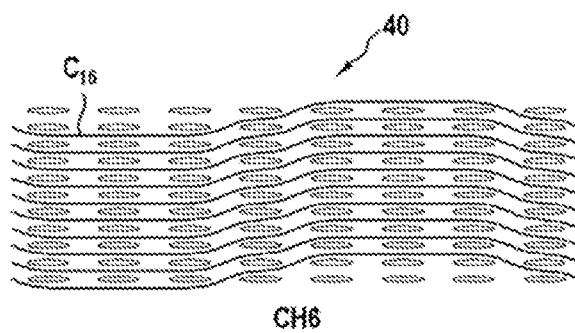
[Fig. 7D]



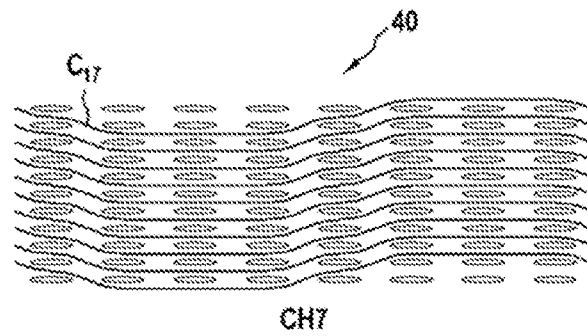
[Fig. 7E]



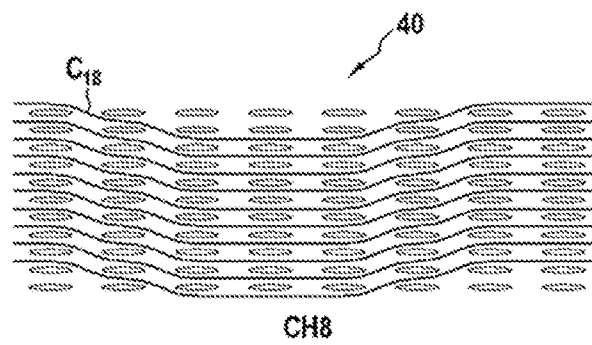
[Fig. 7F]



[Fig. 7G]



[Fig. 7H]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2024/051754

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>D03D 1/00</i> (2006.01)i; <i>D03D 11/00</i> (2006.01)i; <i>D03D 13/00</i> (2006.01)i; <i>D03D 25/00</i> (2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) D03D Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 2032751 B1 (SNECMA PROPULSION SOLIDE [FR]) 03 March 2010 (2010-03-03) cited in the application paragraph [0035] - paragraph [0069] figures 2-5	1-8
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 01 April 2025		Date of mailing of the international search report 09 April 2025
Name and mailing address of the ISA/EP European Patent Office p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk Netherlands (Kingdom of the) Telephone No. (+31-70)340-2040 Facsimile No. (+31-70)340-3016		Authorized officer Hausding, Jan Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/FR2024/051754

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
EP	2032751	B1	03 March 2010	BR	PI0715595	A2	18 June 2013
				CA	2655626	A1	27 December 2007
				CN	101473078	A	01 July 2009
				EP	2032751	A1	11 March 2009
				FR	2902803	A1	28 December 2007
				JP	5118134	B2	16 January 2013
				JP	2009541603	A	26 November 2009
				KR	20090024263	A	06 March 2009
				NO	338144	B1	01 August 2016
				RU	2009101080	A	27 July 2010
				UA	92800	C2	10 December 2010
				US	2009186547	A1	23 July 2009
				WO	2007148019	A1	27 December 2007

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. D03D1/00 D03D11/00 D03D13/00 D03D25/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE		
Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) D03D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 2 032 751 B1 (SNECMA PROPULSION SOLIDE [FR]) 3 mars 2010 (2010-03-03) cité dans la demande alinéa [0035] - alinéa [0069] figures 2-5 -----	1 - 8
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent;; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 1 avril 2025		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 09/04/2025
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Hausding, Jan

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2024/051754

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 2032751	B1	03-03-2010	
		BR PI0715595 A2	18-06-2013
		CA 2655626 A1	27-12-2007
		CN 101473078 A	01-07-2009
		EP 2032751 A1	11-03-2009
		FR 2902803 A1	28-12-2007
		JP 5118134 B2	16-01-2013
		JP 2009541603 A	26-11-2009
		KR 20090024263 A	06-03-2009
		NO 338144 B1	01-08-2016
		RU 2009101080 A	27-07-2010
		UA 92800 C2	10-12-2010
		US 2009186547 A1	23-07-2009
		WO 2007148019 A1	27-12-2007
