(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
29 juin 2017 (29.06.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/108953 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B29C 70/44 (2006.01) *B29C 33/40* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2016/082187

(22) Date de dépôt international :
21 décembre 2016 (21.12.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1563305 24 décembre 2015 (24.12.2015) FR

(71) Déposant : **RATIER FIGEAC** [FR/FR]; Avenue Ratier, 46100 Figeac (FR).

(72) Inventeur : **BRION, Patrice**; La Malayrie, 46100 Lunan (FR).

(74) Mandataire : **CABINET BARRE LAFORGUE**; 35 rue Lancefoc, 31000 Toulouse (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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible)* : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (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, 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 :

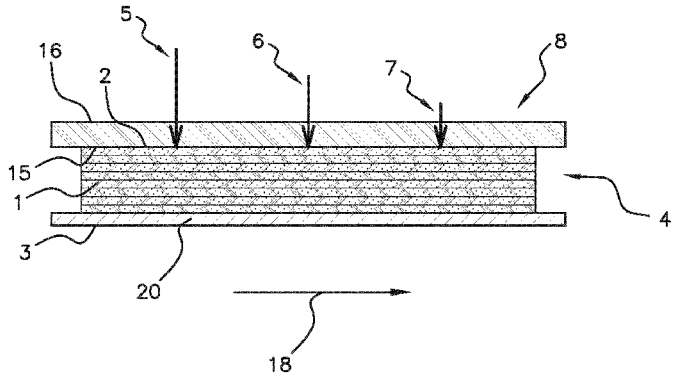
— *avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))*

— *avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h))*

(54) **Title** : PROCESS AND DEVICE FOR MANUFACTURING A COMPOSITE PART ENABLING THE EVACUATION OF GAS FROM THE COMPOSITE PART

(54) **Titre** : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR LA FABRICATION D'UNE PIÈCE COMPOSITE PERMETTANT L'ÉVACUATION DE GAZ HORS DE LA PIÈCE COMPOSITE

Fig 1



(57) **Abstract** : The invention relates to a process for manufacturing a part, referred to as a composite part, formed from at least one composite material comprising at least one layer of a reinforcing structure impregnated with a polymer matrix within which the reinforcing structure extends, in which: - a composite blank (1) of said composite part is prepared, - a step of curing the polymer matrix of said composite blank is carried out, while exerting pressure on at least one pressed face (2) of said composite blank, characterized in that said pressure is exerted, in the form of a pressure gradient, applied to said pressed face of said composite blank, so as to make the gas present within the composite part flow from a zone of maximum pressurization to a gas evacuation zone (4). The invention also relates to a device for manufacturing such a part.

(57) **Abrégé** :

[Suite sur la page suivante]

WO 2017/108953 A1

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce, dite pièce composite, formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice polymère au sein de laquelle s'étend la structure de renfort, dans lequel : - on prépare une avant-pièce (1) composite de ladite pièce composite, - on réalise une étape de durcissement de la matrice polymère de ladite avant-pièce composite, en exerçant une pression sur au moins une face pressée (2) de ladite avant-pièce composite, caractérisé en ce qu'on exerce ladite pression, sous la forme d'un gradient de pression, appliquée sur ladite face pressée de ladite avant-pièce composite, de façon à faire circuler le gaz présent au sein de la pièce composite depuis une zone de pressurisation maximale jusqu'à une zone (4) d'évacuation de gaz. L'invention concerne également un dispositif pour la fabrication d'une telle pièce.

PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR LA FABRICATION D'UNE PIÈCE COMPOSITE PERMETTANT L'ÉVACUATION DE GAZ HORS DE LA PIÈCE COMPOSITE

L'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce composite ainsi qu'un dispositif pour la fabrication d'une telle pièce.

Les matériaux composites à matrice polymère sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines techniques et industriels, et notamment dans le domaine de l'aéronautique puisqu'ils présentent d'excellentes propriétés mécaniques pour une masse limitée. Ils peuvent être utilisés pour la réalisation d'outillages comme pour la réalisation de pièces structurales.

De nombreux procédés existent pour la préparation, le moulage et la polymérisation de pièces composites en petites séries comme en grandes séries. Ces procédés impliquent généralement l'utilisation de pressions supérieures à la pression atmosphérique. La plupart des procédés de préparation de pièces composites dans lesquels une étape est réalisée dans un autoclave, impliquent également l'utilisation d'un sac à vide disposé autour de la pièce préparée et placé avec la pièce, dans l'autoclave, afin d'obtenir un taux de fibres prédéterminé dans la pièce, de contrôler la géométrie de la pièce et d'évacuer par des évents les gaz présents au sein de la pièce.

La disposition d'évents dans les dispositifs connus de fabrication de pièces composites est très complexe à modéliser et à réaliser. D'autre part, la disposition de nombreux évents dans une même pièce alourdit les tâches effectuées par les opérateurs de la fabrication d'une pièce composite et rend plus difficile la mise en forme sous pression de la pièce composite.

US 3 128 322 décrit un procédé de moulage d'une pièce composite dans lequel un sac gonflable flexible est progressivement mis en contact avec la pièce composite afin de permettre une distribution uniforme de la résine et d'éviter les bulles d'air dans la pièce. Le sac gonflable est d'abord porté au contact du sommet d'une surface concave d'une pièce et progressivement déplacé de façon à ce que la zone de la pièce sur laquelle est appliquée la pression s'étende

progressivement radialement dans toutes les directions à partir du sommet de la pièce composite.

EP 2 762 297 décrit un procédé de fabrication d'une pièce composite par injection d'une résine sous vide dans un moule dans lequel sont prédisposés des renforts sous forme de fibres. Le procédé et le dispositif de fabrication d'une telle pièce comprennent un dispositif de distribution de la résine, disposé sous un feuillet à vide, formé d'une couche en matériau déformable dont l'épaisseur varie avec l'avancée du front de résine injectée, de façon à soulever le feuillet à vide et permettre une meilleure circulation de la résine. EP 2 762 297 ne décrit pas l'application d'une pression sur ladite pièce composite fabriquée. En outre, les procédés connus ne permettent pas d'évacuer de manière suffisamment efficace les bulles d'air susceptibles d'être présentes au sein de la pièce composite préparée. En particulier, l'utilisation d'un sac à vide et/ou d'évents disposés dans différentes zones de la pièce composite ne permet pas de s'assurer de l'évacuation de toute bulle de gaz présente dans le matériau et qui risquerait de créer des zones d'hétérogénéité et de diminuer sensiblement les propriétés mécaniques de la pièce composite ainsi préparée.

L'invention vise à pallier ces inconvénients. Elle vise en particulier à proposer un dispositif et un procédé pour la préparation d'une pièce composite permettant de pallier les problèmes liés à la présence de bulles de gaz dans l'épaisseur des matériaux formant les pièces composites.

L'invention vise à proposer un procédé et un dispositif simples, fiables et sans surcoût par rapport aux procédés et aux dispositifs connus.

L'invention vise également à proposer un procédé dont la mise en œuvre est rapide, tout en étant compatible avec les durées de durcissement des matrices polymères susceptibles d'être utilisées dans les pièces composites.

Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de fabrication d'une pièce, dite pièce composite, formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice polymère au sein de laquelle s'étend la structure de renfort, dans lequel :

- on prépare une avant-pièce, dite avant-pièce composite, de ladite pièce composite, ladite avant-pièce composite présentant au moins un état, dit état non-durci, dans lequel la matrice polymère est au moins en partie non solidifiée,
- on réalise une étape de durcissement de la matrice polymère de ladite avant-pièce composite,
- au cours d'au moins une partie de ladite étape de durcissement, on exerce une pression sur au moins une face, dite face pressée, de ladite avant-pièce composite,

caractérisé en ce que :

- on exerce ladite pression sous la forme d'un gradient de pression (non nul), ladite pression étant appliquée sur ladite face pressée de ladite avant-pièce composite entre au moins une première zone, dite zone de pressurisation maximale, de ladite face pressée, et au moins une deuxième zone, dite zone d'évacuation de gaz, de ladite face pressée, ladite zone de pressurisation maximale étant différente de ladite zone d'évacuation de gaz et ledit gradient de pression étant orienté vers ladite zone de pressurisation maximale, de façon à faire circuler tout gaz présent au sein de la pièce composite depuis ladite zone de pressurisation maximale jusqu'à ladite zone d'évacuation de gaz,
- on applique ledit gradient de pression à l'aide d'au moins un organe, dit organe de pressurisation, appliqué au contact de ladite zone de pressurisation maximale et de ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite.

L'invention s'étend à un dispositif pour la fabrication d'une pièce composite selon un procédé selon l'invention. L'invention s'étend donc à un dispositif pour la fabrication d'une pièce, dite pièce composite, formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice au sein de laquelle s'étend la structure de renfort, ledit dispositif comprenant :

- une avant-pièce, dite avant-pièce composite, de ladite pièce composite, ladite avant-pièce composite présentant au moins un état, dit état non-durci, dans lequel la matrice polymère est au moins en partie non solidifiée, ladite

avant-pièce composite présentant au moins une face, dite face pressée, de ladite avant-pièce composite, sur laquelle une pression est exercée,

caractérisé en ce qu'il comprend au moins un organe de pressurisation de ladite avant-pièce composite, ledit organe de pressurisation étant adapté pour pouvoir exercer ladite pression sous la forme d'un gradient de pression, ladite pression étant appliquée sur ladite face pressée de ladite avant-pièce composite entre au moins une première zone, dite zone de pressurisation maximale, de ladite face pressée, et au moins une deuxième zone, dite zone d'évacuation de gaz, de ladite face pressée, ladite zone de pressurisation maximale étant différente de ladite zone d'évacuation de gaz, ledit organe de pressurisation étant appliqué au contact de ladite zone de pressurisation maximale et au contact de ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite et ledit gradient de pression étant orienté vers ladite zone de pressurisation maximale, de façon à faire circuler tout gaz présent au sein de la pièce composite depuis ladite zone de pressurisation maximale jusqu'à ladite zone d'évacuation de gaz. La pression appliquée au niveau de la zone de pressurisation maximale est donc supérieure à la pression appliquée au niveau de la zone d'évacuation de gaz.

Un procédé et un dispositif selon l'invention permettent donc de faire migrer les bulles ou poches de gaz vers l'extérieur d'une avant-pièce composite de façon à obtenir, après le durcissement de la matrice polymère de ladite avant-pièce composite, une pièce composite dénuée de gaz ou dont la teneur en gaz dans l'épaisseur de ladite avant-pièce composite a au moins été diminuée par rapport à la teneur en gaz dans l'avant-pièce initiale (avant l'application d'un gradient de pression selon l'invention). Pour ce faire, il suffit donc d'appliquer sur la face pressée de l'avant-pièce composite une pression variant tangentiellement à cette face pressée et augmentant dans un sens allant de tout point de l'avant-pièce vers une zone d'évacuation de gaz de ladite avant-pièce ou encore d'un bord externe à un autre bord externe de l'avant-pièce composite.

La zone d'évacuation de gaz de la pièce peut par exemple correspondre à une zone de la surface pressée de l'avant-pièce composite située au bord d'un chant de ladite avant-pièce composite ou de toute zone de ladite avant-

pièce composite en regard de laquelle peut être disposée un évent avec une bouche d'aspiration permettant d'évacuer les gaz issus de l'avant-pièce composite (hors d'un sac à vide dans lequel serait par exemple disposée l'avant-pièce composite lors de sa mise en forme et de l'étape de durcissement de la matrice polymère).

Dans tout le texte, on entend par « matrice polymère non solidifiée » tout matériau polymère (ou tout matériau comprenant au moins un polymère) non entièrement polymérisé (en particulier dans le cas d'une matrice polymère thermodurcissable) de sorte que sa forme finale n'est pas encore figée et qui est élastiquement déformable ou, dans le cas particulier des polymères thermoplastiques, tout matériau thermoplastique à une température supérieure à sa température de transition vitreuse et/ou à sa température de fusion (en l'absence d'application de contrainte).

Avantageusement et selon l'invention, on met en forme ladite avant-pièce composite préalablement à ladite étape de durcissement et/ou au cours de ladite étape de durcissement de la matrice polymère de l'avant-pièce composite. La mise en forme (par exemple par moulage sous pression) de l'avant-pièce composite peut être réalisée en appliquant une pression comprise entre 0,1 MPa et 3 MPa, et en particulier entre 0,2 MPa et 1,2 MPa.

L'avant-pièce composite peut durcir à la température ambiante (entre 20°C et 25°C) ou être soumise à un traitement thermique (chauffage). Avantageusement et selon l'invention, simultanément à ladite étape de durcissement au cours de laquelle on applique un gradient de pression sur l'avant-pièce composite, on réalise un traitement thermique de ladite avant-pièce composite. En particulier, avantageusement et selon l'invention, ledit traitement thermique permet de réaliser une polymérisation de ladite matrice polymère dans les cas où une matrice thermodurcissable est utilisée. Au terme d'une telle étape de polymérisation d'une matrice polymère thermodurcissable, ladite matrice polymère se trouve donc dans un état durci. Dans le cas où un chauffage est utilisé pour durcir l'avant-pièce composite, l'application de la pression peut démarrer préalablement ou simultanément au chauffage. Pour réaliser ledit traitement thermique, l'avant-pièce et les autres éléments du dispositif selon l'invention peuvent être placés dans

une étuve ou le chauffage peut être apporté par au moins un élément (moule par exemple) qui est lui-même chauffant.

Avantageusement et selon l'invention, le gradient de pression conserve de préférence le même signe et ne change donc pas d'orientation entre la zone d'évacuation de gaz et la zone de pressurisation maximale. En particulier, la zone de pressurisation maximale est la zone de l'avant-pièce composite où la pression appliquée est maximale et la zone d'évacuation de gaz est la zone de l'avant-pièce composite où la pression appliquée est minimale (tout en restant supérieure à la pression atmosphérique). Avantageusement et selon l'invention, la pression peut être continue ou discontinue. Le gradient de pression peut être de forme quelconque (linéaire, conique…). Dans le cas d'un gradient de pression dont la pression varie de façon continue, la pression est également monotone (croissante). Dans le cas d'un gradient de pression dont la pression varie de façon discontinue, la pression peut être constante par paliers entre au moins deux points et varier de façon monotone entre aux moins deux autres points de ladite face pressée.

Avantageusement et selon l'invention, la pression appliquée par ledit organe de pressurisation sur la zone de pressurisation maximale est supérieure à la pression appliquée par ledit organe de pressurisation sur la zone d'évacuation de gaz

Avantageusement et selon l'invention, pour appliquer ledit gradient de pression :

- on dispose une face, dite face de pressurisation, d'au moins un organe, dit organe de pressurisation élastiquement déformable orientée vers la face pressée de ladite avant-pièce composite et à distance non nulle de la face pressée de l'avant-pièce composite,
- puis on soumet une face, dite face pressurisée, opposée à ladite face de pressurisation, dudit organe de pressurisation à une pression (en particulier une pression de gaz), dite pression de déformation, adaptée pour déformer élastiquement ledit organe de pressurisation, ledit organe de pressurisation, sa disposition par rapport à la face pressée et ladite pression de déformation étant choisis pour que la face de pressurisation de l'organe de pressurisation soit appliquée au contact de

ladite face pressée de ladite avant-pièce composite au moins depuis la zone de pressurisation maximale jusqu'à la zone d'évacuation de gaz et applique ledit gradient de pression sur la face pressée. La face pressurisée est soumise à une pression de déformation adaptée pour entrainer une déformation de l'organe de pressurisation permettant d'appliquer une pression sous la forme d'un gradient de pression sur l'avant-pièce composite. Avantageusement et selon l'invention, préalablement à l'application dudit gradient de pression, on dispose ledit organe de pressurisation à une distance non nulle de la face pressée de l'avant-pièce composite.

En particulier, dans certains modes de réalisation, ledit organe de pressurisation présente en outre une rigidité de déformation élastique variant entre une zone, dite zone distale, de cet organe de pressurisation venant, après application de ladite pression de déformation, au contact de ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée, et une zone, dite zone de bordure, de cet organe de pressurisation venant, après application de la pression de déformation, au contact de ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce composite, la rigidité de la zone de bordure dudit organe de pressurisation étant supérieure à la rigidité de la zone distale. En particulier, dans certains modes de réalisation, la rigidité est croissante de la zone distale à la zone de bordure. Par la rigidité de l'organe de pressurisation, on entend la rigidité de celui-ci dans ses modes de déformation s'opposant à l'application de la pression exercée sur ladite face pressée. Plus particulièrement, la rigidité correspond par exemple ou est fonction du module d'élasticité en traction (et/ou en compression) d'une portion dudit organe de pressurisation ainsi que des dimensions structurelles de l'organe de pressurisation (épaisseur, ...). Ainsi ledit gradient de pression est au moins pour partie obtenu par un gradient de ladite rigidité de l'organe de pressurisation.

Afin de permettre l'application du gradient de pression du fait d'un tel gradient de rigidité, l'organe de pressurisation peut présenter une épaisseur et/ou un module d'élasticité variable.

Avantageusement et selon l'invention, on utilise au moins un organe de pressurisation présentant, avant application de ladite pression de

déformation, une épaisseur variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, l'épaisseur de la zone de bordure dudit organe de pressurisation étant supérieure à l'épaisseur de la zone distale. En particulier, dans certains modes de réalisation, ladite épaisseur de l'organe de pressurisation est croissante de la zone distale à la zone de bordure. Ainsi ledit gradient de pression est au moins pour partie obtenu par un gradient de ladite épaisseur avant application de la pression de déformation.

En outre, en variante ou en combinaison, avantageusement et selon l'invention, on utilise au moins un organe de pressurisation présentant un module d'élasticité au moins en traction orthogonalement à la direction s'étendant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, ledit module d'élasticité de la zone de bordure étant supérieur audit module d'élasticité de la zone distale. En particulier, dans certains modes de réalisation, ledit module d'élasticité de l'organe de pressurisation est croissant de la zone distale à la zone de bordure. Ainsi ledit gradient de pression est au moins pour partie obtenu par un gradient dudit module d'élasticité.

En outre, en variante ou en combinaison, avantageusement et selon l'invention on dispose l'organe de pressurisation à une distance prédéterminée de la face pressée de l'avant-pièce composite, de telle sorte que, sous l'effet de la pression de déformation, l'organe de pressurisation subit un allongement relatif ($\Delta L/L$) qui varie entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, l'allongement relatif ($\Delta L/L$) en regard de la zone de bordure étant supérieur à l'allongement relatif ($\Delta L/L$) en regard de la zone distale. En particulier, dans certains modes de réalisation, ledit allongement relatif ($\Delta L/L$) de l'organe de pressurisation est croissant de la zone distale à la zone de bordure. Ainsi ledit gradient de pression est au moins pour partie obtenu par un gradient d'allongement relatif ($\Delta L/L$) de l'organe de pressurisation sous l'effet de ladite pression de déformation. Ce gradient d'allongement relatif ($\Delta L/L$) de l'organe de pressurisation peut lui-même être obtenu par un gradient de ladite distance séparant l'organe de pressurisation avant application de la pression de déformation (l'allongement ΔL étant une fonction croissante de cette distance) ; et/ou par un gradient des dimensions initiales L et/ou

de forme de l'organe de pressurisation (notamment lorsque ce dernier est symétrique de révolution) avant application de la pression de déformation ; et/ou par un gradient des dimensions et/ou de forme de la face pressée de l'avant pièce (notamment lorsque cette dernière est symétrique de révolution).

L'organe de pressurisation utilisé pour transmettre et appliquer ledit gradient de pression sur la face pressée de l'avant-pièce composite peut se présenter sous diverses formes. Il peut s'agir d'un panneau ou plateau présentant deux faces principales parallèles, l'une d'elles étant appliquée au contact de la face pressée de l'avant-pièce composite et l'autre d'entre elles étant celle sur laquelle est également appliquée une pression de façon à pouvoir créer ledit gradient de pression sur la face pressée de l'avant-pièce composite.

Avantageusement dans certains modes de réalisation de l'invention, on utilise un organe de pressurisation symétrique de révolution autour d'un axe parallèle à l'orientation dudit gradient de pression à appliquer.

Par ailleurs, dans certains modes de réalisation, avantageusement et selon l'invention, on utilise, à titre d'organe de pressurisation, une vessie gonflable (à la façon d'un ballon) -notamment une vessie gonflable symétrique de révolution autour d'un axe parallèle à l'orientation dudit gradient de pression à appliquer- pour appliquer ledit gradient de pression sur la face pressée de l'avant-pièce composite.

Ainsi, avantageusement dans un procédé selon l'invention, on utilise, à titre d'organe de pressurisation, au moins une vessie adaptée pour, dans un état gonflé (correspondant au gonflage de la vessie par ladite pression de déformation), être appliquée au contact de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite au moins entre ladite zone de pressurisation maximale et ladite zone d'évacuation de gaz. La vessie est gonflable et présente au moins un état gonflé utilisé pour appliquer ladite pression sur la face pressée de l'avant-pièce composite, et au moins un état non gonflé dans lequel la vessie n'exerce aucune pression sur ladite face pressée de l'avant-pièce composite. Avant gonflage ou avec un gonflage partiel uniquement, c'est-à-dire avant application de ladite pression de déformation, la vessie n'est pas en contact avec l'avant-pièce composite (la vessie est séparée de

ladite distance non nulle de ladite face pressée). Au cours du gonflage, la vessie entre progressivement en contact avec la face pressée de l'avant-pièce composite, jusqu'à atteindre un état gonflé. Dans toute la suite du texte, lorsqu'on précise que la vessie est en contact avec l'avant-pièce composite, cela signifie que la vessie est donc dans un état gonflé (c'est-à-dire que la vessie est au moins en partie gonflée).

De même, dans certains modes de réalisation, un dispositif selon l'invention est aussi avantageusement caractérisé en ce que ledit organe de pressurisation comprend au moins une vessie gonflable présentant au moins une face, dite face de pressurisation, adaptée pour être disposée, après gonflage de la vessie par une pression, dite pression de déformation, en contact avec la face pressée de ladite avant-pièce composite, et au moins une face, dite face pressurisée, opposée à ladite face de pressurisation.

Avantageusement et selon l'invention, ladite vessie est formée d'au moins un matériau choisi dans le groupe des matériaux élastomères. Ladite vessie est formée d'au moins un matériau élastomère choisi dans le groupe formé des silicones, du polybutadiène, du polyisoprène, des copolymères de styrène et de butadiène, des polyuréthanes élastomériques (copolymères comprenant du polyuréthane notamment), des polychloroprènes (Néoprène®), des fluoroélastomères, leurs mélanges et leurs copolymères.

Avantageusement et selon l'invention, on applique ladite pression sur la face pressée à l'aide d'au moins une vessie comprenant :

- au moins une cavité interne, ladite cavité interne comprenant au moins un orifice d'entrée d'un fluide de gonflement de ladite vessie,
- au moins une membrane flexible délimitant chaque cavité interne, ladite vessie étant adaptée pour pouvoir se conformer à ladite avant-pièce composite lorsque la vessie est au moins partiellement gonflée et lorsque la vessie est au contact de ladite avant-pièce composite. Une vessie utilisée dans un dispositif ou un procédé selon l'invention est donc au moins constituée d'une membrane flexible qui forme la vessie.

Tout fluide, en particulier tout gaz ou tout liquide, peut être utilisé pour gonfler la vessie. En particulier, un gaz de gonflement peut être choisi

dans le groupe formé de l'air, de l'oxygène et des gaz neutres. Avantageusement et selon l'invention, on gonfle la cavité interne de ladite vessie à l'aide d'azote gazeux (N_2 à l'état gazeux).

Plusieurs paramètres liés à l'utilisation d'une telle vessie peuvent être variés de façon voulue afin de permettre l'application d'un gradient de pression à l'aide de ladite vessie. Il est notamment possible de faire varier l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de la paroi de la vessie (c'est-à-dire l'étirement en traction de la membrane élastique de la vessie ou étirement surfacique) en faisant varier la distance séparant la vessie et l'avant-pièce composite ou les dimensions de la vessie (la taille notamment) en fonction de la forme et/ou les dimensions de l'avant-pièce. La distance séparant la vessie et l'avant-pièce composite peut également être appelée « retrait », et désigne la distance qui sépare la vessie de la face pressée de l'avant-pièce composite lorsque la vessie est partiellement gonflée tout en étant à distance non nulle de la face pressée de l'avant-pièce, c'est-à-dire que la vessie est gonflée avec une pression de mise en forme de la vessie (inférieure à la pression de déformation de la vessie qui correspond à un état dans lequel la vessie est au contact de l'avant-pièce composite). Plus la distance entre la vessie et l'avant-pièce composite avant d'atteindre la pression de déformation est importante, plus l'allongement ΔL de la membrane flexible élastiquement déformable sera important, et plus la pression appliquée sur la face pressée de l'avant-pièce composite sera faible lorsque la vessie sera au contact de l'avant-pièce. La pression exercée sur la face pressée de l'avant-pièce composite est égale à la pression interne de la vessie moins la force de résistance au gonflement de la vessie par unité de surface, la force de résistance au gonflement de la vessie étant proportionnelle à l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de la paroi de la vessie lors du gonflement ainsi qu'à l'épaisseur et au module de Young de la vessie. À l'équilibre, la force de résistance au gonflement de la vessie (ou force d'étirement) compense la surpression. Bien sûr, il est également possible de faire varier les dimensions L initiales de la vessie, notamment la forme et la taille de la vessie avant déformation afin d'influer également sur l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de la vessie jusqu'à atteindre la pression de déformation. En d'autres termes, choisir une vessie de diamètre inférieur à une

vessie prédéterminée permet d'augmenter ΔL/L et donc également de diminuer la pression appliquée sur la face pressée de l'avant-pièce composite. Il est donc également possible d'utiliser une vessie présentant un gradient de diamètre et/ou présentant une forme telle qu'elle permette, à l'état gonflé, d'exercer une pression sous la forme d'un gradient de pression sur l'avant-pièce composite, en prenant en compte la forme et/ou les dimensions de l'avant-pièce elle-même qui pourrait également elle-même présenter une face pressée non rectiligne (ni plane ni réglée), entraînant elle-même une variation de l'allongement relatif. Tel est le cas en particulier avec une face pressée symétrique de révolution de dimensions radiales variant entre ladite zone de pressurisation maximale et la zone d'évacuation de gaz.

Avantageusement et selon l'invention, on dispose la vessie dans un état gonflé à une pression inférieure à ladite pression de déformation à une distance prédéterminée non nulle de la face pressée de l'avant-pièce composite, ladite distance prédéterminée variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, ladite distance prédéterminée en regard de la zone de bordure étant supérieure à la distance prédéterminée en regard de la zone distale. En particulier, avantageusement et selon l'invention, ladite distance est croissante de la zone distale à la zone de bordure. On dispose la vessie, dans un état partiellement gonflé à une pression, inférieure à ladite pression de déformation, de mise en forme de la vessie, de façon à ce qu'une distance prédéterminée non nulle sépare ladite vessie de la face pressée de l'avant-pièce composite et de façon à permettre ensuite l'application d'un gradient de pression sur ladite face pressée de l'avant-pièce composite dans un état gonflé de la vessie, à ladite pression de déformation de la vessie (ou à une pression supérieure).

Avant application dudit gradient de pression, lorsque le gonflement de la vessie n'a pas encore débuté (et que la vessie se présente sous une forme entièrement souple) et lorsque la vessie est partiellement gonflée (c'est-à-dire à la pression de mise en forme de la vessie inférieure à ladite pression de déformation) et présente une forme prédéterminée tout en pouvant encore être déformée (gonflée), la vessie n'est pas disposée en contact avec l'avant-pièce composite. De préférence lorsque la pression dans la vessie est inférieure à ladite

pression de mise en forme de la vessie et lorsque la pression dans la vessie est égale à ladite pression de mise en forme de la vessie, la vessie ne présente aucune zone de contact avec ladite avant-pièce composite.

Ainsi, par le choix de la vessie (en fonction de son diamètre notamment) et de la distance à laquelle on la place de l'avant-pièce composite avant application de ladite pression de déformation de la vessie, on peut faire varier la pression ensuite (après gonflage à ladite pression de déformation) appliquée sur la face pressée de l'avant-pièce composite et obtenir ledit gradient de pression. Ladite distance devant être prévue entre la vessie et l'avant-pièce composite avant application de ladite pression de déformation peut être déterminée par calculs par éléments finis ou encore expérimentalement, de préférence de façon à éviter la formation de poches de pression au sein de l'avant-pièce, pour obtenir ledit gradient de l'allongement relatif $\Delta L/L$.

En outre, un effet dynamique est obtenu pendant le gonflement de la vessie à ladite pression de déformation de la vessie, la vessie n'étant initialement pas en contact avec l'avant-pièce composite et venant progressivement au contact de l'avant-pièce composite au cours de son gonflement, depuis ladite zone distale jusqu'à ladite zone de bordure, jusqu'à atteindre la pression de déformation. Avec une telle vessie, dans ces modes de réalisation, ledit gradient de pression comprend donc ainsi au moins une variation dynamique de pression appliquée lors du gonflement de la vessie (lors du déplacement de la membrane flexible de la vessie au cours du gonflement de celle-ci) permettant le déplacement et l'évacuation d'au moins une partie du gaz présent au sein de l'avant-pièce composite. Une telle variation dynamique de pression a également pour avantage de permettre de chasser l'air situé entre l'avant-pièce composite et la vessie lors du gonflement de la vessie et lorsque celle-ci balaye la face pressée de l'avant-pièce composite lors de ce gonflement. Cette variation dynamique de pression est de préférence suivie du maintien dudit gradient de pression (statique) une fois la vessie gonflée et le système comprenant l'avant-pièce et la vessie étant à l'équilibre.

En variante ou en combinaison à la distance variable entre la vessie et l'avant-pièce composite avant gonflage de la vessie par ladite pression de déformation mais aussi en variante ou en combinaison avec l'utilisation d'une vessie de diamètre variable, il est possible d'utiliser une vessie dont la membrane flexible présente une épaisseur variable et/ou un module d'élasticité variable.

Avantageusement et dans une variante de réalisation d'un procédé et d'un dispositif selon l'invention, on utilise au moins une membrane flexible présentant une épaisseur variant entre ladite zone distale de ladite vessie et ladite zone de bordure de ladite vessie, ladite épaisseur de la zone de bordure de la membrane flexible de la vessie étant supérieure à ladite épaisseur de la zone distale de la membrane flexible de la vessie.

En variante ou en combinaison, avantageusement et selon l'invention, on utilise au moins une membrane flexible présentant un module d'élasticité variant entre ladite zone distale de ladite vessie et ladite zone de bordure de ladite vessie, ledit module d'élasticité de la zone de bordure de la membrane flexible de la vessie étant supérieur au module d'élasticité de la zone distale de la membrane flexible de la vessie.

Afin de faire varier le module d'élasticité de la membrane flexible de la vessie il est possible de juxtaposer des zones formées de matériaux élastomères différents, chaque élastomère présentant un module d'élasticité différent. Ce module d'élasticité peut également être modifié en utilisant un même élastomère à titre de matrice et y ajoutant des charges minérales ou métalliques sous forme de fibres, de particules (poudres), de fils… ou encore de fibres de carbone (ou nanotubes ou autres formes).

Dans certains modes de réalisation, avantageusement, un dispositif selon l'invention comprend en outre un support de pressurisation adapté pour maintenir en position ladite avant-pièce composite par rapport au support de pressurisation et à l'organe de pressurisation, en particulier une vessie à l'état gonflé, lorsque ledit organe de pressurisation est disposé au contact de ladite avant-pièce composite. Le support de pressurisation peut également constituer un moule pour la mise en forme de l'avant-pièce composite.

L'avant-pièce composite est formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort. La structure de renfort est imprégnée d'une matrice polymère au sein de laquelle s'étend la structure de renfort. L'avant-pièce composite (et la pièce composite finale obtenue) peut (/peuvent) être de toutes formes et de toutes tailles. L'avant-pièce composite peut donc présenter une forme parallélépipédique, sphérique, hémisphérique, cylindrique ou encore conique ou toute autre forme irrégulière qui pourrait être fabriquée. L'avant-pièce composite peut également être au moins partiellement creuse et présenter un espace interne.

La structure de renfort peut être quelconque. En particulier, avantageusement et selon l'invention, ladite structure de renfort est choisie dans le groupe formé des monofils, des câbles, des faisceaux, des tissus, des bandes, des nappes, des matelas et des feuilles.

Avantageusement et selon l'invention, ladite structure de renfort comprend au moins une couche de renfort et chaque couche de renfort est choisie dans le groupe formé des nappes de fibres synthétiques tissées, des nappes de fibres synthétiques non-tissées, des matelas, des nappes de bandes synthétiques tissées, des nappes de bandes synthétiques non-tissées, des feuilles de matériaux synthétiques, des feuilles de matériaux métalliques, des complexes multicouches comprenant plusieurs couches superposées les unes aux autres, chaque couche étant en l'une de ces matières.

En particulier, avantageusement et selon l'invention, ladite pièce composite est formée de plis, dits pré-imprégnés, de renforts tissés imprégnés de résine polymère superposés les uns au-dessus des autres. Alternativement et selon l'invention, ladite pièce composite peut être préparée par imprégnation manuelle (au pinceau, …) la structure de renfort par une résine polymère.

Avantageusement et selon l'invention, ladite matrice polymère est choisie dans le groupe des résines thermodurcissables, des résines thermoplastiques et de leurs mélanges.

Dans tout le texte, on entend par « résine » toute composition au moins partiellement liquide adaptée pour pouvoir être durcie (de façon irréversible ou éventuellement réversible dans le cas d'une résine thermoplastique).

Avantageusement et selon l'invention, ladite matrice polymère de l'avant-pièce composite est choisie parmi les résines thermoplastiques, les résines thermodurcissables et leurs mélanges. Les résines thermoplastiques et les résines thermodurcissables peuvent comprendre des précurseurs desdits polymères thermoplastiques ou des précurseurs desdits polymères thermodurcissables ou non. Par « précurseurs » des thermoplastiques ou thermodurcissables on entend tout monomère d'au moins un polymère thermoplastique ou thermodurcissable accompagné le cas échéant de tout catalyseur ou durcisseur nécessaire à la polymérisation ou au durcissement de la résine. Par « résines thermoplastiques » et « résines thermodurcissables », on entend toute composition comprenant au moins des molécules au moins partiellement polymérisées de tout matériau thermoplastique ou thermodurcissable respectivement. Une résine thermoplastique ou une résine thermodurcissable ne désigne pas uniquement des compositions déjà entièrement polymérisées mais également des compositions pouvant comprendre des molécules de monomères (non polymérisées).

Avantageusement et selon l'invention, dans le cas où la matrice polymère est choisie parmi les résines thermodurcissables, on applique la pression au contact de la pièce composite pendant au moins une partie d'une étape de polymérisation (et de mise en forme simultanée ou non) de ladite résine thermodurcissable.

Dans une variante de réalisation d'un procédé et d'un dispositif selon l'invention, ladite avant-pièce composite est creuse et présente au moins un espace interne à l'intérieur duquel est introduit la vessie. Il n'y a alors pas besoin d'utiliser un support de pressurisation, l'avant-pièce composite faisant elle-même office de support de pressurisation.

L'invention concerne aussi un procédé et un dispositif caractérisés en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus ou ci-après.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaissent à la lecture de la description suivante d'un de ses modes de réalisation préférentielle donnée à titre d'exemple non limitatif, et qui se réfère aux figures annexées dans lesquelles :

- la figure 1 est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention comprenant un organe de pressurisation,

- la figure 2a est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention dans lequel une vessie gonflable d'épaisseur variable est utilisée à titre d'organe de pressurisation, ladite vessie étant dans un état partiellement gonflé,

- la figure 2b est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention dans lequel une vessie gonflable d'épaisseur variable est utilisée à titre d'organe de pressurisation, ladite vessie étant dans un état gonflé,

- la figure 3a est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention dans lequel une vessie gonflable à module d'élasticité variable est utilisée à titre d'organe de pressurisation, ladite vessie étant dans un état partiellement gonflé,

- la figure 3b est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention dans lequel une vessie gonflable à module d'élasticité variable est utilisée à titre d'organe de pressurisation, ladite vessie étant dans un état gonflé,

- la figure 4 est une vue schématique en coupe longitudinale d'un dispositif selon l'invention comprenant un organe de pressurisation.

Les figures 1 à 4 représentent différentes étapes de mise en forme et de durcissement de la résine polymère formant la matrice imprégnant une structure de renfort de l'avant-pièce composite 1.

Les figures 1 à 4 représentent une avant-pièce composite 1 comprenant plusieurs couches superposées les unes sur les autres, chaque couche de l'avant-pièce composite 1 étant formée d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice comprenant au moins une résine polymère. L'avant-pièce composite 1

présente une forme parallélépipédique et comprend deux faces libres principales dont une face, dite face supérieure 2, et une face, dite face inférieure 3, opposée à ladite face supérieure. L'avant-pièce composite 1 présente également une zone 4 d'évacuation de gaz comprenant au moins un chant de ladite avant-pièce composite 1. L'avant-pièce composite 1 est par exemple formée d'une résine époxy et de mats de fibres de carbone superposés les uns aux autres parallèlement à ladite face pressée. La pression est exercée sur l'avant-pièce composite dans une direction normale à la direction longitudinale desdits mats de fibres.

Le dispositif selon l'invention représenté en figure 1 comprend une avant-pièce composite 1, un organe de pressurisation 8 et un support de pressurisation 20 adapté pour maintenir en position ladite avant-pièce composite lorsqu'une pression est appliquée sur l'avant-pièce composite 1. L'organe de pressurisation 8 présente une face de pressurisation 15, en contact avec la face pressée 2 de ladite avant-pièce composite, et une face pressurisée 16, opposée à ladite face de pressurisation 15, l'organe de pressurisation étant élastiquement déformable. L'organe de pressurisation 8 représenté en figure 1 est formé d'un même matériau et présente une forme de pavé dont l'épaisseur (distance la plus courte entre la face de pressurisation 15 et la face pressurisée 16) est constante.

En particulier, la face pressurisée 16 est soumise à une pression constante, telle qu'une pression de gaz, et ledit organe de pressurisation présente en outre une rigidité de déformation élastique variant entre ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée et ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce composite, c'est-à-dire un gradient de rigidité entre ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée et ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce composite. Dans l'exemple représenté où l'épaisseur de l'organe de pressurisation est constante, ce gradient de rigidité est obtenu par un gradient de module d'élasticité entre ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée et ladite zone d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce composite.

Le support de pressurisation 20 peut également faire office de moule permettant de conférer à l'avant-pièce composite 1 une forme voulue. Une

étape de durcissement de la matrice polymère de l'avant-pièce composite 1 consiste alors également en une étape de moulage par compression. L'organe de pressurisation 8 permet d'appliquer un gradient de pression illustré par les flèches 5, 6 et 7 et ainsi de faire circuler et d'évacuer le gaz éventuellement présent dans l'avant-pièce 1 dans le sens d'évacuation 18. La pression 5 est supérieure à la pression 6, elle-même supérieure à la pression 7 appliquée sur la zone la plus proche de la zone 4 d'évacuation des gaz de l'avant-pièce 1 composite.

Dans les modes de réalisation représentés aux figures 2a, 2b, 3a et 3b, le dispositif selon l'invention comprend un dispositif de pressurisation de l'avant-pièce composite 1 consistant en une vessie 10 gonflable se présentant sous la forme d'un ballon comprenant une membrane périphérique en matériau flexible. La vessie 10 comprend une cavité interne 14 comprenant un orifice 12 d'entrée d'un gaz de gonflement de ladite vessie. Avant gonflement (étape non représentée), la vessie se présente sous une forme souple à la façon d'un tissu plus ou moins souple et la vessie ne présente pas de forme prédéterminée. Lorsque la vessie est partiellement gonflée (figure 2a), la vessie est mise en forme (symétrique de révolution autour d'un axe passant par l'orifice 12 et correspondant à l'orientation du gradient de pression à appliquer sur l'avant-pièce composite 1) et n'est pas en contact avec l'avant-pièce composite 1, ni avec un support de pressurisation 20. Après un gonflement supplémentaire jusqu'à une pression, dite pression de déformation, comme on peut le voir sur la figure 2b, la vessie 10 gonflable présente une face 17 de pressurisation externe, appliquée en contact avec la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite, et une face 19 pressurisée interne délimitant la cavité interne 14, cette face 19 pressurisée étant opposée à ladite face de pressurisation. Une fois gonflée, la pression de gaz à l'intérieur de la vessie 10 gonflable s'appliquant sur la face pressurisée de la vessie est supérieure à la pression régnant autour et à l'extérieur de la vessie (à l'extérieur de la cavité interne 14).

Les dispositifs représentés aux figures 2 et 3 comprennent également le support de pressurisation 20 creux adapté pour maintenir en position ladite avant-pièce composite lorsque la vessie 10 comprime l'avant-pièce composite 1, la vessie 10 et l'avant-pièce composite 1 étant alors disposées à l'intérieur dudit

support de pressurisation 20. Le support de pressurisation 20 utilisé dans les modes de réalisation représentés aux figures 2a à 3b se présente sous la forme d'un moule creux globalement parallélépipédique dont un des côtés présente une ouverture permettant de ménager un passage pour l'orifice 12 d'entrée de gaz de gonflement de ladite vessie, ainsi que des évents 21 et 22 par lesquels les gaz évacués par la zone 4 d'évacuation de gaz de l'avant-pièce 1 composite peuvent s'échapper.

Dans le mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention représenté aux figures 2a et 2b, la membrane périphérique de ladite vessie présente un gradient d'épaisseur a, b, c (épaisseurs croissantes de a à c). Comme on peut le voir sur la figure 2b, l'épaisseur varie de façon continue, croissante entre une zone, dite zone distale 9 (à proximité de la portion d'épaisseur a de ladite vessie) et une zone, dite zone de bordure 13 de la vessie (à proximité de la portion d'épaisseur c). La zone de bordure 13 est en regard de la zone 4 d'évacuation de gaz de la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite. La zone distale 9 est en regard de la zone de pressurisation maximale de la face pressée 2. L'épaisseur de la zone de bordure 13 de la vessie 10 est supérieure à l'épaisseur de la zone distale 9 de la vessie 10.

Dans le mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention représenté aux figures 2a et 2b, une zone médiane 11 de la vessie présentant une épaisseur b située entre la zone distale 9 et la zone de bordure 13 de la vessie 10 est donc telle que $a < b < c$ (la valeur de l'épaisseur a est inférieure à la valeur de l'épaisseur b elle-même inférieure à la valeur de l'épaisseur c). De cette façon, un gradient continu de pression est appliqué sur la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite permettant la circulation et l'évacuation des gaz (bulles de gaz…) dans un sens d'évacuation 18. Ce gradient de pression peut être constant (variation affine de la pression le long de l'avant-pièce) ou non.

L'application de la pression sur la face pressée lors du gonflage de la vessie comprend une première phase dynamique pendant le gonflement de la vessie 10, la vessie non gonflée n'étant initialement pas en contact avec l'avant-pièce composite 1 et venant progressivement au contact de l'avant-pièce composite 1 au cours de son gonflement, jusqu'à atteindre un état gonflé, au moins à la pression de déformation. Puis, une fois la vessie gonflée et le

système à l'équilibre, ledit gradient de pression est maintenu afin de prolonger et de finaliser l'évacuation des gaz présents au sein de l'avant-pièce composite 1. Toutefois, dans certains cas, la variation dynamique de pression, qui résulte de l'exercice d'un gradient de pression par la vessie, peut être suffisante à l'évacuation des gaz et ne pas nécessiter de maintien additionnel de la pression.

L'application de la vessie 10 gonflée de façon à venir au contact de ladite pièce composite en appliquant une pression sur celle-ci permet l'évacuation des gaz présents au sein de l'épaisseur de l'avant-pièce composite 1 dans le sens 18 d'évacuation des gaz, jusqu'à la zone 4 d'évacuation de gaz de l'avant-pièce composite 1. L'application de la vessie 10 gonflée au contact de ladite pièce composite en appliquant une pression sur celle-ci permet également de contrôler la géométrie de la pièce et de contrôler le taux de fibres dans la pièce, de la résine (matrice polymère liquide) pouvant également être évacuée au niveau de la zone 4 d'évacuation.

Dans le mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention représenté aux figures 3a et 3b, la membrane externe de ladite vessie présente un module d'élasticité variant en différentes zones de la membrane de la vessie 10, c'est-à-dire un gradient de module d'élasticité. Comme on peut le voir sur la figure 3b, une zone, dite zone distale 9, de ladite vessie 10 présente un premier module d'élasticité E_1. Une zone, dite zone médiane 11, de la vessie présente un deuxième module d'élasticité E_2, E_2 étant supérieur à E_1. Une troisième zone, dite zone de bordure 13 de la vessie présente un module d'élasticité E_3, E_3 étant supérieur à E_2. La zone médiane 11 est donc disposée entre la zone distale 9 et la zone de bordure 13 de la vessie 9. La zone de bordure 13 est en regard d'une zone de l'avant-pièce composite plus proche de la zone 4 d'évacuation de gaz de la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite que la zone de la face pressée de l'avant-pièce 1 composite en regard de laquelle est disposée la zone distale. La zone distale 9 est en regard d'une zone de l'avant-pièce composite plus proche de la zone de pressurisation maximale de la face pressée 2 que la zone de la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite en regard de laquelle est disposée la zone de bordure 13. De cette façon et compte tenu des valeurs relatives des modules d'élasticité de ces

trois zones distinctes, une même pression régnant à l'intérieur de la vessie, un gradient de pression discontinu est appliqué sur la face pressée 2 de l'avant-pièce 1 composite permettant la circulation et l'évacuation des gaz dans le sens d'évacuation 18. Un tel gradient de pression permet de faire circuler les gaz présents au sein de l'épaisseur de l'avant-pièce 1 composite depuis l'extrémité de l'avant-pièce composite disposée au contact de la zone distale 9 de la vessie vers la zone d'évacuation de gaz 4 de l'avant-pièce 1 composite.

Comme dans le mode de réalisation des figures 2a et 2b, l'application de la pression selon ce gradient de pression sur ladite face pressée comprend une première phase dynamique pendant le gonflement de la vessie 10. Puis, une fois la vessie gonflée, à partir de la pression de déformation, le gradient de pression peut être maintenu ou non.

La pression interne (pression de déformation) à l'intérieur de la vessie est par exemple comprise entre 0,2 MPa et 1,2 MPa.

L'avant-pièce composite peut durcir à la température ambiante (entre 20°C et 25°C) ou être soumise à un traitement thermique (chauffage) simultanément à l'application du gradient de pression. L'avant-pièce composite, la vessie et le support de pressurisation 20 peuvent être placés dans une étuve ou bien le chauffage peut être apporté par un support de pressurisation lui-même chauffant par exemple.

La durée pendant laquelle les gaz sont évacués de l'avant-pièce composite peut par exemple être comprise entre 30min et 45min.

Dans un autre mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention, représenté en figure 4, le dispositif comprend une avant-pièce composite 1, un organe de pressurisation 26 et un support de pressurisation 27 adapté pour maintenir en position ladite avant-pièce composite lorsqu'une pression est appliquée sur l'avant-pièce composite 1. Ce dispositif est disposé dans un autoclave (non représenté) dans lequel règne une pression supérieure à la pression atmosphérique adaptée pour permettre la création d'un gradient de pression grâce au contact de l'organe de pressurisation 26 sur la face pressée 2 de ladite avant-pièce composite. L'étape représentée en figure 4 montre le dispositif avant application de

la pression dans l'autoclave, l'organe de pressurisation 26 n'étant pas encore en contact avec l'avant-pièce composite, l'organe de pressurisation 26 étant disposé à une distance prédéterminée de l'avant-pièce composite avant que la pression au sein de l'autoclave ne soit augmentée. L'organe de pressurisation 26 présente une face de pressurisation 15 adaptée pour venir en contact avec la face pressée 2 de ladite avant-pièce composite lorsque le dispositif subit la pression régnant au sein de l'autoclave, et une face pressurisée 16, opposée à ladite face de pressurisation 15, l'organe de pressurisation étant élastiquement déformable. L'organe de pressurisation 26 représenté en figure 4 est formé d'un même matériau et présente une forme de pavé dont l'épaisseur (distance la plus courte entre la face de pressurisation 15 et la face pressurisée 16) est plus faible en son centre. L'organe de pressurisation 26 présentant une épaisseur variable, il permet d'appliquer un gradient de pression, alors que la pression appliquée sur sa face pressurisée 16 est constante et correspond à la pression régnant au sein de l'autoclave. Des vis et des écrous 24, 25 permettent de fixer l'organe de pressurisation 26 au support de pressurisation 27. Un évent 23 formé dans l'épaisseur du support de pressurisation 27 permet de connecter le dispositif à une source d'aspiration (vide). Ce dispositif permet de faire circuler et d'évacuer le gaz éventuellement présent dans l'avant-pièce 1 dans les sens d'évacuation 28 et 29, depuis le centre de l'avant-pièce composite vers les extrémités 30 et 31 de l'avant-pièce composite formant alors chacune une zone d'évacuation de gaz.

Dans un autre mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention (non représenté), il est possible de faire varier l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de la paroi de la vessie (c'est-à-dire l'étirement de la paroi de la vessie ou étirement surfacique), notamment en faisant varier la distance séparant la vessie et l'avant-pièce composite et/ou les dimensions et/ou la forme de la vessie, compte tenu de la forme et des dimensions de l'avant-pièce composite. La distance séparant la vessie et l'avant-pièce composite désigne la distance qui sépare la vessie de la face pressée de l'avant-pièce composite lorsque la vessie est dans un état partiellement gonflé, avant gonflage à la pression de déformation.

Plus la distance entre la vessie et l'avant-pièce composite avant gonflement est localement importante, plus la pression appliquée sur la face pressée de l'avant-pièce composite sera localement faible. La pression exercée sur la face pressée de l'avant-pièce composite est égale à la pression interne de la vessie moins la force de résistance au gonflement de la vessie par unité de surface, la force de résistance au gonflement de la vessie étant proportionnelle à l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de la paroi de la vessie lors du gonflement ainsi qu'à l'épaisseur et au module de Young de la vessie. Il est également possible de faire varier les dimensions de la vessie, notamment la forme et la taille de la vessie, afin d'influer également sur ce retrait avant gonflement.

En outre, pour créer ledit gradient de pression il est possible de choisir une vessie formée d'un matériau rigide dans une direction (par exemple la direction axiale (ou direction longitudinale) qui correspond à la direction du gradient de pression). On met par exemple des fibres de carbone, de verre ou des fibres connues sous le nom de Kevlar® dans le matériau formant la paroi de la vessie dans le sens axial. Lors du gonflement, la rigidité variera alors dans le sens circonférentiel de la vessie. Le matériau formant la vessie peut donc être anisotrope.

Dans un autre mode de réalisation d'un dispositif selon l'invention (non représenté), la vessie peut comporter plusieurs cavités internes (par exemple trois cavités internes), la pression étant différente dans chacune desdites cavités de façon à exercer un gradient de pression discontinu sur la face pressée de l'avant-pièce composite.

L'invention peut faire l'objet de très nombreuses variantes de réalisation. En particulier, il est possible de préparer tout type de pièce composite, même les plus complexes en utilisant, si besoin, une vessie spécialement conçue et adaptée à la géométrie de ladite pièce composite. L'avant-pièce composite peut présenter une forme quelconque, par exemple de disque, de couronne, de bande ou encore se présenter sous la forme d'une pièce tortueuse…

En outre, une ou plusieurs vessies peuvent être utilisées simultanément pour préparer une même pièce composite. Et chaque vessie peut présenter en combinaison une épaisseur discontinue et/ou un module d'élasticité

discontinu et/ou plusieurs cavités internes. La membrane périphérique de la vessie utilisée à titre d'organe de pressurisation dans un dispositif ou un procédé selon l'invention peut par exemple présenter cinq zones de modules d'élasticité différents et chacune de ces cinq zones peut présenter une épaisseur variant de façon continue. Un tel mode de réalisation a pour avantage de permettre de réaliser un gradient de pression important tout en exerçant une pression augmentant le plus régulièrement possible, sans brusque augmentation de pression entre chaque zone présentant un module d'élasticité différent. D'autre part, chaque zone de la membrane de même épaisseur et/ou présentant un même module d'élasticité peut présenter des dimensions variables (identiques ou différentes entre elles) en fonction de la pression à appliquer, du type de pièce, des matériaux formant l'avant-pièce…

REVENDICATIONS

1/ - Procédé de fabrication d'une pièce, dite pièce composite, formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice polymère au sein de laquelle s'étend la structure de renfort, dans lequel :

- on prépare une avant-pièce, dite avant-pièce (1) composite, de ladite pièce composite, ladite avant-pièce composite présentant au moins un état, dit état non-durci, dans lequel la matrice polymère est au moins en partie non solidifiée,
- on réalise une étape de durcissement de la matrice polymère de ladite avant-pièce composite,
- au cours d'au moins une partie de ladite étape de durcissement, on exerce une pression sur au moins une face, dite face pressée (2), de ladite avant-pièce composite,

caractérisé en ce que :

- on exerce ladite pression sous la forme d'un gradient de pression, ladite pression étant appliquée sur ladite face pressée de ladite avant-pièce composite entre au moins une première zone, dite zone de pressurisation maximale, de ladite face pressée, et au moins une deuxième zone, dite zone (4) d'évacuation de gaz, de ladite face pressée, ladite zone de pressurisation maximale étant différente de ladite zone (4) d'évacuation de gaz et ledit gradient de pression étant orienté vers ladite zone de pressurisation maximale, de façon à faire circuler tout gaz présent au sein de l'avant-pièce composite depuis ladite zone de pressurisation maximale jusqu'à ladite zone (4) d'évacuation de gaz,
- on applique ledit gradient de pression à l'aide d'au moins un organe, dit organe (8) de pressurisation, appliqué au contact de ladite zone de pressurisation maximale et au contact de ladite zone (4) d'évacuation de gaz de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite.

2/ - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que pour appliquer ledit gradient de pression :

- on dispose une face, dite face de pressurisation, d'au moins un organe, dit organe (8) de pressurisation élastiquement déformable orientée vers la

face pressée (2) de ladite avant-pièce composite et à distance non nulle de la face pressée de l'avant-pièce composite,

- puis on soumet une face, dite face pressurisée, opposée à ladite face de pressurisation, dudit organe de pressurisation à une pression, dite pression de déformation, adaptée pour déformer élastiquement ledit organe de pressurisation, ledit organe de pressurisation, sa disposition par rapport à la face pressée et ladite pression de déformation étant choisis pour que la face de pressurisation de l'organe (8) de pressurisation soit appliquée au contact de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite au moins entre la zone de pressurisation maximale et la zone (4) d'évacuation de gaz et applique ledit gradient de pression sur la face pressée.

3/ - Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce qu'on utilise un organe de pressurisation présentant une rigidité de déformation élastique variant entre une zone, dite zone distale, de cet organe de pressurisation venant, après application de ladite pression de déformation, au contact de ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée, et une zone, dite zone de bordure, de cet organe de pressurisation venant, après application de la pression de déformation, au contact de ladite zone (4) d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce (1) composite, la rigidité de la zone de bordure dudit organe de pressurisation étant supérieure à la rigidité de la zone distale.

4/ - Procédé selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'on utilise au moins un organe (8) de pressurisation présentant, avant application de ladite pression de déformation, une épaisseur variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, l'épaisseur de la zone de bordure dudit organe de pressurisation étant supérieure à l'épaisseur de la zone distale.

5/ - Procédé selon l'une des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce qu'on utilise au moins un organe (8) de pressurisation présentant un module d'élasticité au moins en traction orthogonalement à la direction s'étendant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, ledit module d'élasticité de la zone de bordure étant supérieur audit module d'élasticité de la zone distale.

6/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on dispose l'organe (8) de pressurisation à une distance prédéterminée de la face pressée (2) de l'avant-pièce (1) composite, de telle sorte que, sous l'effet de la pression de déformation, l'allongement relatif ($\Delta L/L$) de l'organe (8) de pressurisation varie entre une zone, dite zone distale, de cet organe de pressurisation venant, après application de ladite pression de déformation, au contact de ladite zone de pressurisation maximale de ladite face pressée, et une zone, dite zone de bordure, de cet organe de pressurisation venant, après application de la pression de déformation, au contact de ladite zone (4) d'évacuation de gaz de ladite face pressée de l'avant-pièce (1) composite, l'allongement relatif ($\Delta L/L$) en regard de la zone de bordure étant supérieur à l'allongement relatif ($\Delta L/L$) en regard de la zone distale.

7/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'on utilise, à titre d'organe (8) de pressurisation, au moins une vessie (10) adaptée pour, dans un état gonflé, être appliquée au contact de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite au moins entre ladite zone de pressurisation maximale et ladite zone (4) d'évacuation de gaz.

8/ - Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'on applique ladite pression sur la face pressée à l'aide d'au moins une vessie (10) comprenant :

- au moins une cavité interne (14), ladite cavité interne comprenant au moins un orifice (12) d'entrée d'un fluide de gonflement de ladite vessie,
- au moins une membrane flexible, ladite vessie étant adaptée pour pouvoir se conformer à ladite avant-pièce composite lorsque la vessie (10) est au contact de ladite avant-pièce (1) composite.

9/ - Procédé selon la revendication 3 et l'une des revendications 7 ou 8, caractérisé en ce qu'on dispose la vessie (10) dans un état gonflé à une pression inférieure à la pression de déformation à une distance prédéterminée de la face pressée (2) de l'avant-pièce (1) composite, ladite distance prédéterminée variant entre ladite zone distale et ladite zone de bordure, ladite

distance prédéterminée en regard de la zone de bordure étant supérieure à la distance prédéterminée en regard de la zone distale.

10/ - Procédé selon l'une des revendications 7 à 9, caractérisé en ce qu'on gonfle ladite vessie à l'aide d'azote gazeux.

11/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que simultanément à ladite étape de durcissement, on réalise un traitement thermique de ladite avant-pièce composite.

12/ - Dispositif pour la fabrication d'une pièce, dite pièce composite, formée d'au moins un matériau composite comprenant au moins une couche d'une structure de renfort imprégnée d'une matrice au sein de laquelle s'étend la structure de renfort, ledit dispositif comprenant :

- une avant-pièce, dite avant-pièce (1) composite, de ladite pièce composite, ladite avant-pièce composite présentant au moins un état, dit état non-durci, dans lequel la matrice polymère est au moins en partie non solidifiée, ladite avant-pièce (1) composite présentant au moins une face, dite face pressée, de ladite avant-pièce composite, sur laquelle une pression est exercée,

caractérisé en ce qu'il comprend au moins un organe (8) de pressurisation de ladite avant-pièce composite, ledit organe (8) de pressurisation étant adapté pour pouvoir exercer ladite pression sous la forme d'un gradient de pression, ladite pression étant appliquée sur ladite face pressée de ladite avant-pièce composite entre au moins une première zone, dite zone de pressurisation maximale, de ladite face pressée, et au moins une deuxième zone, dite zone (4) d'évacuation de gaz, de ladite face pressée, ladite zone de pressurisation maximale étant différente de ladite zone (4) d'évacuation de gaz, ledit organe (8) de pressurisation étant appliqué au contact de ladite zone de pressurisation maximale et au contact de ladite zone (4) d'évacuation de gaz de ladite face pressée de ladite avant-pièce composite et ledit gradient de pression étant orienté vers ladite zone de pressurisation maximale, de façon à faire circuler le gaz présent au sein de l'avant-pièce composite depuis ladite zone de pressurisation maximale jusqu'à ladite zone (4) d'évacuation de gaz.

13/ - Dispositif selon la revendication 12, caractérisé en ce que ledit organe (8) de pressurisation comprend au moins une vessie (10) gonflable

présentant au moins une face, dite face (17) de pressurisation, adaptée pour être disposée, après gonflage de la vessie par une pression, dite pression de déformation, en contact avec la face pressée de ladite avant-pièce (1) composite, et au moins une face, dite face (19) pressurisée, opposée à ladite face de pressurisation.

14/ - Dispositif selon la revendication 13, caractérisé en ce que ladite vessie (10) est formée d'au moins un matériau choisi dans le groupe des matériaux élastomères.

15/ - Dispositif selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé en ce qu'il comprend en outre un support (20) de pressurisation adapté pour maintenir en position ladite avant-pièce composite (1) lorsque ledit organe (8) de pressurisation est disposé au contact de ladite avant-pièce composite (1).

Fig 1

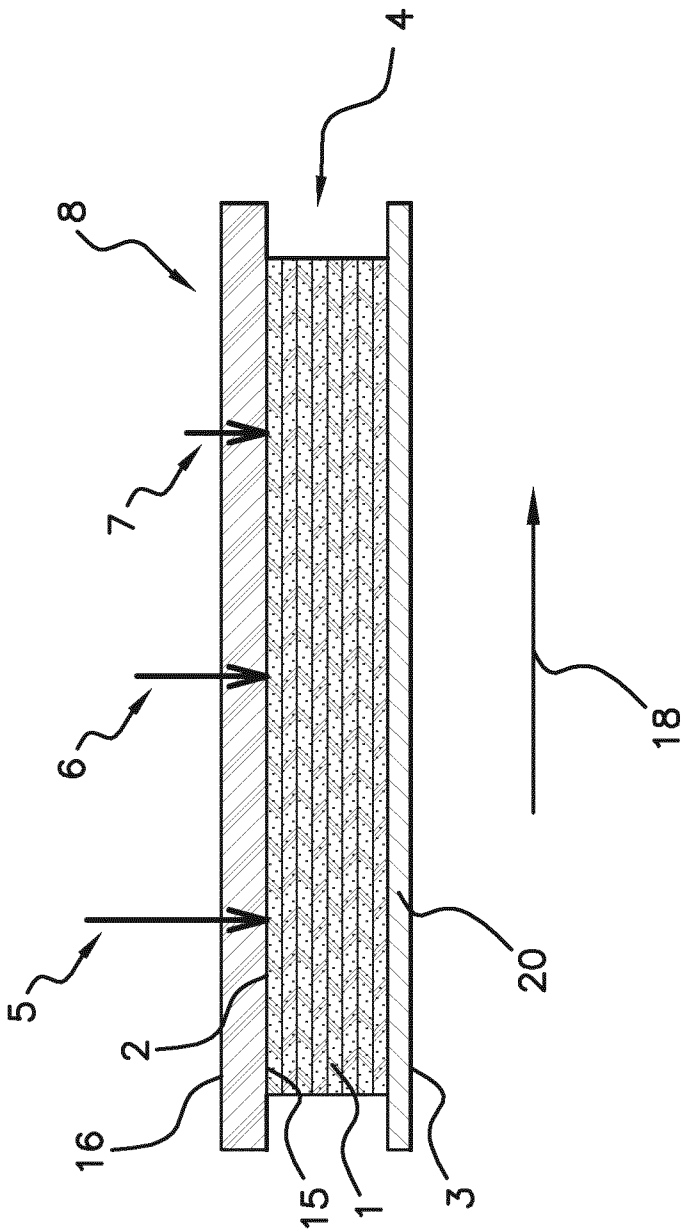


Fig 2a

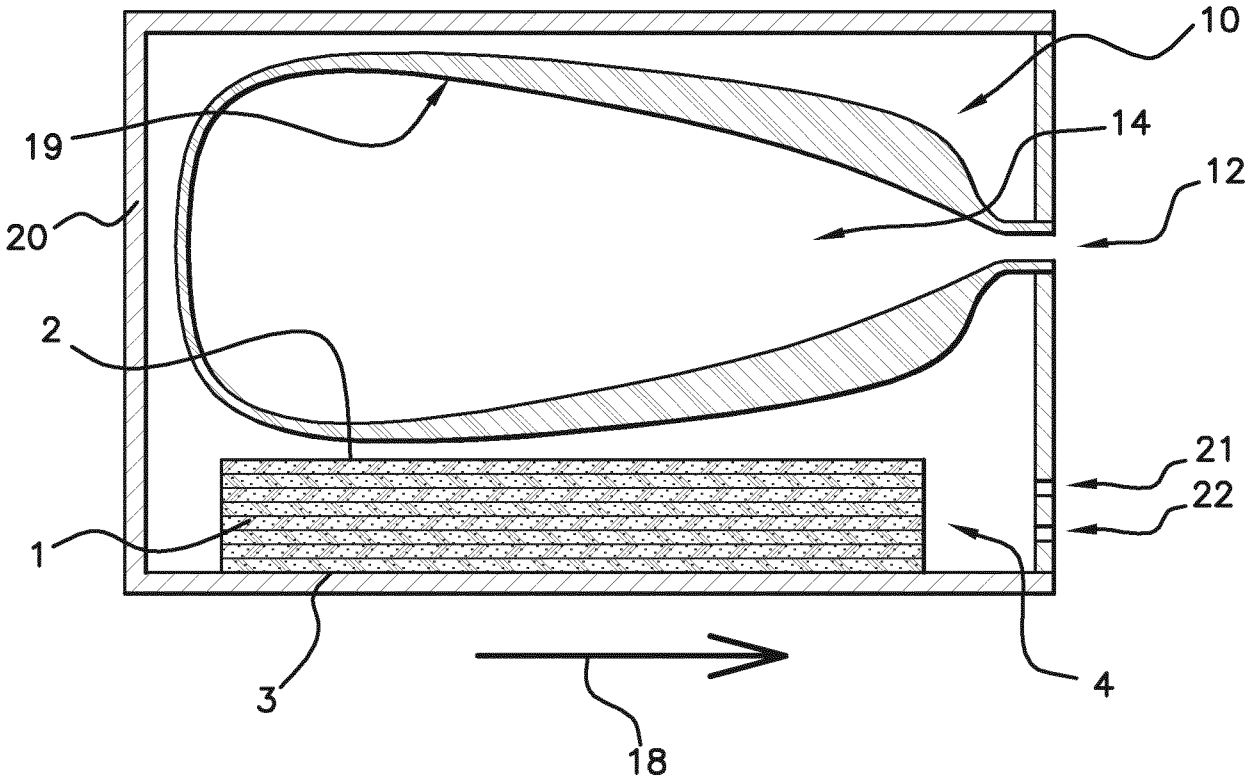

10
19
14
12
20
2
21
22
1
4
3
18

Fig 2b

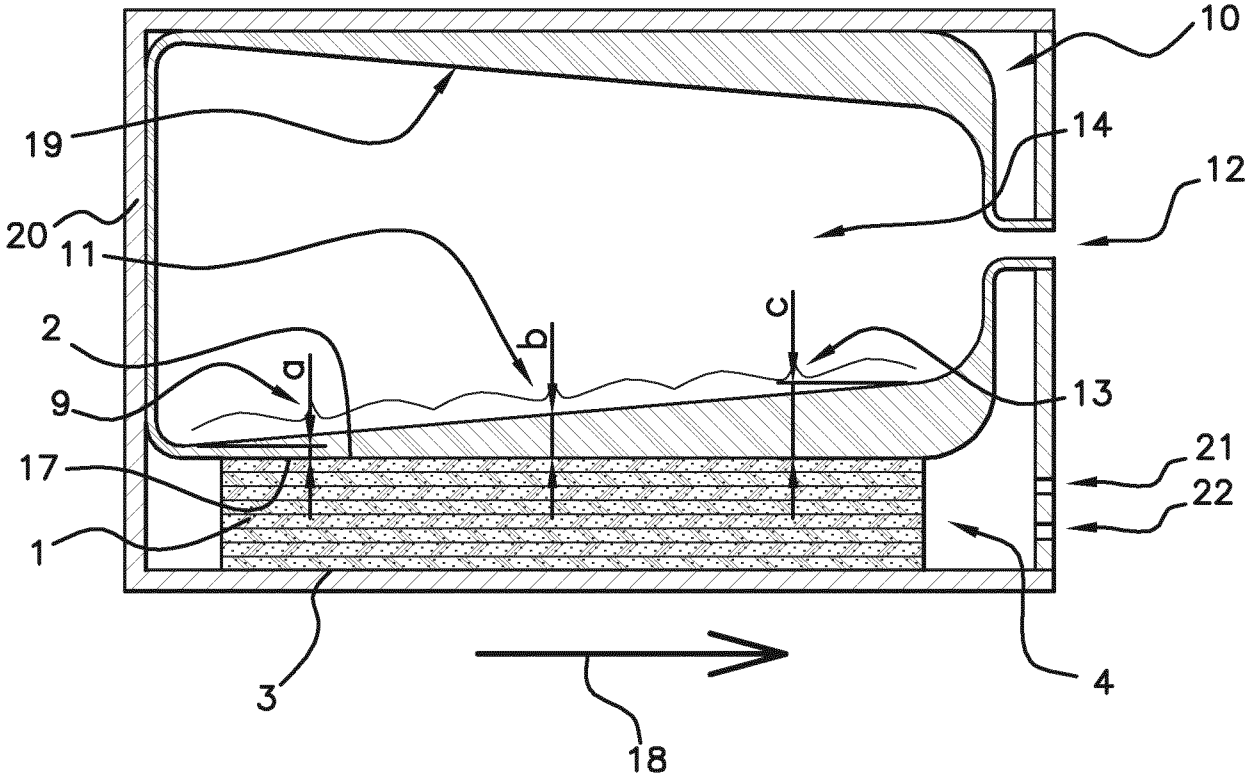

10
19
14
12
20
11
2
a
b
c
9
13
17
21
22
1
4
3
18

Fig 3a

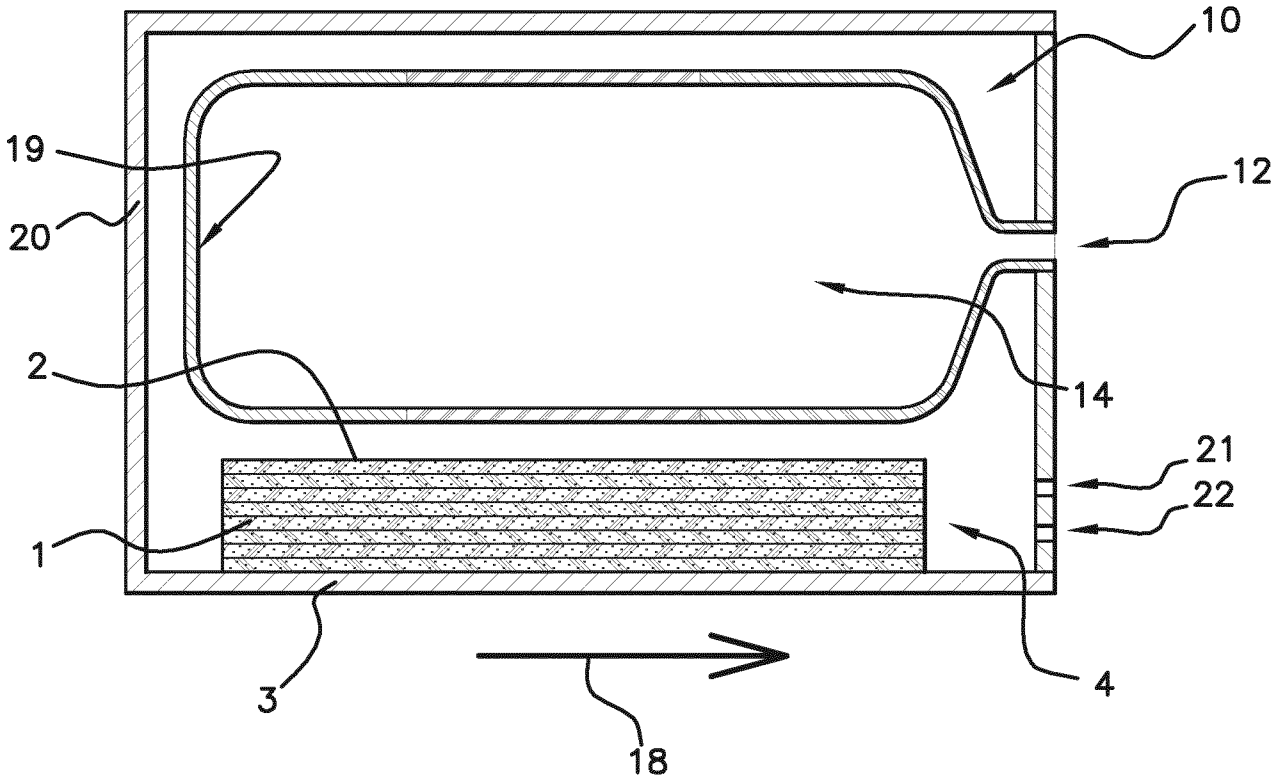


Fig 3b

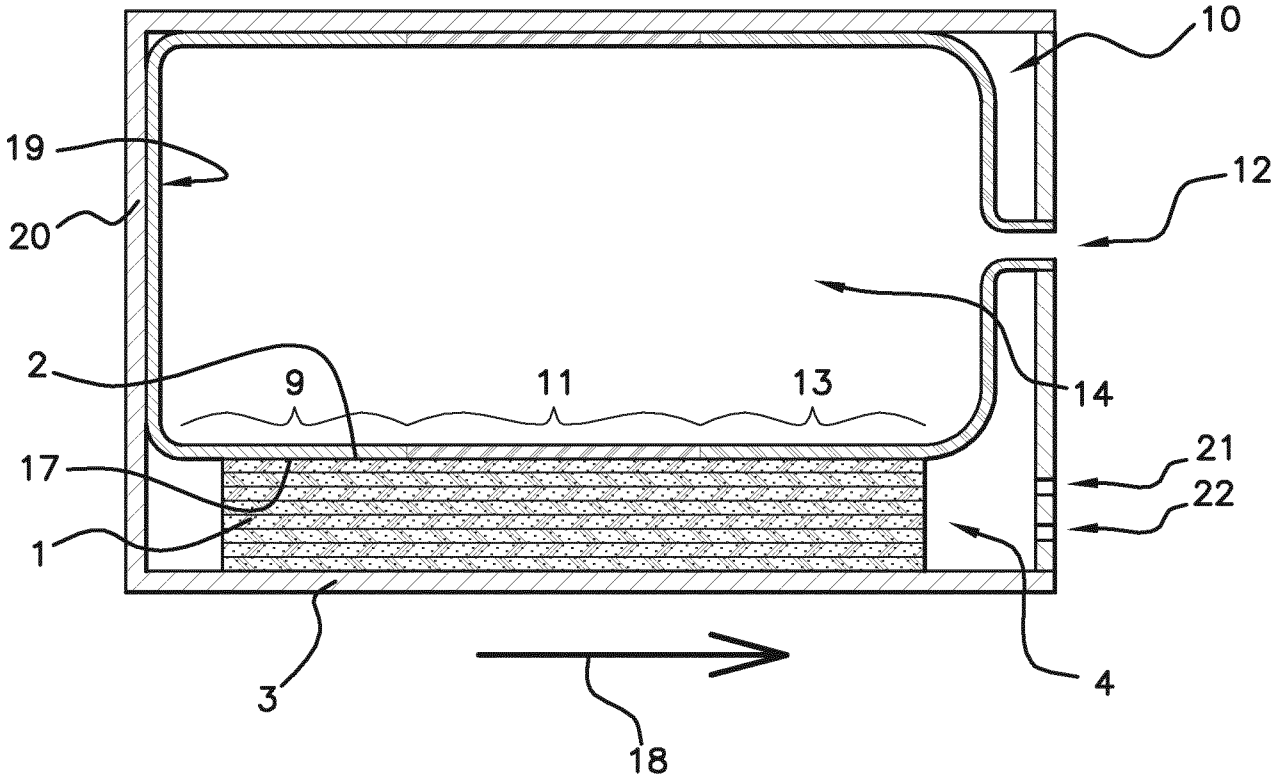
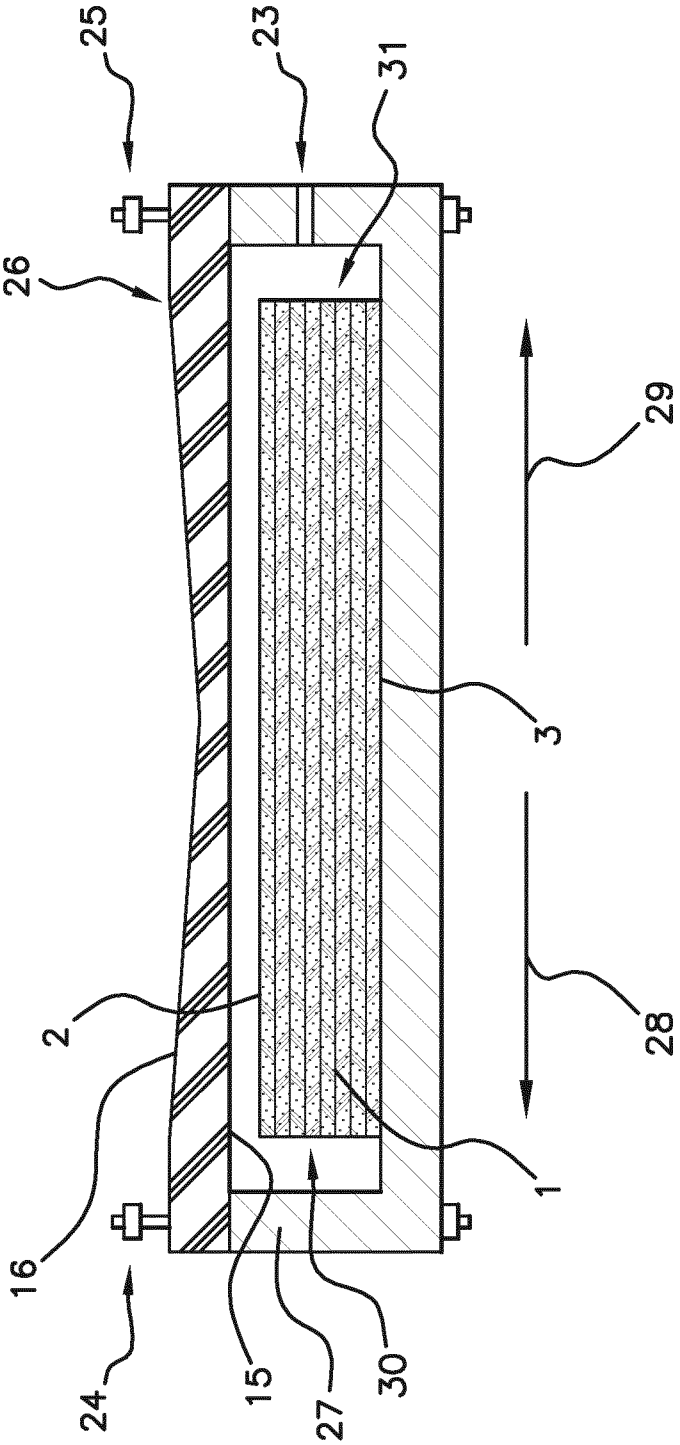


Fig 4



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/082187

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B29C70/44 B29C33/40
ADD.

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)
B29C

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 3 128 322 A (YOUNG RICHARD E) 7 April 1964 (1964-04-07) cited in the application	1,2,6-8, 10-15
Y	figures 1-3 column 2, line 58 - column 3, line 43 column 4, line 56 - line 63 column 6, line 17 - line 50 -----	3-5,9
Y	EP 2 762 297 A1 (SIEMENS AG [DE]) 6 August 2014 (2014-08-06) cited in the application abstract paragraph [0007] - paragraph [0027] figure 4 -----	3-5,9

☐ 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	Date of mailing of the international search report
7 April 2017	18/04/2017

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lozza, Monica

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/082187

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 3128322 A	07-04-1964	NONE	
EP 2762297 A1	06-08-2014	CN 103963316 A	06-08-2014
		EP 2762297 A1	06-08-2014
		US 2014217651 A1	07-08-2014

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2016/082187

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. B29C70/44 B29C33/40
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)
B29C

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

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 3 128 322 A (YOUNG RICHARD E) 7 avril 1964 (1964-04-07) cité dans la demande	1,2,6-8, 10-15
Y	figures 1-3 colonne 2, ligne 58 - colonne 3, ligne 43 colonne 4, ligne 56 - ligne 63 colonne 6, ligne 17 - ligne 50 -----	3-5,9
Y	EP 2 762 297 A1 (SIEMENS AG [DE]) 6 août 2014 (2014-08-06) cité dans la demande abrégé alinéa [0007] - alinéa [0027] figure 4 -----	3-5,9

☐ 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
7 avril 2017	18/04/2017

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Lozza, Monica

Formulaire PCT/ISA/210 (deuxième feuille) (avril 2005)

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2016/082187

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 3128322 A	07-04-1964	AUCUN	
EP 2762297 A1	06-08-2014	CN 103963316 A	06-08-2014
		EP 2762297 A1	06-08-2014
		US 2014217651 A1	07-08-2014