

⑤④ Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque et installation de fabrication correspondante.

②② Date de dépôt : 14.01.22.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public —FR, Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites Centre Technique Industriel FR et Université Savoie Mont Blanc Etablissement public — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public de la demande : 21.07.23 Bulletin 23/29.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du brevet d'invention : 02.05.25 Bulletin 25/18.

⑦② Inventeur(s) : DUIGOU TATIANA, FRANCESCATO PASCAL et GAUME JULIEN.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦③ Titulaire(s) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES Etablissement public, Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites Centre Technique Industriel, Université Savoie Mont Blanc Etablissement public.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET GERMAIN ET MAUREAU.



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque et installation de fabrication correspondante

Domaine technique de l'invention

- [0001] La présente invention se rapporte au domaine de la fabrication des modules photovoltaïques, qui comportent un ensemble de cellules photovoltaïques reliées entre elles électriquement, et préférentiellement des cellules photovoltaïques dites « cristallines », c'est-à-dire qui sont à base de silicium monocristallin ou multicristallin.
- [0002] Plus précisément, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque et une installation de fabrication comprenant les éléments matériels pour la mise en œuvre d'un tel procédé.
- [0003] L'invention peut être mise en œuvre pour de nombreuses applications, notamment civiles et/ou militaires, par exemple des applications autonomes et/ou embarquées, étant particulièrement concernées par les applications qui requièrent l'utilisation de modules photovoltaïques sans plaque de verre et légers, en particulier d'une masse par unité de surface inférieure à 5 kg/m², et de faible épaisseur, notamment inférieure à 5 mm. Elle peut ainsi notamment être appliquée pour des bâtiments tels que des habitats ou locaux industriels (tertiaires, commerciaux, ...), par exemple pour la réalisation de leurs toitures, pour la conception de mobilier urbain, par exemple pour de l'éclairage public, la signalisation routière ou encore la recharge de voitures électriques, voire également être utilisée pour des applications nomades (mobilité solaire), en particulier pour une intégration sur des véhicules, tels que voitures, bus ou bateaux, des drones, des ballons dirigeables, entre autres.
- [0004] L'invention propose ainsi une solution permettant de fabriquer un module photovoltaïque léger tout en étant suffisamment résistant et présentant très avantageusement des formes gauches. Dans le reste du document, une forme dite gauche est une forme non plane, courbe, incurvée, bombée ou creuse, et plus généralement présentant une forme générale en trois dimensions non orientée suivant un plan principal.

Etat de la technique

- [0005] Un module photovoltaïque est un assemblage de cellules photovoltaïques disposées côte à côte entre une première couche transparente formant une face avant du module photovoltaïque et une seconde couche formant une face arrière du module photovoltaïque.
- [0006] La première couche formant la face avant du module photovoltaïque est avantageusement transparente pour permettre aux cellules photovoltaïques de recevoir un flux lumineux. Elle est traditionnellement réalisée en une seule plaque de verre,

notamment du verre trempé, présentant une épaisseur typiquement comprise entre 2 et 4 mm, classiquement de l'ordre de 3 mm.

- [0007] La deuxième couche formant la face arrière du module photovoltaïque peut quant à elle être réalisée à base de verre, de métal ou de plastique, entre autres. Elle est souvent formée par une structure polymérique à base d'un polymère isolant électrique, par exemple du type polytéréphtalate d'éthylène (PET) ou polyamide (PA), pouvant être protégée par au moins une couche à base de polymères fluorés, comme le polyfluorure de vinyle (PVF) ou le polyfluorure de vinylidène (PVDF), et ayant une épaisseur totale de l'ordre de 300-400 μm .
- [0008] Les cellules photovoltaïques peuvent être reliées électriquement entre elles par des éléments de contact électrique avant et arrière, appelés conducteurs de liaison, et formés par exemple par des bandes de cuivre étamé, respectivement disposées contre les faces avant (faces se trouvant en regard de la face avant du module photovoltaïque destinée à recevoir un flux lumineux) et arrière (faces se trouvant en regard de la face arrière du module photovoltaïque) de chacune des cellules photovoltaïques, ou bien encore uniquement en face arrière pour les cellules photovoltaïques de type IBC (pour « Interdigitated Back Contact » selon la terminologie anglosaxonne appropriée).
- [0009] Il est à noter que les cellules photovoltaïques de type IBC sont des structures pour lesquelles les contacts sont réalisés sur la face arrière de la cellule en forme de peignes interdigités. Elles sont par exemple décrites dans le document US4478879A.
- [0010] Par ailleurs, les cellules photovoltaïques, situées entre les première et deuxième couches formant respectivement les faces avant et arrière du module photovoltaïque, peuvent être encapsulées. De façon classique, l'encapsulant choisi correspond à un polymère du type élastomère (ou caoutchouc), et peut par exemple consister en l'utilisation de deux couches (ou films) de poly(éthylène-acétate de vinyle) (EVA) entre lesquelles sont disposées les cellules photovoltaïques et les conducteurs de liaison des cellules. Chaque couche d'encapsulant peut présenter une épaisseur d'au moins 0,2 mm et un module de Young typiquement compris entre 2 et 400 MPa à température ambiante.
- [0011] On a ainsi représenté partiellement et schématiquement, respectivement en coupe sur la [Fig.1] et en vue éclatée sur la [Fig.2], un exemple classique de module photovoltaïque 1 comportant des cellules photovoltaïques 4 cristallines.
- [0012] Comme décrit précédemment, le module photovoltaïque 1 comporte une face avant 2, généralement réalisée en verre trempé transparent d'épaisseur d'environ 3 mm, et une face arrière 5, par exemple constituée par une feuille polymère, opaque ou transparente, monocouche ou multicouche, ayant un module de Young supérieur à 400 MPa à température ambiante.
- [0013] Entre les faces avant 2 et arrière 5 du module photovoltaïque 1 se situent les cellules

photovoltaïques 4, reliées électriquement entre elles par des conducteurs de liaison 6 et immergées entre deux couches avant 3a et arrière 3b de matériau d'encapsulation formant toutes les deux un ensemble encapsulant 3.

- [0014] La [Fig.1A] représente en outre une variante de réalisation de l'exemple de la [Fig.1] dans laquelle les cellules photovoltaïques 4 sont de type IBC, les conducteurs de liaison 6 étant uniquement disposés contre les faces arrière des cellules photovoltaïques 4.
- [0015] Par ailleurs, les figures 1 et 2 représentent également la boîte de jonction 7 du module photovoltaïque 1, destinée à recevoir le câblage nécessaire à l'exploitation du module. Classiquement, cette boîte de jonction 7 est réalisée en plastique ou en caoutchouc, et présente une étanchéité complète.
- [0016] De façon habituelle, le procédé de réalisation du module photovoltaïque 1 comporte une étape dite de lamination sous vide des différentes couches décrites précédemment, à une température supérieure ou égale à 120°C, voire 140°C, voire encore 150°C, et inférieure ou égale à 170°C, typiquement comprise entre 145 et 165°C, et pendant une durée du cycle de lamination d'au moins 10 minutes, voire 15 minutes.
- [0017] Pendant cette étape de lamination, les couches de matériau d'encapsulation 3a et 3b subissent une fusion et viennent englober les cellules photovoltaïques 4, en même temps que l'adhérence se crée à toutes les interfaces entre les couches, à savoir entre la face avant 2 et la couche avant de matériau d'encapsulation 3a, la couche avant de matériau d'encapsulation 3a et les faces avant 4a des cellules photovoltaïques 4, les faces arrière 4b des cellules photovoltaïques 4 et la couche arrière de matériau d'encapsulation 3b, et la couche arrière de matériau d'encapsulation 3b et la face arrière 5 du module photovoltaïque 1. Le module photovoltaïque 1 obtenu est ensuite encadré, typiquement par le biais d'un profilé en aluminium.
- [0018] Une telle structure est maintenant devenue un standard qui possède une résistance mécanique importante grâce à l'utilisation d'une face avant 2 en verre épais et du cadre aluminium, lui permettant, notamment et dans la majorité des cas, de respecter les normes IEC 61215 et IEC 61730.
- [0019] Néanmoins, un tel module photovoltaïque 1 présente l'inconvénient d'avoir une masse élevée, en particulier une masse par unité de surface d'environ 10 à 12 kg/m², et n'est ainsi pas adapté pour certaines applications pour lesquelles la légèreté est une priorité.
- [0020] Cette masse élevée du module photovoltaïque 1 provient principalement de la présence du verre épais, avec une épaisseur d'environ 3 mm, pour former la face avant 2, la densité du verre étant en effet élevée, de l'ordre de 2,5 kg/m²/mm d'épaisseur, et du cadre aluminium. Pour pouvoir résister aux contraintes lors de la fabrication et également pour des raisons de sécurité, par exemple du fait du risque de coupure, le

verre est trempé. Or, l'infrastructure industrielle de la trempe thermique est configurée pour traiter du verre d'au moins 3 mm d'épaisseur. En outre, le choix d'avoir une épaisseur de verre d'environ 3 mm est également lié à une résistance mécanique à la pression normée de 5,4 kPa. En définitif, le verre représente ainsi à lui seul pratiquement 70 % de la masse du module photovoltaïque 1, et plus de 80 % avec le cadre en aluminium autour du module photovoltaïque 1.

- [0021] Aussi, afin d'obtenir une réduction significative de la masse d'un module photovoltaïque pour permettre son utilisation dans de nouvelles applications exigeantes en termes de légèreté et de mise en forme, il existe un besoin pour trouver une solution alternative à l'utilisation d'un verre épais en face avant du module, par de nouveaux matériaux plastiques ou composites avec pour but premier la diminution importante de la masse surfacique.
- [0022] Ainsi, des feuilles de polymères, comme le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyfluorure de vinylidène (PVDF), l'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE), l'éthylène chlorotrifluoroéthylène (ECTFE), ou l'éthylène propylène fluoré (FEP), peuvent représenter une alternative au verre. Cependant, lorsque seul le remplacement du verre par une telle feuille mince de polymères est envisagé, la cellule photovoltaïque devient très vulnérable au choc, à la charge mécanique et aux dilatations différentielles.
- [0023] Une alternative est l'utilisation de matériaux composites à base de fibres de renfort en face avant, en remplacement du verre standard. Le gain de masse peut être significativement important en dépit d'une moins bonne transparence.
- [0024] Le remplacement du verre en face avant des modules photovoltaïques a fait l'objet de plusieurs brevets ou demandes de brevet dans l'art antérieur. On peut ainsi citer à ce titre la demande de brevet FR2955051A1, la demande de brevet américain US2005/0178428A1 ou encore les demandes internationales WO2008/019229A2 et WO2012/140585A1. D'autres brevets ou demandes de brevet ont décrit l'utilisation de matériaux composites, comme par exemple la demande de brevet européen EP2863443A1, ou encore les demandes internationales WO2018/076525A1, WO2019/006764A1 et WO2019/006765A1.
- [0025] Toutefois, aucune de ces solutions actuellement connues ne permet de parvenir à la fabrication d'un module photovoltaïque qui soit, outre le fait d'être léger (donc sans verre) et résistant comme l'exigent les besoins des applications pratiques et les normes administratives, conformé suivant une forme gauche, en particulier conformé typiquement avec une courbure qui peut être identique ou différente selon deux axes distincts d'un repère associé au module photovoltaïque, et de surcroît réalisée de manière simple, rapide, efficace et économique, et idéalement en utilisant uniquement des matières recyclables.

Objet de l'invention

- [0026] L'invention a donc pour but de remédier au moins partiellement aux besoins mentionnés précédemment et aux inconvénients relatifs aux réalisations de l'art antérieur.
- [0027] L'invention a ainsi pour objet, selon l'un de ses aspects, un procédé de fabrication d'un module photovoltaïque (10), comprenant les étapes suivantes :
- [0028] E1) fourniture d'une première couche ayant une forme gauche, transparente et destinée à former une face avant du module photovoltaïque destinée à recevoir un flux lumineux,
- [0029] E2) fabrication d'une deuxième couche ayant une forme gauche et destinée à former une face arrière du module photovoltaïque,
- [0030] E3) mise en place d'un empilement dans un moule d'assemblage, mise en œuvre après les étapes E1 et E2, dans laquelle :
- [0031] i. l'empilement comprend la première couche, une pluralité de cellules photovoltaïques disposées côte à côte et reliées électriquement entre elles, la deuxième couche et au moins un matériau d'encapsulation, l'empilement étant tel que l'au moins un matériau d'encapsulation et la pluralité de cellules photovoltaïques sont situés entre les première et deuxième couches,
- [0032] ii. et le moule d'assemblage a une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprend une première partie de moule rigide délimitant une première empreinte de forme gauche complémentaire de la forme gauche de la première couche et une deuxième partie de moule rigide délimitant une deuxième empreinte de forme gauche complémentaire de la forme gauche de la deuxième couche, la première partie de moule et la deuxième partie de moule étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage, la première partie de moule et la deuxième partie de moule sont espacées d'un entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir l'empilement,
- [0033] E4) assemblage, mise en œuvre après l'étape E3, dans laquelle la configuration de fermeture du moule d'assemblage étant adoptée, la température au sein de l'empilement est maintenue à une température fonctionnelle comprise entre 70°C et 180°C, et de préférence entre 80°C et 150°C, pendant une période d'assemblage adaptée en fonction de l'au moins un matériau d'encapsulation pour que l'au moins un matériau d'encapsulation subisse une fusion au moins partiellement et créer un ensemble encapsulant apte à adhérer d'une part à la pluralité de cellules photovoltaïques et d'autre part à la première couche et/ou à la deuxième couche.
- [0034] Certains aspects préférés mais non limitatifs sont les suivants.
- [0035] Selon un mode de réalisation, la première couche est formée dans un matériau thermoplastique.

- [0036] Selon un mode de réalisation, la première couche est un premier matériau composite formé à base d'un premier polymère et de premières fibres,
- [0037] le premier polymère étant choisi parmi : l'éthylène chlorotrifluoroéthylène (ECTFE), l'éthylène propylène fluoré (FEP), l'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE), le poly-fluorure de vinylidène (PVDF), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polycarbonate (PC), le polytéréphtalate d'éthylène (PET), le polyamide (PA), le styrène-acrylonitrile (SAN), le polystyrène (PS),
- [0038] et les premières fibres étant choisies parmi les fibres de verre, d'aramide et/ou les fibres naturelles.
- [0039] Selon un mode de réalisation, le premier polymère est le polycarbonate (PC) ou le styrène-acrylonitrile (SAN) et les premières fibres sont des fibres de verre.
- [0040] Selon un mode de réalisation, l'étape E1 comprend les étapes suivantes :
- [0041] E11) préparation du premier matériau composite, sous la forme d'une plaque de composite thermoplastique renforcé de fibres,
- [0042] E12) mise en place du premier matériau composite dans un moule de préparation, le moule de préparation ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de préparation rigides et délimitant deux empreintes de préparation de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la première couche, les deux parties de moule de préparation étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de préparation, les deux parties de moule de préparation sont espacées d'un entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le premier matériau composite,
- [0043] E13) chauffage du premier matériau composite à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse du premier matériau composite, l'écart entre ladite température et la température de transition vitreuse étant compris entre 0 et 20°C,
- [0044] E14) application sur le premier matériau composite, par les deux parties de moule de préparation, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment supérieure à 10 bars et préférentiellement de l'ordre de 15 bars, en plaçant le moule de préparation dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.
- [0045] Selon un mode de réalisation, les deux parties de moule de préparation sont respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule du moule d'assemblage, l'étape E1 comprenant une étape E10 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de préparation dans la configuration de fermeture du moule de préparation dans l'étape E14, par rapport à l'entrefer présent l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage.
- [0046] Selon un mode de réalisation, la première couche présente une épaisseur inférieure à

1,5 mm, préférentiellement de l'ordre de 0,5 mm.

- [0047] Selon un mode de réalisation, la deuxième couche est formée dans un matériau thermoplastique.
- [0048] Selon un mode de réalisation, la deuxième couche est un deuxième matériau composite formé à base d'un deuxième polymère et de fibres, notamment formé à partir d'un préimprégné,
- [0049] le deuxième polymère étant choisi parmi : le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polyetheretherketone (PEEK), le polyéthercétonecétone (PEKK), le sulfure de polyphénylène (PPS), le polyamide (PA), le polystyrène (PS),
- [0050] et les fibres étant choisies parmi les fibres de verre, de carbone, d'aramide et/ou les fibres naturelles, notamment le chanvre, le lin et/ou la soie.
- [0051] Selon un mode de réalisation, le deuxième polymère est le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polycarbonate (PC), ou le polyamide (PA), et les deuxièmes fibres sont des fibres de verre.
- [0052] Selon un mode de réalisation, l'étape E2 comprend les étapes suivantes :
- [0053] E21) fourniture du deuxième matériau composite,
- [0054] E22) mise en place du deuxième matériau composite dans un moule de fabrication, le moule de fabrication ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de fabrication rigides et délimitant deux empreintes de fabrication de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la deuxième couche, les deux parties de moule de fabrication étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de fabrication, les deux parties de moule de fabrication sont espacées d'un entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le deuxième matériau composite,
- [0055] E23) chauffage du deuxième matériau composite à une température sensiblement égale (à 10°C près) à la température de transition vitreuse du deuxième matériau,
- [0056] E24) application sur le deuxième matériau composite, par les deux parties de moule de fabrication, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment de l'ordre de 10 bars, en plaçant le moule de fabrication dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.
- [0057] Selon un mode de réalisation, les deux parties de moule de fabrication sont respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule du moule d'assemblage, l'étape E2 comprenant une étape E20 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de fabrication dans la configuration de fermeture du moule de fabrication dans l'étape E24, par rapport à l'entrefer présent l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage.

- [0058] Selon un mode de réalisation, la deuxième couche présente une épaisseur inférieure à 2 mm, préférentiellement de l'ordre de 1,5 mm.
- [0059] Selon un mode de réalisation, durant l'étape E4, la pression du gaz présent dans la cavité du moule d'assemblage est maintenue, pendant la période d'assemblage, inférieure à -0,5 bar, préférentiellement entre -0,7 bar et -1 bar.
- [0060] Selon un mode de réalisation, l'étape E4 comprend une étape E41 durant laquelle les première et deuxième parties de moule (22, 24) du moule d'assemblage exercent, sur l'empilement, une pression mécanique inférieure ou égale à 5 bars.
- [0061] Selon un mode de réalisation, l'étape E41 débute après que la température fonctionnelle soit atteinte, après une période prédéterminée non nulle comprise entre 0,5 min et 2 min et préférentiellement de l'ordre de 1 min.
- [0062] Selon un mode de réalisation, l'étape E41 est mise en œuvre durant une période comprise entre 30 s et 10 min.
- [0063] Selon un mode de réalisation, le procédé de fabrication comprend une étape E5 consistant à chauffer le moule d'assemblage à une température supérieure ou égale à la température fonctionnelle, l'étape E5 étant mise en œuvre avant l'étape E4.
- [0064] Selon un mode de réalisation, le procédé de fabrication comprend une étape E6 consistant à chauffer l'empilement au moyen d'une source de chaleur par infrarouge, l'étape E6 étant réalisée après l'étape E3 et avant l'étape E4.
- [0065] Selon un mode de réalisation, le procédé de fabrication comprend une étape E7 de refroidissement de l'empilement, ladite étape E7 étant assurée pendant que les première et deuxième parties de moule du moule d'assemblage exercent, sur l'empilement, une pression mécanique inférieure ou égale à 5 bars.

Description sommaire des dessins

- [0066] D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront mieux à la lecture de la description détaillée suivante de modes de réalisation préférés de celle-ci, donnée à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :
- [0067] [Fig.1] La [Fig.1] représente, en coupe, un exemple classique de module photovoltaïque comportant des cellules photovoltaïques cristallines,
- [0068] [Fig.1A] La [Fig.1A] représente une variante de réalisation de l'exemple de la [Fig.1] dans laquelle les cellules photovoltaïques sont de type IBC,
- [0069] [Fig.2] La [Fig.2] représente, en vue éclatée, le module photovoltaïque de la [Fig.1],
- [0070] [Fig.3] La [Fig.3] représente, sous forme d'ordinogramme, les différentes étapes d'un exemple de procédé de fabrication selon l'invention,
- [0071] [Fig.4] La [Fig.4] représente, en perspective, un exemple de module photovoltaïque qui peut être obtenu par la mise en œuvre d'un procédé de fabrication selon l'invention,

- [0072] [Fig.5] La [Fig.5] représente, en perspective, un exemple de moule d'assemblage apte à être utilisé pour la mise en œuvre d'un procédé de fabrication selon l'invention,
- [0073] [Fig.6] La [Fig.6] est une visualisation schématique du retour élastique d'un exemple de module photovoltaïque réalisé par la mise en œuvre d'un exemple de procédé de fabrication selon l'invention.
- [0074] [Fig.7] La [Fig.7] représente une courbe illustrant un exemple d'évolution, avec différentes phases successives, de la température adoptée par le moule d'assemblage en fonction du temps dans un exemple de procédé de fabrication selon l'invention,
- [0075] [Fig.8] La [Fig.8] représente schématiquement le comportement du moule d'assemblage et de l'empilement durant les différentes phases correspondant à celles définies sur la [Fig.7].

Description détaillée

- [0076] Les figures 1, 1A et 2 ont déjà été décrites dans la partie relative à l'état de la technique antérieure.
- [0077] La [Fig.3] représente sous forme d'ordinogramme les différentes étapes d'un exemple de procédé de fabrication selon l'invention.
- [0078] La mise en œuvre de ces étapes permet notamment l'obtention d'un module photovoltaïque 10, dont un exemple est représenté sur la [Fig.4], ayant la particularité de présenter une forme générale gauche, non plane, ce terme « forme gauche » ayant été précédemment défini dans la partie relative à l'état de la technique.
- [0079] Le module photovoltaïque 10 qui peut être obtenu comprend au moins :
- [0080] – une première couche 12 ayant une forme gauche, transparente et destinée à former une face avant du module photovoltaïque 10 destinée à recevoir un flux lumineux,
- une deuxième couche 14 ayant une forme gauche et destinée à former une face arrière du module photovoltaïque 10,
- une pluralité de cellules photovoltaïques 16 disposées côte à côte et reliées électriquement entre elles,
- un ensemble encapsulant 18 assurant une encapsulation de tout ou partie des cellules photovoltaïques 16.
- [0081] Dans ce module photovoltaïque 10 de forme gauche, donc non plan, les cellules photovoltaïques 16 et l'ensemble encapsulant 18 sont disposés entre la première couche 12 et la deuxième couche 14. Ces dispositions sont représentées sur la [Fig.4], en vue éclatée.
- [0082] De manière générale, la première couche 12 est formée en une ou plusieurs parties, à savoir qu'elle peut être monocouche ou multicouche. La deuxième couche 14 peut aussi être formée en une ou plusieurs parties, à savoir qu'elle peut être monocouche ou

multicouche.

- [0083] Le terme « transparent » signifie que la première couche 12 formant la face avant du module photovoltaïque 10 est au moins partiellement transparente à la lumière visible, laissant passer au moins environ 80% de cette lumière. En particulier, la transparence optique, entre 300 et 1200 nm, de la première couche 12 peut être supérieure à 80%.
- [0084] En outre, par le terme « encapsulant », il faut comprendre que la pluralité de cellules photovoltaïques 16 est disposée dans un volume, par exemple hermétiquement clos vis-à-vis des liquides, au moins en partie formé par au moins deux couches de matériau(x) d'encapsulation, réunies entre elles, à l'issue du procédé de fabrication qui sera décrit, pour former l'ensemble encapsulant 18.
- [0085] En effet, initialement, c'est-à-dire avant la mise en œuvre de l'étape E4 qui sera décrite plus loin, l'ensemble encapsulant 18 est constitué par au moins une couche d'un matériau d'encapsulation 181 située entre la pluralité de cellules photovoltaïques 16 et la première couche 12 et/ou au moins une couche d'un matériau d'encapsulation 182 située entre la pluralité de cellules photovoltaïques 16 et la deuxième couche 14. Toutefois, ce n'est que pendant l'étape E4 que ce matériau d'encapsulation des couches 181, 182 va subir une fusion au moins partielle pour former, après refroidissement, l'ensemble encapsulant 18 solidifié et dans lequel sont noyées les cellules photovoltaïques 16.
- [0086] Dans l'exemple de la [Fig.4], la première couche 12 est conformée avec une courbure qui peut être identique ou différente selon deux axes distincts d'un repère associé au module photovoltaïque 10. De manière complémentaire, la deuxième 14 est conformée avec une courbure qui peut être identique ou différente selon deux axes distincts d'un repère associé au module photovoltaïque 10. Il peut notamment être prévu que les courbures soient identiques pour la première couche 12 et pour la deuxième couche 14, garantissant une identité de formes pour les première et deuxième couches 12, 14 et facilitant leur superposition au sein de l'empilement.
- [0087] Les cellules photovoltaïques 16 peuvent être choisies parmi : des cellules photovoltaïques homojonction ou hétérojonction à base de silicium monocristallin (c-Si) et/ou multi-cristallin (mc-Si), et/ou des cellules photovoltaïques de type IBC, et/ou des cellules photovoltaïques comprenant au moins un matériau parmi le silicium amorphe (a-Si), le silicium microcristallin (μ C-Si), le tellure de cadmium (CdTe), le cuivre-indium sélénure (CIS) et le cuivre-indium/gallium disélénure (CIGS), les perovskites, entre autres.
- [0088] Par ailleurs, les cellules photovoltaïques 16 peuvent présenter une épaisseur comprise entre 1 et 300 μ m, notamment entre 1 et 200 μ m, et avantageusement entre 70 μ m et 160 μ m.
- [0089] Le module photovoltaïque 10 peut en outre comporter une boîte de jonction (non

visible sur la [Fig.4]), destinée à recevoir le câblage nécessaire à l'exploitation du module photovoltaïque 10 et pouvant être positionnée en face avant ou en face arrière du module, préférentiellement en face avant. La manière de réaliser cette boîte de jonction n'est pas limitative en soi et toute technique connue peut être utilisée.

- [0090] En outre, l'espacement entre deux cellules photovoltaïques 16 voisines, ou encore consécutives ou adjacentes, peut être supérieur ou égal à 1 mm, notamment compris entre 1 et 30 mm, et de préférence égal à 2 mm.
- [0091] Comme cela est visible sur la [Fig.3], le procédé de fabrication comprend une étape E1 de fourniture de la première couche 12 de telle manière qu'elle présente sa forme gauche et ses caractéristiques de transparence. Le procédé de fabrication comprend aussi une étape E2 de fabrication de la deuxième couche 14 de telle manière qu'elle présente sa forme gauche également. Il est possible de réaliser l'étape E1 avant l'étape E2, ou l'inverse. Alternativement, il est possible de réaliser tout ou partie de l'étape E1 en chevauchement de tout ou partie de l'étape E2.
- [0092] De manière générale, la manière de réaliser l'étape E1 et celle de réaliser l'étape E2 ne sont pas limitatives en soi dès lors qu'elles sont chacune mises en œuvre avec des paramètres adaptés au résultat à obtenir dans chacune d'elles, en vue notamment d'obtenir à l'issue du procédé de fabrication un module photovoltaïque 10 ayant les caractéristiques de légèreté et de résistance recherchées, typiquement en vue de répondre aux normes IEC 61215 et IEC 61730.
- [0093] Des modes de mises en œuvre, non limitatifs mais avantageux, des étapes E1 et E2 seront décrits plus loin.
- [0094] Le procédé de fabrication comprend également une étape E3 de mise en place d'un empilement (décrit ci-après) dans un moule d'assemblage 20. L'étape E3 est mise en œuvre après les étapes E1 et E2. Dans un mode de réalisation, l'empilement est directement réalisé dans le moule d'assemblage 20. Alternativement, l'empilement est au moins partiellement réalisé à l'extérieur du moule d'assemblage 20 avant d'être mis en place et éventuellement finalisé dans le moule d'assemblage 20. Un exemple de tel moule d'assemblage 20 est illustré sur la [Fig.5], lequel est adapté à l'obtention du module photovoltaïque 10 de la [Fig.4].
- [0095] Durant l'étape E3, l'empilement comprend la première couche 12, la pluralité de cellules photovoltaïques 16 disposées côte à côte et reliées électriquement entre elles, la deuxième couche 14 et au moins un matériau d'encapsulation 181, 182. Comme cela l'a été indiqué précédemment, l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 et la pluralité de cellules photovoltaïques 16 sont situés entre les première et deuxième couches 12, 14.
- [0096] Pour la mise en œuvre de l'étape E3, le moule d'assemblage 20 est configuré de sorte à présenter une aptitude à occuper une configuration de fermeture, en particulier en

variant entre cette configuration de fermeture (non illustrée) et une configuration d'ouverture (illustrée sur la [Fig.5]). Le moule d'assemblage 20 comprend généralement une première partie de moule 22 rigide délimitant une première empreinte 220 ayant une forme gauche complémentaire de la forme gauche de la première couche 12. Le moule d'assemblage 20 comprend aussi une deuxième partie de moule 24 rigide délimitant une deuxième empreinte 240 présentant une forme gauche complémentaire de la forme gauche de la deuxième couche 14. En fonction de la conception du moule d'assemblage 20, le passage de la configuration de fermeture à la configuration d'ouverture et réciproquement peut se faire par un mouvement relatif entre la première partie de moule 22 et la deuxième partie de moule 24, ce mouvement relatif étant une combinaison entre :

- [0097] – une translation suivant un premier axe du repère associé au module photovoltaïque 10 à obtenir et orienté suivant la direction selon laquelle les différentes couches et éléments de l'empilement sont empilés,
 - et/ou une pivotement autour d'un deuxième axe de ce repère orienté transversalement au premier axe.
- [0098] La première partie de moule 22 et la deuxième partie de moule 24 sont telles que, dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage 20, la première partie de moule 22 et la deuxième partie de moule 24 sont espacées d'un premier entrefer prédéterminé 26 et délimitent entre elles une cavité 28 apte à recevoir l'empilement défini ci-avant. L'entrefer prédéterminé 26 et la cavité 28 sont schématisés sur la [Fig.8] détaillée plus loin sur laquelle il est à noter qu'un premier joint 222 de la première partie de moule 22 vient en contact contre un deuxième joint 242 de la deuxième partie de moule 24 afin d'assurer une étanchéité telle que, dans la configuration de fermeture, la cavité 28 peut être mise dans des conditions de dépression en comparaison de la pression ambiante à l'extérieur du moule d'assemblage 20. Il est éventuellement possible d'avoir une dépression dans la cavité sans mise en pression de la pièce.
- [0099] La mise en place du premier entrefer prédéterminé 26 dans la configuration de fermeture peut résulter de la mise en butée mécanique d'une première butée solidaire de la première partie de moule 22 contre une deuxième butée solidaire de la deuxième partie de moule 24, la mise en butée mécanique de ces première et deuxième butées s'accompagnant de la mise en place de l'étanchéité décrite dans le paragraphe précédent au moyen des premier et deuxième joints 222, 242.
- [0100] Préférentiellement, le moule d'assemblage 20 comprend des éléments de réglage configurés de sorte à ajuster la valeur de l'entrefer prédéterminé 26, permettant in fine de s'adapter à la valeur de l'épaisseur de l'empilement et de l'épaisseur du module photovoltaïque 10 fabriqué.
- [0101] Selon un mode de réalisation, ces éléments de réglage peuvent être choisis parmi :

- [0102] – des éléments permettant de varier la position de la première butée par rapport au reste de la première partie de moule 22,
 - des éléments permettant de varier la position de la deuxième butée par rapport au reste de la deuxième partie de moule 24,
 - des cales de hauteurs variables aptes à être positionnées entre la première butée et la deuxième butée dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage 20.
- [0103] Le procédé de fabrication comprend ensuite une étape E4 d'assemblage, mise en œuvre après l'étape E3. Durant l'étape E4, la configuration de fermeture du moule d'assemblage 20 est adoptée et la température au sein de l'empilement est maintenue à une température fonctionnelle (notée T_{fonc} sur la [Fig.7]) comprise entre 70°C et 180°C, préférentiellement entre 80°C et 150°C, pendant une période d'assemblage adaptée en fonction de l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 pour que l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 subisse une fusion au moins partiellement et créer l'ensemble encapsulant 18 apte à adhérer d'une part à la pluralité de cellules photovoltaïques 16 et d'autre part à la première couche 12 et/ou à la deuxième couche 14.
- [0104] Le procédé de fabrication décrit ici présente donc la particularité de fournir la première couche 12 et la deuxième couche 14 du module photovoltaïque 10 avant que ce dernier ne soit assemblé conformément à l'étape E4. Autrement dit, les première et deuxième couches 12, 14 ne sont pas fabriquées en même temps que ne se produit l'assemblage des différentes couches du module photovoltaïque 10 obtenu par le procédé de fabrication.
- [0105] Ceci est particulièrement avantageux car il est alors possible de prévoir la réalisation de l'étape E1 et de l'étape E2 dans des conditions de pression et/ou de température qui ne seraient pas supportées par l'étape E4. En particulier, il est possible de mettre en œuvre l'étape E1 et l'étape E2 dans des conditions où la température serait comprise entre 180 et 300°C et où la pression mécanique appliquée respectivement sur la première couche 12 durant l'étape E1, et sur la deuxième couche 14 durant l'étape E2, serait supérieure à 5 bars. Or de telles conditions ne seraient pas supportées (en raison de la forme gauche de l'ensemble des plis ou couches de l'empilement) par l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 sauf à résulter en un fluage de ce dernier susceptible de générer de véritables problèmes tant dans la résistance du module photovoltaïque 10 que pour son homogénéité et la répétabilité du procédé de fabrication, avec des déplacement des cellules photovoltaïques et une rupture des connections électriques ou des cellules.
- [0106] En outre, l'utilisation d'un moule d'assemblage 20 ayant deux parties de moule 22, 24 constituées dans un matériau avantageusement rigide et configuré pour adopter un

entrefer prédéterminé permet de garantir la présence d'un entrefer ayant une valeur parfaitement répétable et indépendante de la pression mécanique appliquée par le moule d'assemblage 20 sur le module photovoltaïque 10 et indépendamment de la pression du gaz présent dans la cavité 28. Ces dispositions garantissent une excellente répétabilité de l'étape E4 d'assemblage et une bonne fiabilité des modules photovoltaïques 10 fabriqués.

- [0107] Ces dispositions sont à distinguer de techniques couramment mises en œuvre où la fabrication d'un module photovoltaïque de forme plane se pratique par une lamination où les couches planes formant les faces avant et arrière du module photovoltaïque sont au moins partiellement fabriquées en même temps que l'ensemble encapsulant n'est formé et où une bache est présente pour appliquer une pression homogène durant une mise en pression de l'empilement dans le cas de formes gauches. La mise en œuvre de telles techniques pour des formes gauches présenterait de grandes difficultés car l'application d'une pression homogène par la bache sur un empilement d'épaisseur non homogène, du fait d'un phénomène de fluage du matériau d'encapsulation vers des points bas du moule résultant des conditions de chauffe, induirait l'obtention inévitable d'un module photovoltaïque ayant une épaisseur non homogène. L'utilisation d'un moule d'assemblage 20 conformément aux étapes E3 et E4 permet de répondre à ces problématiques.
- [0108] Le procédé de fabrication permet la fabrication d'un module photovoltaïque 10 qui soit :
- [0109] – compatible avec une large gamme de masse unitaire de surface pouvant aller de quelques kg/m² jusqu'à plusieurs dizaines de kg/m²,
 – résistant comme l'exigent les besoins des applications pratiques et les normes administratives, typiquement les normes IEC 61215 et IEC 61730,
 – de forme gauche, en particulier conformé typiquement avec une courbure qui peut être identique ou différente selon deux axes distincts d'un repère associé au module photovoltaïque.
- [0110] Il est à noter que la forme gauche du module photovoltaïque 10, en elle-même, peut participer à fournir une grande résistance au module photovoltaïque 10 fabriqué.
- [0111] Le procédé de fabrication présente en outre l'avantage d'être très rapide et facile à mettre en œuvre, le rendant facilement automatisable à grande échelle, d'être efficace et économique, d'offrir une excellente répétabilité et une bonne fiabilité des modules photovoltaïques fabriqués.
- [0112] Le procédé de fabrication présente l'avantage supplémentaire de pouvoir être mis en œuvre en utilisant uniquement des matières recyclables.
- [0113] De préférence, l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 présente une épaisseur comprise entre 100 et 2000 µm et est un élastomère thermoplastique choisi

parmi : polyoléfine, silicone, polyuréthane thermoplastique, polyvinyl butyral, polyoléfine fonctionnelle, ionomère.

- [0114] Préférentiellement, la première couche 12 est formée dans un matériau thermoplastique, ce qui présente un avantage pour l'écoconception en vue de la capacité à être recyclé, ainsi qu'une mise en forme en théorie plus rapide car elle ne nécessite pas un temps incompressible de réticulation. Selon un mode de réalisation, les nombreux essais et simulations menés par la Demanderesse ont permis d'aboutir aux conclusions selon lesquelles la première couche 12 peut notamment être un premier matériau composite formé à base d'un premier polymère et de premières fibres, où :
- [0115] – le premier polymère est choisi parmi : l'éthylène chlorotrifluoroéthylène (ECTFE), l'éthylène propylène fluoré (FEP), l'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE), le polyfluorure de vinylidène (PVDF), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polycarbonate (PC), le polytéréphtalate d'éthylène (PET), le polyamide (PA), le styrène-acrylonitrile (SAN), le polystyrène (PS)
- et les premières fibres sont choisies parmi les fibres de verre, d'aramide et/ou les fibres naturelles.
- [0116] Parmi les nombreux essais, il a pu être déterminé qu'il est très avantageux de prévoir que le premier polymère soit le polycarbonate (PC) ou le styrène-acrylonitrile (SAN) et que les premières fibres soient des fibres de verre.
- [0117] Il n'en demeure pas moins qu'il est envisageable d'adapter le procédé de fabrication de sorte que la première couche 12 soit formée dans un matériau thermodurcissable.
- [0118] Conformément à la [Fig.3], selon un mode de réalisation particulier, l'étape E1 comprend les étapes suivantes :
- [0119] E11) préparation (ou approvisionnement) du premier matériau composite, sous la forme d'une plaque de composite thermoplastique renforcé de fibres,
- [0120] E12) mise en place du premier matériau composite issu de l'étape E11 dans un moule de préparation, le moule de préparation ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de préparation rigides et délimitant deux empreintes de préparation de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la première couche, les deux parties de moule de préparation étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de préparation, les deux parties de moule de préparation sont espacées d'un deuxième entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le premier matériau composite,
- [0121] E13) chauffage du premier matériau composite à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse du premier matériau composite, l'écart entre ladite température et la température de transition vitreuse étant compris entre 0 et 20°C (typiquement une température comprise entre 180°C et 300°C et préférentiellement comprise entre 180°C et 200°C),

- [0122] E14) application sur le premier matériau composite, par les deux parties de moule de préparation, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment supérieure à 10 bars et préférentiellement de l'ordre de 15 bars, en plaçant le moule de préparation dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.
- [0123] Un avantage de la mise en œuvre de ces étapes est de faciliter ensuite l'assemblage. Alternativement, il pourrait s'agir d'un simple thermoformage où seule les étapes E11 à E13 seraient présentes et où la suppression de l'étape E14 ne serait pas appliquée.
- [0124] Le moule de préparation peut être quelconque dès lors qu'il est adapté à la mise en œuvre des étapes E11 à E14. Il n'est pas représenté en soi et n'est pas limitatif. L'Homme du Métier peut utiliser toutes ses connaissances et les techniques adaptées pour la mise en œuvre des étapes E11 à E14.
- [0125] Le premier matériau composite thermoplastique se présentant sous la forme d'une telle plaque de composite thermoplastique renforcé de fibres est aussi connu, dans le domaine technique concerné, sous la terminologie « organosheet ». Autrement dit un organosheet est un assemblage de plis composites déjà compactés.
- [0126] Le premier matériau composite utilisé à l'étape E11 peut présenter une masse surfacique compris entre 25 et 600 g/m², notamment compris entre 300 et 600 g/m², typiquement de l'ordre de 450 g/m².
- [0127] Dans certaines variantes, il est possible de prévoir que les deux parties de moule de préparation soient respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20, l'étape E1 comprenant alors une étape E10 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de préparation dans la configuration de fermeture du moule de préparation dans l'étape E14, par rapport à l'entrefer prédéterminé 26 présent à l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage 20. Cette modification de l'entrefer telle qu'indiquée ici peut être réalisée par l'intermédiaire des éléments de réglage qui ont été précédemment décrits.
- [0128] Un avantage est de pouvoir utiliser le moule d'assemblage 20 en tant que moule de préparation utilisable à l'étape E1, afin de limiter les pièces et les coûts globaux. Un autre avantage est de pouvoir éviter ou limiter les transferts entre l'étape E1 et l'étape E3. Toutefois, notamment dans des applications de grandes séries, il est tout à fait possible que le moule de préparation utilisé dans l'étape E1 soit distinct du moule d'assemblage 20 utilisé dans l'étape E4, permettant la production de série sur des lignes exploitant des postes à la chaîne.
- [0129] Avantagusement, la première couche 12 présente une épaisseur inférieure à 1,5 mm, préférentiellement de l'ordre de 0,5 mm. Un avantage est d'améliorer autant que possible la transparence de la première couche 12 : moins l'épaisseur est grande, meilleure est la transmission optique.

- [0130] Le procédé de fabrication détaillé dans le présent document, opéré dans l'étape E4 en moule d'assemblage 20, notamment fermé et par exemple sous presse chauffante, et qui permet d'atteindre les plages de pression et de température nécessaires à l'assemblage conformément à l'étape E4, permet également d'atteindre les plages de pression et température nécessaires au compactage du premier matériau composite thermoplastique durant l'étape E1, et ce sans que cela ne provoque de fluage gênant des matériaux d'encapsulation 181, 182 situés entre les première et deuxième couches 12, 14 en raison d'une température qui serait sinon excessive. Ceci est nécessaire pour permettre la mise en forme, suivant la forme gauche désirée pour la première couche 12, du premier matériau composite thermoplastique et s'adapte à l'intégration des cellules photovoltaïques 16. De manière générale, il n'est pas forcément nécessaire de prévoir une presse chauffante, en ce sens que les moyens de chauffe peuvent être indifféremment internes ou externes aux outillages du moule d'assemblage
- [0131] Selon un mode de réalisation particulier, l'étape E13 peut être réalisée avant l'étape E12, au moyen d'un système de chauffage par infrarouge, l'étape E14 se faisant alors en utilisant un moule de préparation potentiellement à température ambiante.
- [0132] De plus, préférentiellement, la deuxième couche 14 est formée dans un matériau thermoplastique, ce qui présente un avantage pour l'écoconception en vue de la capacité à être recyclé, ainsi qu'une mise en forme en théorie plus rapide car elle ne nécessite pas un temps incompressible de réticulation. De plus, ce type de matériau est globalement connu pour sa capacité à mieux dissiper l'énergie d'impact que les matériaux thermodurcissables. Selon un mode de réalisation, les nombreux essais et simulations menés par la Demanderesse ont permis d'aboutir aux conclusions selon lesquelles la deuxième couche 14 peut notamment être un deuxième matériau composite formé à base d'un deuxième polymère et de fibres, notamment formé à partir d'un pré-imprégné, où :
- [0133] – le deuxième polymère est choisi parmi : le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polyetheretherketone (PEEK), le polyéthercétonecétone (PEKK), le sulfure de polyphénylène (PPS), le polyamide (PA), le polystyrène (PS),
 – et les fibres sont choisies parmi les fibres de verre, de carbone, d'aramide et/ou les fibres naturelles, notamment le chanvre, le lin et/ou la soie.
- [0134] Parmi les nombreux essais, il a pu être déterminé qu'il est très avantageux de prévoir que le deuxième polymère soit le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polycarbonate (PC), ou le polyamide (PA), et que les deuxièmes fibres soient des fibres de verre.
- [0135] Il n'en demeure pas moins qu'il est envisageable d'adapter le procédé de fabrication de sorte que la deuxième couche 14 soit formée dans un matériau thermodurcissable.

- [0136] Conformément à la [Fig.3], selon un mode de réalisation particulier, l'étape E2 comprend les étapes suivantes :
- [0137] E21) fourniture du deuxième matériau composite,
- [0138] E22) mise en place du deuxième matériau composite issu de l'étape E21 dans un moule de fabrication, le moule de fabrication ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de fabrication rigides et délimitant deux empreintes de fabrication de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la deuxième couche, les deux parties de moule de fabrication étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de fabrication, les deux parties de moule de fabrication sont espacées d'un troisième entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le deuxième matériau composite,
- [0139] E23) chauffage du deuxième matériau composite à une température sensiblement égale (à 10°C près) à la température de transition vitreuse du deuxième matériau (typiquement une température comprise entre 180°C et 300°C et préférentiellement comprise entre 220°C et 260°C),
- [0140] E24) application sur le deuxième matériau composite, par les deux parties de moule de fabrication, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment de l'ordre de 10 bars, en plaçant le moule de fabrication dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.
- [0141] Un avantage de la mise en œuvre de ces étapes est de faciliter ensuite l'assemblage. Alternativement, il pourrait s'agir d'un simple thermoformage où seule les étapes E21 à E23 seraient présentes et où la suppression de l'étape E24 ne serait pas appliquée.
- [0142] Le moule de fabrication peut être quelconque dès lors qu'il est adapté à la mise en œuvre des étapes E21 à E24. Il n'est pas représenté en soi et n'est pas limitatif. L'Homme du Métier peut utiliser toutes ses connaissances et les techniques adaptées pour la mise en œuvre des étapes E21 à E24.
- [0143] Dans certaines variantes, il est possible de prévoir que les deux parties de moule de fabrication soient respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20, l'étape E2 comprenant alors une étape E20 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de fabrication dans la configuration de fermeture du moule de fabrication dans l'étape E24, par rapport à l'entrefer prédéterminé 26 présent l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage 20. Cette modification de l'entrefer telle qu'indiquée ici peut être réalisée par l'intermédiaire des éléments de réglage qui ont été précédemment décrits.
- [0144] Un avantage est de pouvoir utiliser le moule d'assemblage 20 en tant que moule de fabrication utilisable à l'étape E2, afin de limiter les pièces et les coûts globaux. Un autre avantage est de pouvoir éviter ou limiter les transferts entre l'étape E2 et l'étape

E3. Toutefois, notamment dans des applications de grandes séries, il est tout à fait possible que le moule de fabrication utilisé dans l'étape E2 soit distinct du moule d'assemblage 20, permettant la production de série sur des lignes exploitant des postes à la chaîne.

- [0145] Par exemple, la deuxième couche 14 présente une épaisseur inférieure à 2 mm, préférentiellement de l'ordre de 1,5 mm. Cette épaisseur permet une grande résistance, notamment à des impacts extérieurs comme de la grêle par exemple.
- [0146] Le procédé de fabrication détaillé dans le présent document, opéré dans l'étape E4 dans le moule d'assemblage 20, typiquement fermé et sous presse chauffante, et qui permet d'atteindre les plages de pression et de température nécessaires à l'assemblage conformément à l'étape E4, permet également d'atteindre les plages de pression et température nécessaires au compactage du deuxième matériau composite thermoplastique durant l'étape E2, et ce sans que cela ne provoque de fluage gênant des matériaux d'encapsulation 181, 182 situés entre les première et deuxième couches 12, 14 en raison d'une température qui serait sinon excessive. Ceci est nécessaire pour permettre la mise en forme, suivant la forme gauche désirée pour la deuxième couche 14, du deuxième matériau composite thermoplastique et s'adapte à l'intégration des cellules photovoltaïques 16.
- [0147] Selon un mode de réalisation, l'étape E23 est réalisée avant l'étape E22. Alternativement, les étapes E23 et E24 sont réalisées au moins partiellement simultanément, par exemple en associant une presse chauffante au moule de fabrication.
- [0148] Selon un mode de réalisation particulier, durant l'étape E4, la pression du gaz présent dans la cavité 28 du moule d'assemblage 20 est maintenue, pendant la période d'assemblage, inférieure à -0,5 bar, préférentiellement entre -0,7 bar et -1 bar. Autrement dit, l'étape E4 est réalisée dans des conditions proches du vide, pour éviter le défauts dans la pièce finale (bulle, délamination...).
- [0149] Préférentiellement, l'étape E4 comprend une étape E41 durant laquelle les première et deuxième parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20 exercent, sur l'empilement, une pression mécanique inférieure ou égale à 5 bars. Cette pression mécanique, repérée par les flèches F1 sur la [Fig.8] durant les phases P2 et P3, peut être obtenue par le fait que le moule d'assemblage 20 soit associé à une presse apte à exercer cette pression mécanique, par exemple une presse chauffante adaptée en sus à la mise en température nécessaire à la mise en œuvre de l'étape E4.
- [0150] Ainsi, l'étape E4 est préférentiellement opérée à une pression inférieure à 5 bars et une température comprise entre 70 et 180°C, préférentiellement entre 80°C et 150°C, laquelle température permet l'intégration des cellules photovoltaïques 16 dans l'ensemble encapsulant 18. La température de cette mise en œuvre doit être soigneusement ajustée pour éviter autant que possible le fluage de l'ensemble encapsulant

18, favorisé par la forme gauche du module photovoltaïque 10. De même, l'entrefer 26 du moule d'assemblage 20 doit être ajusté avec précision pour ne pas endommager les cellules photovoltaïques 16.

- [0151] Préférentiellement, l'étape E41 débute après que la température fonctionnelle T_{func} (voir [Fig.7]) soit atteinte, après une période prédéterminée non nulle comprise entre 0,5 min et 2 min et préférentiellement de l'ordre de 1 min. Cette période est par exemple visible sur la [Fig.7] et notée Δ . En pratique, la température fonctionnelle T_{func} peut correspondre à la température de fusion de l'encapsulant. Cette durée non nulle permet de laisser le temps de tirer le vide dans la cavité et de permettre la diffusion thermique de la température du moule au cœur de la pièce pour ramollir l'encapsulant.
- [0152] Alternativement, et même si cela présente un peu plus de risque de casse en raison d'un manque de fluidité de l'encapsulant au moment où il vient juste de franchir la température de transition vitreuse, il reste envisageable que l'étape E41 puisse débiter dès que la température fonctionnelle T_{func} évoquée en lien avec l'étape E4 est atteinte.
- [0153] Selon un mode de réalisation préférentiel, l'étape E41 est mise en œuvre durant une période comprise entre 30 s et 10 min. Cette durée doit être soigneusement ajustée là encore pour éviter autant que possible le fluage de l'ensemble encapsulant 18, favorisé par la forme gauche du module photovoltaïque 10, une fois que les matériaux d'encapsulation ont suffisamment fondu pour pénétrer entre les cellules photovoltaïques 16 et pour pouvoir adhérer, après refroidissement, à la première couche 12, à la deuxième couche 14 et aux cellules photovoltaïques 16.
- [0154] De manière générale, il est avantageux de prévoir que l'étape E4 soit la plus courte possible pour optimiser le temps de cycle, tout en prenant soin, bien entendu, d'ajuster les paramètres de température et de durée afin d'arriver au résultat défini pour l'étape E4 vis-à-vis de l'ensemble encapsulant 18 à obtenir, notamment en fonction de la nature et de l'épaisseur de l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182.
- [0155] Selon un mode de réalisation particulier, le procédé de fabrication comprend une étape E5 consistant à chauffer le moule d'assemblage 20 à une température supérieure ou égale à la température fonctionnelle T_{func} , l'étape E5 étant mise en œuvre avant l'étape E4.
- [0156] Alternativement à l'étape E5 ou de manière combinée à celle-ci, le procédé de fabrication peut comprendre une étape E6 consistant à chauffer l'empilement au moyen d'une source de chaleur par infrarouge, l'étape E6 étant réalisée après l'étape E3 et avant l'étape E4.
- [0157] Enfin, le procédé de fabrication comprend une étape E7 de refroidissement de l'empilement, ladite étape E7 étant assurée pendant que les première et deuxième parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20 exercent, sur l'empilement, une

pression mécanique inférieure ou égale à 5 bars. La pression mécanique appliquée durant l'étape E7, durant laquelle notamment les deux parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20 subissent une diminution de température et durant laquelle le module photovoltaïque 10 tel qu'issu de l'étape E4 transfère des calories au moule d'assemblage 20 en vue de son refroidissement, peut être différente ou égale à la pression mécanique F1 exercée durant l'étape E41 décrite précédemment, en fonction des besoins. Cette étape E7 peut éventuellement s'opérer dans un autre moule que les moules utilisés dans les autres étapes précédentes, moyennant toutefois la conservation de l'entrefer adapté. La pression doit être un minimum maintenue.

- [0158] Dans ce qui vient d'être décrit, le premier entrefer prédéterminé 26 utilisé pour la mise en œuvre de l'étape E4 est préférentiellement au minimum égal à une valeur égale à la somme des épaisseurs de chaque pli ou couche appartenant à l'empilement moins un certain écart compris dans une plage comprise entre 0,1 et 0,3 mm et préférentiellement égal à 0,2 mm, et préférentiellement au maximum égal à la somme des épaisseurs de chaque pli ou couche appartenant à l'empilement.
- [0159] Les figures 7 et 8 représentent les différentes situations à quatre phases successives P1 à P4 d'un exemple de procédé de réalisation reprenant les enseignements généraux listés précédemment, ces phases P1 à P4 étant associées en particulier à la mise en œuvre de l'étape E4.
- [0160] Ces phases successives P1 à P4 sont notamment appliquées sur un empilement comprenant la première couche 12, les cellules photovoltaïques 16 prises en sandwich entre deux matériaux d'encapsulation 181, 182, et la deuxième couche 14, où la première couche 12 et la deuxième couche 14 présentent chacune une forme gauche, en particulier conformé typiquement avec une courbure qui peut être identique ou différente selon deux axes distincts d'un repère associé au module photovoltaïque, et de surcroît possiblement réalisé en utilisant uniquement des matières recyclables.
- [0161] Dans une première phase P1, il est procédé à une augmentation de la température du moule d'assemblage 20. C'est la raison pour laquelle, dans la phase P1, la courbe illustrée sur la [Fig.7] (laquelle représente l'évolution de la température (en ordonnées) du moule d'assemblage 20 en fonction du temps (en abscisses)) se présente sous la forme d'un profil croissant dans le temps, par exemple de manière rectiligne. A titre d'exemple, le moule d'assemblage 20 est associé à une presse chauffante et sa température augmente à une vitesse de 4°C/min, jusqu'à atteindre une température nominale à la fin de la phase P1. Cette température nominale, qui peut être comprise entre 80°C et 150°C, est ici strictement supérieure à la température fonctionnelle T_{fonc} évoquée précédemment. Il est à noter que la phase P1 peut être initiée après la mise en œuvre de l'étape E3, ce qui implique alors que l'empilement (qui présente alors une épaisseur notée E1) est déjà mis en place entre les deux parties de moule 22, 24 du

moule d'assemblage 20. L'apport de chaleur à l'empilement dû au phénomène de chauffe du moule d'assemblage 20 est schématisé par les flèches F0. Alternativement l'assemblage peut être réalisé en dehors du moule d'assemblage 20, et simultanément à la chauffe du moule d'assemblage 20, permettant un gain de temps, l'empilement étant alors déposé dans le moule d'assemblage 20 déjà chaud

[0162] Puis la deuxième phase P2 débute, laquelle correspond concrètement à la mise en œuvre de l'étape E41. Le décalage temporel entre le moment où la température fonctionnelle T_{func} a été atteinte et le début de la phase P2, correspond à la période Δ déjà décrite, comprise entre 0,5 min et 2 min et préférentiellement de l'ordre de 1 min. Pour la mise en œuvre de la phase P2, les deux parties de moule 22, 24 subissent un rapprochement relatif schématisé par la flèche D1, jusqu'à être distant l'un de l'autre d'une distance égale à la valeur du premier entrefer prédéterminé 26. Dans ce rapprochement relatif des parties de moule 22, 24, le moule d'assemblage 20 exerce la pression mécanique (par exemple d'environ 5 bars), schématisée par les flèches F1, évoquée en lien avec l'étape E41, ce qui implique une compression de l'empilement présent dans la cavité 28 du moule d'assemblage 20. L'empilement subit alors une réduction de son épaisseur, laquelle passe de la valeur K1 à une valeur notée K2. Durant toute la phase P2, le moule d'assemblage 20 est maintenu en température à la température nominale (c'est la raison pour laquelle, dans la phase P2, la courbe illustrée sur la [Fig.7] se présente sous la forme d'un profil constant dans le temps) et continue de chauffer l'empilement, d'où la présence des flèches F0 dans la phase P2 sur la [Fig.8]. La phase P2 est mise en œuvre durant une période comprise entre 30 s et 10 min, notamment entre 3 min et 5 min et préférentiellement de l'ordre de 4 min. Cette durée doit être soigneusement ajustée pour éviter autant que possible le fluage de l'ensemble encapsulant 18, favorisé par la forme gauche du module photovoltaïque 10, une fois que l'au moins un matériau d'encapsulation 181, 182 a suffisamment fondu pour pénétrer entre les cellules photovoltaïques 16 et pour pouvoir adhérer, après refroidissement, à la première couche 12, à la deuxième couche 14 et aux cellules photovoltaïques 16.

[0163] Puis la troisième phase P3 débute, durant laquelle il est procédé à une diminution de la température du moule d'assemblage 20 et c'est la raison pour laquelle, dans la phase P3, la courbe illustrée sur la [Fig.7] se présente sous la forme d'un profil décroissant dans le temps, par exemple de manière rectiligne. Il s'agit de la mise en œuvre de l'étape E7 décrite précédemment. A titre d'exemple, la température du moule d'assemblage 20 diminue à une vitesse de $8^{\circ}\text{C}/\text{min}$, jusqu'à atteindre la température initiale du début de la phase P1. Le transfert de chaleur du module photovoltaïque 10 vers le moule d'assemblage 20 est schématisé par les flèches F2. En outre, durant toute la phase P3, une pression mécanique continue d'être exercée par le moule

d'assemblage 20. La pression mécanique appliquée alors que les deux parties de moule 22, 24 du moule d'assemblage 20 subissent la diminution de température peut être égale à la pression mécanique exercée durant la phase P2 décrite précédemment (c'est la raison pour laquelle dans la phase P3 sur la [Fig.8] la pression mécanique est schématisée par les mêmes flèches F1 que durant la phase 2), ou peut être différente en fonction des besoins.

[0164] Enfin, la quatrième phase P4 débute, durant laquelle les deux parties de moule 22, 24 subissent un éloignement relatif schématisé par la flèche D2, jusqu'à être distant l'un de l'autre d'une distance strictement supérieure à la valeur du premier entrefer prédéterminé 26. Dans cet éloignement relatif des parties de moule 22, 24, le moule d'assemblage 20 libère la pression mécanique précédemment exercée et le module photovoltaïque 10 reste dans sa forme gauche ainsi obtenue et avec l'épaisseur E2, à un potentiel phénomène de retour élastique près.

[0165] Le procédé qui vient d'être décrit a été mis en œuvre pour un exemple de module photovoltaïque et la [Fig.6] représente une visualisation schématique du retour élastique du module photovoltaïque ainsi réalisé.

[0166] Pour l'obtention du module photovoltaïque de la [Fig.6], l'empilement suivant a été utilisé (en allant de la face avant vers la face arrière) :

- [0167] – un premier matériau composite, sous la forme d'une plaque de composite thermoplastique à base de polycarbonate renforcé de fibres de verre, transparent et avec une masse surfacique de 450 g/m², destiné à constituer la première couche 12 à l'issue du procédé (il peut notamment être prévu deux plis en polycarbonate et fibres de verre pour une épaisseur totale de 0,5 mm ou trois plis en polycarbonate et fibres de verre pour une épaisseur totale de 0,75 mm),
- un matériau d'encapsulation transparent en polyuréthane thermoplastique d'une épaisseur de 620 µm,
- des cellules photovoltaïques en silicium monocristallin de dimensions 125 x 125 mm²,
- un matériau d'encapsulation transparent en polyuréthane thermoplastique d'une épaisseur de 620 µm,
- un deuxième matériau composite sous la forme d'un stratifié, par exemple à 8 plis, alternant du polyuréthane thermoplastique et des fibres de verre, avec une masse surfacique de 575 g/m² et une épaisseur 2 mm, destiné à constituer la deuxième couche 14 à l'issue du procédé.

[0168] Dans cet exemple, la valeur de la courbure à obtenir suivant un premier axe de courbure était de 1 mètre tandis que la courbure à obtenir suivant un deuxième axe de courbure, perpendiculaire au premier axe de courbure, était de 2 mètres.

- [0169] D'après la [Fig.6], il peut être constaté que les valeurs V1 et V2 du retour élastique à des points du module photovoltaïque disposés symétriquement suivant le deuxième axe de courbure sont sensiblement égaux : les mesures V1 et V2 sont respectivement égales à 2,3 et 2,4 mm. De manière complémentaire, les valeurs V3 et V4 du retour élastique à des points du module photovoltaïque disposés symétriquement suivant le premier axe de courbure sont sensiblement égaux : les mesures V3 et V4 sont respectivement égales à -0,4 et -0,05 mm.
- [0170] Un autre avantage du procédé de fabrication décrit ici est que la première couche 12, la deuxième couche 14, et ensuite le module photovoltaïque 10, peuvent tous être obtenus par des techniques identiques utilisant un moule à parties rigides, typiquement le même moule dont on fait varier l'entrefer en fonction de la pièce à obtenir, respectivement à l'étape E1, E2 et E4.
- [0171] Une imagerie par électroluminescence après mise en œuvre a montré qu'aucune dégradation des cellules photovoltaïques 16 ne s'était produite, confirmant ainsi la compatibilité des matériaux utilisés et de la double courbure avec la technique d'assemblage par thermocompression de l'étape E4 pour la fabrication de modules photovoltaïques 10. Les performances électriques des modules fabriqués durant les essais sont tout à fait acceptables comparées à celles des modules standards (une différence de puissance maximale inférieure à 5% en fonction de la transmittance de la face avant utilisée). Les essais d'impact IK7 conformément à la norme spécifique NF 60068-2-75 n'ont pas provoqué de casse des cellules photovoltaïques 16, démontrant la compatibilité de la première couche 12 utilisée comme face avant.
- [0172] Il est à noter que la technique connue de lamination, outre les inconvénients déjà décrits, impliquerait une gestion compliquée des efforts appliqués sur les faces avant et arrière du module photovoltaïque à fabriquer, en raison de l'au moins une incurvation due à la forme gauche à obtenir, ce qui est l'une des problématiques à résoudre dans le cadre de la présente invention. Le procédé de fabrication décrit dans le présent document répond à cette problématique.
- [0173] Il est insisté sur le fait que les valeurs des différents paramètres (température, temps, pression mécanique), dimensions (épaisseurs des différentes couches, valeurs des entrefers etc.) et choix des matériaux détaillés dans le présent document ne sont pas du tout arbitraires et n'étaient pas directement accessibles à l'Homme du Métier. Durant l'étape E4, le trio pression/température/entrefer du moule d'assemblage 20 a été soigneusement calibré afin de ne pas endommager les cellules photovoltaïques 16. Cette dégradation pourrait sinon être issue d'un fluage excessif de l'encapsulant, sous l'effet de la température, de la courbure et de l'ajustement de l'épaisseur de l'empilement à l'entrefer prédéterminé 26 du moule d'assemblage 20. Elle pourrait également être liée à une surpression localisée, par exemple au niveau des connectiques, à cause du

manque d'espace lié à l'entrefer prédéterminé 26 fixe du moule d'assemblage 20. Ce trio pression/température/entrefer a dû être ajusté en tenant compte d'analyses, notamment rhéologiques, des matériaux d'encapsulation 181, 182 utilisés et d'un plan d'expériences sur des feuilles de matériaux d'encapsulation intégrant des cellules photovoltaïques 16 non connectées. De même, afin d'éviter une mise en pression immédiate, l'épaisseur des joints 222, 242 du moule d'assemblage 20 a été ajustée afin de permettre une étanchéité sans être encore parfaitement au contact avec l'empilement. Chaque joint 222, 242 peut présenter une épaisseur de 1 cm à son état naturel (non écrasé) et présenter une épaisseur de l'ordre de 7 mm dans la configuration de fermeture du moule.

[0174]	NOMENCLATURE
[0175]	1 : module photovoltaïque (état de la technique)
[0176]	2 : face avant (état de la technique)
[0177]	3 : ensemble encapsulant (état de la technique)
[0178]	3a : couche avant (état de la technique)
[0179]	3b : couche arrière (état de la technique)
[0180]	4 : cellules photovoltaïques (état de la technique)
[0181]	4a : face avant des cellules (état de la technique)
[0182]	4b : face arrière des cellules (état de la technique)
[0183]	5 : face arrière (état de la technique)
[0184]	6 : conducteurs de liaison (état de la technique)
[0185]	7 : boîte de jonction (état de la technique)
[0186]	10 : module photovoltaïque
[0187]	12 : première couche
[0188]	14 : deuxième couche
[0189]	16 cellules photovoltaïques
[0190]	18 : ensemble encapsulant
[0191]	181 : matériau d'encapsulation
[0192]	182 : matériau d'encapsulation
[0193]	20 moule d'assemblage
[0194]	22 : première partie de moule
[0195]	220 : première empreinte du moule d'assemblage
[0196]	222 : premier joint
[0197]	24 : deuxième partie de moule
[0198]	240 : deuxième empreinte du moule d'assemblage
[0199]	242 : deuxième joint
[0200]	26 : premier entrefer prédéterminé
[0201]	Tfnc : température fonctionnelle

- [0202] D1 : rapprochement relatif
- [0203] D2 : éloignement relatif
- [0204] P1 : première phase
- [0205] P2 : deuxième phase
- [0206] P3 : troisième phase
- [0207] P4 : quatrième phase
- [0208] E1 : étape de fourniture d'une première couche
- [0209] E2 : étape de fabrication d'une deuxième couche
- [0210] E3 : étape de mise en place d'un empilement dans un moule d'assemblage
- [0211] E4 : étape d'assemblage
- [0212] E5 : étape consistant à chauffer le moule d'assemblage
- [0213] E6 : étape consistant à chauffer l'empilement
- [0214] E7 : étape de refroidissement de l'empilement
- [0215] F0 : l'apport de chaleur à l'empilement
- [0216] F1 : pression mécanique
- [0217] F2 : transfert de chaleur du module photovoltaïque vers le moule d'assemblage
- [0218] Δ : période prédéterminée
- [0219] E10 : étape consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de préparation
- [0220] E11 : étape de préparation/approvisionnement du premier matériau composite
- [0221] E12 : mise en place du premier matériau composite issu de l'étape E11 dans un moule de préparation
- [0222] E13 : chauffage du premier matériau composite
- [0223] E14 : application sur le premier matériau composite, par les deux parties de moule de préparation, d'une pression mécanique
- [0224] E20 : étape consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de fabrication
- [0225] E21 : fourniture du deuxième matériau composite
- [0226] E22 : mise en place du deuxième matériau composite issu de l'étape dans un moule de fabrication
- [0227] E23 : chauffage du deuxième matériau composite
- [0228] E24 : application sur le deuxième matériau composite, par les deux parties de moule de fabrication, d'une pression mécanique
- [0229] K1 : première valeur de l'entrefer
- [0230] K2 : deuxième valeur de l'entrefer

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de fabrication d'un module photovoltaïque (10), comprenant les étapes suivantes :

E1) fourniture d'une première couche (12) ayant une forme gauche, transparente et destinée à former une face avant du module photovoltaïque (10) destinée à recevoir un flux lumineux,

E2) fabrication d'une deuxième couche (14) ayant une forme gauche et destinée à former une face arrière du module photovoltaïque (10),

E3) mise en place d'un empilement dans un moule d'assemblage (20), mise en œuvre après les étapes E1 et E2, dans laquelle :

- i. l'empilement comprend la première couche (12), une pluralité de cellules photovoltaïques (16) disposées côte à côte et reliées électriquement entre elles, la deuxième couche (14) et au moins un matériau d'encapsulation (181, 182), l'empilement étant tel que l'au moins un matériau d'encapsulation (181, 182) et la pluralité de cellules photovoltaïques (16) sont situés entre les première et deuxième couches (12, 14),
- ii. et le moule d'assemblage (20) a une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprend une première partie de moule (22) rigide délimitant une première empreinte (220) de forme gauche complémentaire de la forme gauche de la première couche (12) et une deuxième partie de moule (24) rigide délimitant une deuxième empreinte (240) de forme gauche complémentaire de la forme gauche de la deuxième couche (14), la première partie de moule (22) et la deuxième partie de moule (24) étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage (20), la première partie de moule (22) et la deuxième partie de moule (24) sont espacées d'un entrefer prédéterminé (26) et délimitent entre elles une cavité (28) apte à recevoir l'empilement,

E4) assemblage, mise en œuvre après l'étape E3, dans laquelle la configuration de fermeture du moule d'assemblage (20) étant adoptée, la température au sein de l'empilement est maintenue à une température fonctionnelle (T_{func}) comprise entre 70°C et 180°C, et de préférence entre 80°C et 150°C, pendant une période d'assemblage adaptée en

fonction de l'au moins un matériau d'encapsulation (181, 182) pour que l'au moins un matériau d'encapsulation (181, 182) subisse une fusion au moins partiellement et créer un ensemble encapsulant (18) apte à adhérer d'une part à la pluralité de cellules photovoltaïques (16) et d'autre part à la première couche (12) et/ou à la deuxième couche (14).

[Revendication 2] Procédé de fabrication selon la revendication 1, dans lequel la première couche (12) est formée dans un matériau thermoplastique.

[Revendication 3] Procédé de fabrication selon la revendication 2, dans lequel la première couche (12) est un premier matériau composite formé à base d'un premier polymère et de premières fibres, le premier polymère étant choisi parmi : l'éthylène chlorotrifluoroéthylène (ECTFE), l'éthylène propylène fluoré (FEP), l'éthylène tétrafluoroéthylène (ETFE), le polyfluorure de vinylidène (PVDF), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polycarbonate (PC), le polyté-réphthalate d'éthylène (PET), le polyamide (PA), le styrène-acrylonitrile (SAN), le polystyrène (PS), et les premières fibres étant choisies parmi les fibres de verre, d'aramide et/ou les fibres naturelles.

[Revendication 4] Procédé de fabrication selon la revendication 3, dans lequel le premier polymère est le polycarbonate (PC) ou le styrène-acrylonitrile (SAN) et les premières fibres sont des fibres de verre.

[Revendication 5] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 3 ou 4, dans laquelle l'étape E1 comprend les étapes suivantes :

E11) préparation du premier matériau composite, sous la forme d'une plaque de composite thermoplastique renforcé de fibres,

E12) mise en place du premier matériau composite dans un moule de préparation, le moule de préparation ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de préparation rigides et délimitant deux empreintes de préparation de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la première couche, les deux parties de moule de préparation étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de préparation, les deux parties de moule de préparation sont espacées d'un entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le premier matériau composite,

E13) chauffage du premier matériau composite à une température supérieure ou égale à la température de transition vitreuse du premier matériau composite, l'écart entre ladite température et la température de

transition vitreuse étant compris entre 0 et 20°C,

E14) application sur le premier matériau composite, par les deux parties de moule de préparation, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment supérieure à 10 bars et préférentiellement de l'ordre de 15 bars, en plaçant le moule de préparation dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.

- [Revendication 6] Procédé de fabrication selon la revendication 5, dans lequel les deux parties de moule de préparation sont respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule (22, 24) du moule d'assemblage (20), l'étape E1 comprenant une étape E10 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de préparation dans la configuration de fermeture du moule de préparation dans l'étape E14, par rapport à l'entrefer (26) présent l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage (20).
- [Revendication 7] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel la première couche (12) présente une épaisseur inférieure à 1,5 mm, préférentiellement de l'ordre de 0,5 mm.
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel la deuxième couche (14) est formée dans un matériau thermoplastique.
- [Revendication 9] Procédé de fabrication selon la revendication 8, dans lequel la deuxième couche (14) est un deuxième matériau composite formé à base d'un deuxième polymère et de fibres, notamment formé à partir d'un pré-imprégné,
le deuxième polymère étant choisi parmi : le polycarbonate (PC), le polyméthacrylate de méthyle (PMMA), le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polyetheretherketone (PEEK), le polyéthercétonecétone (PEKK), le sulfure de polyphénylène (PPS), le polyamide (PA), le polystyrène (PS),
et les fibres étant choisies parmi les fibres de verre, de carbone, d'aramide et/ou les fibres naturelles, notamment le chanvre, le lin et/ou la soie.
- [Revendication 10] Procédé de fabrication selon la revendication 9, dans lequel le deuxième polymère est le polyuréthane thermoplastique (TPU), le polycarbonate (PC), ou le polyamide (PA), et les deuxièmes fibres sont des fibres de verre.
- [Revendication 11] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 9 ou 10, dans laquelle l'étape E2 comprend les étapes suivantes :

E21) fourniture du deuxième matériau composite,

E22) mise en place du deuxième matériau composite dans un moule de fabrication, le moule de fabrication ayant une aptitude à occuper une configuration de fermeture et comprenant deux parties de moule de fabrication rigides et délimitant deux empreintes de fabrication de forme gauche complémentaires de la forme gauche de la deuxième couche, les deux parties de moule de fabrication étant telles que, dans la configuration de fermeture du moule de fabrication, les deux parties de moule de fabrication sont espacées d'un entrefer prédéterminé et délimitent entre elles une cavité apte à recevoir le deuxième matériau composite,

E23) chauffage du deuxième matériau composite à une température sensiblement égale (à 10°C près) à la température de transition vitreuse du deuxième matériau,

E24) application sur le deuxième matériau composite, par les deux parties de moule de fabrication, d'une pression mécanique supérieure ou égale à 5 bars, notamment de l'ordre de 10 bars, en plaçant le moule de fabrication dans la configuration de fermeture, tout en contrôlant le refroidissement jusqu'à atteindre une température comprise entre 50°C et 150°C.

[Revendication 12] Procédé de fabrication selon la revendication 11, dans lequel les deux parties de moule de fabrication sont respectivement constituées par les première et deuxième parties de moule (22, 24) du moule d'assemblage (20), l'étape E2 comprenant une étape E20 consistant à modifier l'entrefer séparant les deux parties de moule de fabrication dans la configuration de fermeture du moule de fabrication dans l'étape E24, par rapport à l'entrefer (26) présent l'étape E4 dans la configuration de fermeture du moule d'assemblage (20).

[Revendication 13] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel la deuxième couche (14) présente une épaisseur inférieure à 2 mm, préférentiellement de l'ordre de 1,5 mm.

[Revendication 14] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel durant l'étape E4, la pression du gaz présent dans la cavité (28) du moule d'assemblage (20) est maintenue, pendant la période d'assemblage, inférieure à -0,5 bar, préférentiellement entre -0,7 bar et -1 bar.

[Revendication 15] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 14, dans lequel l'étape E4 comprend une étape E41 durant laquelle les première et deuxième parties de moule (22, 24) du moule d'assemblage

(20) exercent, sur l'empilement, une pression mécanique (F1) inférieure ou égale à 5 bars.

- [Revendication 16] Procédé de fabrication selon la revendication 15, dans lequel l'étape E41 débute après que la température fonctionnelle (Tfonc) soit atteinte, après une période prédéterminée (Δ) non nulle comprise entre 0,5 min et 2 min et préférentiellement de l'ordre de 1 min.
- [Revendication 17] Procédé de fabrication selon l'une des revendications 15 ou 16, dans lequel l'étape E41 est mis en œuvre durant une période comprise entre 30 s et 10 min.
- [Revendication 18] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, comprenant une étape E5 consistant à chauffer le moule d'assemblage (20) à une température supérieure ou égale à la température fonctionnelle (Tfonc), l'étape E5 étant mise en œuvre avant l'étape E4.
- [Revendication 19] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 17, comprenant une étape E6 consistant à chauffer l'empilement au moyen d'une source de chaleur par infrarouge, l'étape E6 étant réalisée après l'étape E3 et avant l'étape E4.
- [Revendication 20] Procédé de fabrication selon l'une quelconque des revendications 1 à 19, comprenant une étape E7 de refroidissement de l'empilement, ladite étape E7 étant assurée pendant que les première et deuxième parties de moule (22, 24) du moule d'assemblage (20) exercent, sur l'empilement, une pression mécanique inférieure ou égale à 5 bars.

[Fig. 1]

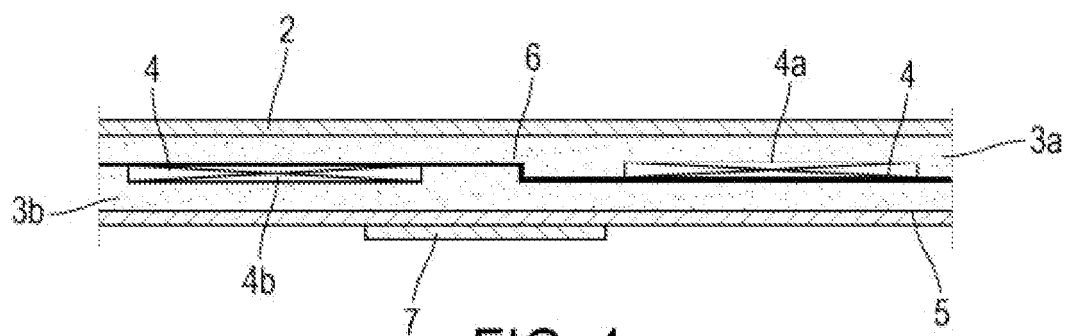


FIG. 1

[Fig. 1A]

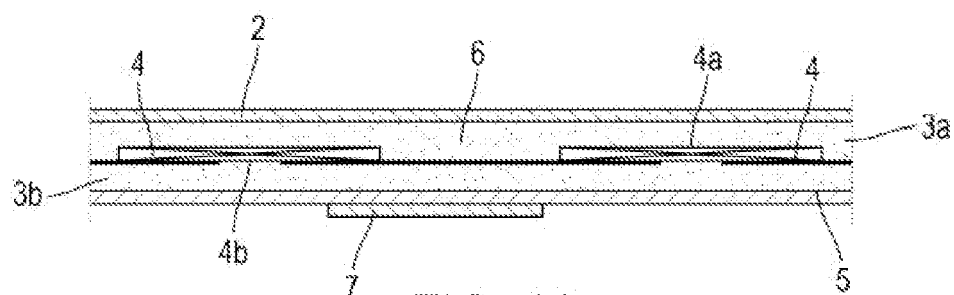


FIG. 1A

[Fig. 2]

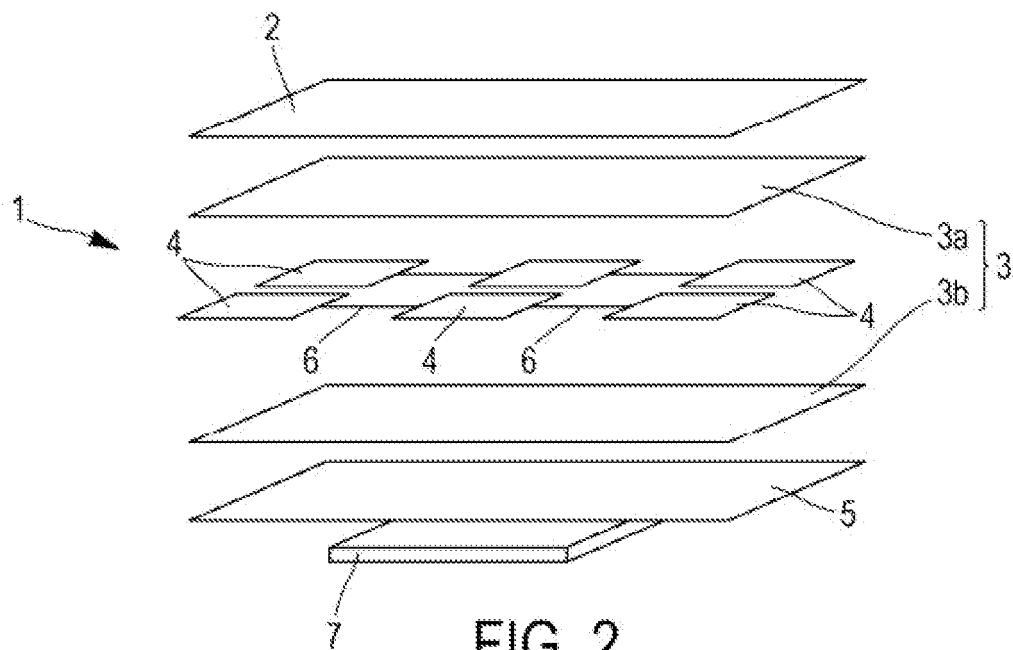


FIG. 2

[Fig. 3]

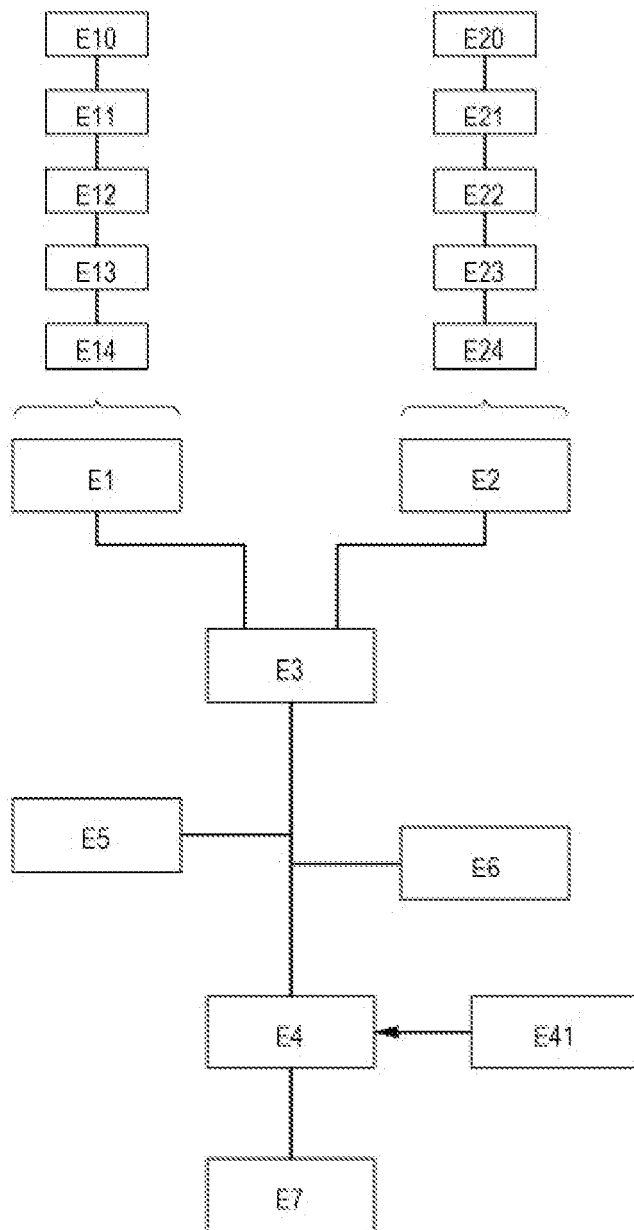


FIG. 3

[Fig. 4]

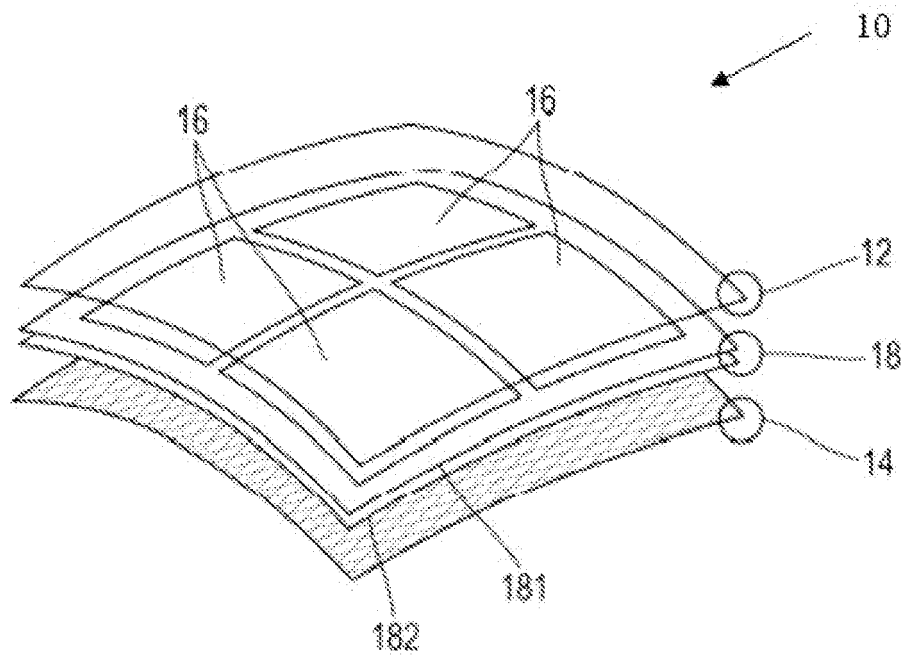


FIG. 4

[Fig. 5]

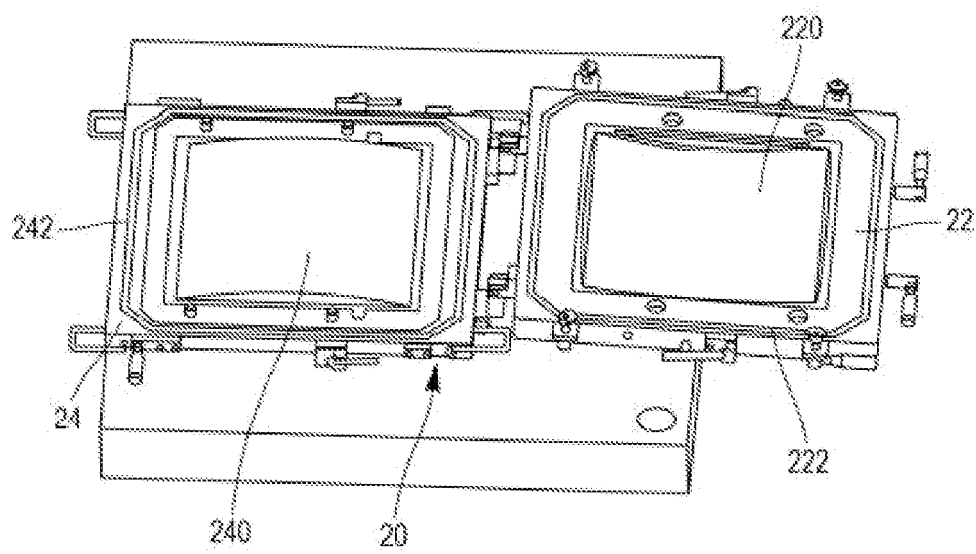


FIG. 5

[Fig. 6]

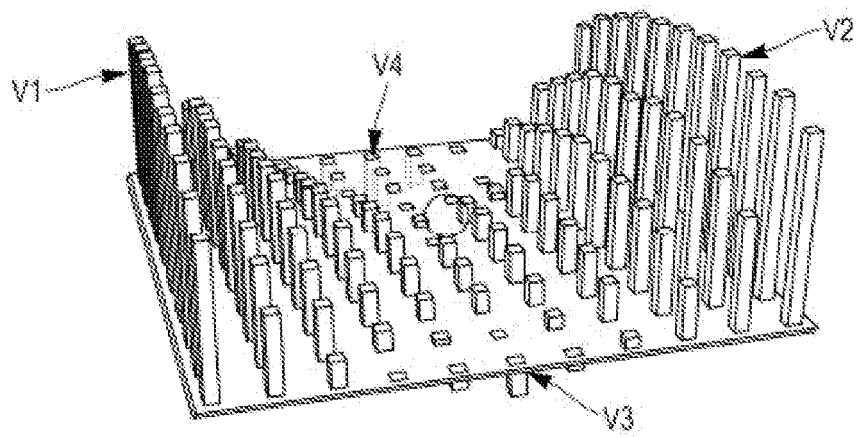


FIG. 6

[Fig. 7]

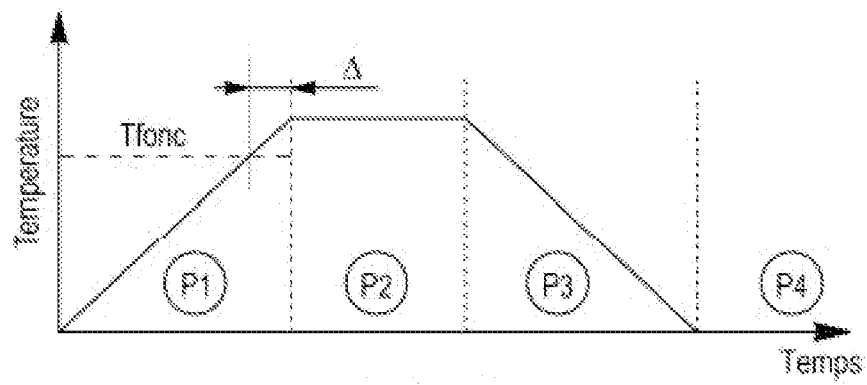


FIG. 7

[Fig. 8]

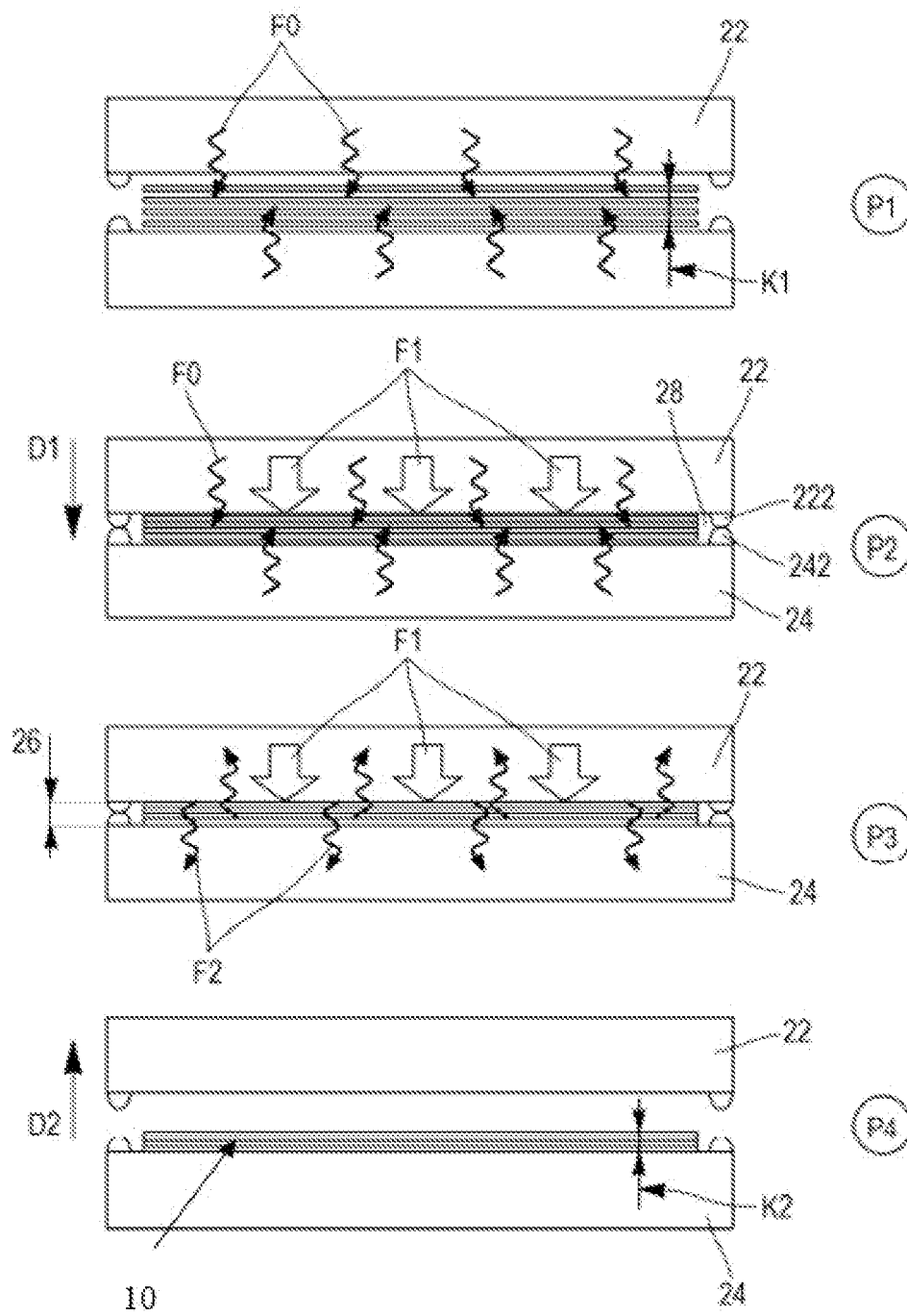


FIG. 8

RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

☒ Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

☒ Le demandeur a maintenu les revendications.

☐ Le demandeur a modifié les revendications.

☐ Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

☐ Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

☒ Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

☐ Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

☐ Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

JP 2014 239206 A (TOYOTA IND CORP)
18 décembre 2014 (2014-12-18)

EP 2 388 830 A1 (FUNDACION INASMET [ES])
23 novembre 2011 (2011-11-23)

JP 2002 231990 A (NISSAN MOTOR)
16 août 2002 (2002-08-16)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT