

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ Procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air de bâtiments utilisant une membrane à base de biopolymères.

②② Date de dépôt : 09.06.22.

③⑦ Priorité :

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

☐ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : SAINT-GOBAIN ISOVER Société
anonyme — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 15.12.23 Bulletin 23/50.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.12.24 Bulletin 24/51.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : AZEVEDO Joël et CHILINGUIRIAN
Harayer.

⑦③ Titulaire(s) : SAINT-GOBAIN ISOVER Société
anonyme.

⑦④ Mandataire(s) : SAINT-GOBAIN RECHERCHE.



Description

Titre de l'invention : Procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air de bâtiments utilisant une membrane à base de biopolymères

- [0001] La présente invention concerne un procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air de bâtiments ou de pièces de bâtiments utilisant une membrane pare-vapeur, comportant une couche hydrophile à base de biopolymère et une couche adjacente relativement plus hydrophobe que la couche à base de biopolymère.
- [0002] On connaît depuis de nombreuses années des membranes pare-vapeur hygrorégulatrices, ou hygrorégulantes, dont la perméabilité à la vapeur d'eau varie en fonction de l'humidité de l'air. Pour les raisons expliquées par exemple dans la demande WO96/33321, on cherche à obtenir des membranes qui laissent passer facilement la vapeur d'eau lorsque l'humidité relative (HR) est élevée (70% à 100 % de HR) et qui la bloquent efficacement à faible humidité relative (50 % de HR et moins).
- [0003] De telles membranes, lorsqu'elles sont disposées sur la face interne d'un matériau d'isolation thermique (face tournée vers l'intérieur d'un bâtiment ou d'une pièce), empêchent le plus possible pendant la saison froide et sèche la vapeur d'eau de pénétrer depuis l'intérieur du bâtiment dans l'espace entre la membrane et le mur et de se condenser sur ce dernier (paroi froide). A l'inverse, à la saison chaude, la perméabilité élevée de la membrane permet à l'humidité éventuellement présente dans les éléments structurels du bâti de s'évacuer vers l'intérieur du bâtiment. Cette propriété est particulièrement importante dans le cas des constructions neuves où, lors de l'installation, certains éléments peuvent avoir une teneur en eau très élevée due aux conditions de stockage, mais également dans le cas d'infiltrations d'eau dans des structures existantes. Dans les deux cas, il est important de pouvoir laisser l'ensemble de la structure sécher de manière efficace en été, vers l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. Ce besoin est crucial notamment si les éléments composant le système sont propices à la prolifération de microorganismes.
- [0004] De telles membranes pare-vapeur ayant un comportement différencié en fonction des conditions d'humidité relative qui l'entourent sont fréquemment qualifiées d'« intelligentes » (en anglais *smart vapor retarder* (SVR)). Dans la présente demande les adjectifs « hygrorégulateur », « hygrorégulant » et « intelligent » sont utilisés comme des synonymes lorsqu'ils décrivent la variation de la perméabilité à la vapeur d'eau des membranes pare-vapeur.
- [0005] Il est courant d'exprimer la perméabilité à la vapeur d'eau d'une membrane en termes d'« épaisseur d'air équivalente » pour la diffusion de vapeur d'eau (S_d). Cette

épaisseur est exprimée en mètres et correspond à l'épaisseur de la couche d'air qui opposerait une résistance équivalente à la diffusion de la vapeur d'eau. Par conséquent, plus l'épaisseur d'air équivalente est importante, moins la membrane est perméable à la vapeur d'eau. L'épaisseur d'air équivalente (S_d) peut être déterminée conformément aux normes EN1931 et EN ISO12572.

- [0006] Une membrane pare-vapeur hygrorégulante est généralement considérée comme étant d'autant plus intéressante et performante que son épaisseur d'air équivalente est élevée à faible humidité relative et faible à forte humidité relative.
- [0007] Les membranes pare-vapeur hygrorégulantes disponibles sur le marché et décrites dans l'état de la technique sont généralement à base de polymères organiques synthétiques fabriqués à partir de monomères pétrosourcés.
- [0008] Les polymères les plus fréquemment décrits et utilisés sont les polyamides, notamment le polycaprolactame, le poly(alcool vinylique) (PVOH), les copolymères d'éthylène et d'acétate de vinyle et/ou d'alcool vinylique (EVA et EVOH). Les polymères les plus hydrophiles (PVOH, EVOH) peuvent être associés, dans des structures multi-couches, à de minces couches plus hydrophobes, notamment à base de polyoléfines, tels que le polyéthylène, le polypropylène et des copolymères d'éthylène et de propylène.
- [0009] On peut citer à titre d'exemples de documents décrivant de telles membranes pare-vapeur « intelligentes » les documents WO2007/010388, WO2006/034381, WO2005/110892, US7008890, US 6808772 et US 6878455.
- [0010] Les recherches qui ont abouti à la présente invention avaient pour but de remplacer les membranes pare-vapeur hygrorégulantes de l'état de la technique à base de polymères pétrosourcés, généralement non biodégradables, par des membranes pare-vapeur hygrorégulantes à base de polymères biosourcés et/ou biodégradables. Ces polymères biosourcés et/ou biodégradables seront appelés ci-après « biopolymères ». Les biopolymères sont de préférence biosourcés, c'est-à-dire à base de matériaux d'origine biologique renouvelables à court terme. Dans un mode de réalisation particulièrement préféré, les biopolymères utilisés dans les membranes de la présente demande sont à la fois biosourcés et biodégradables.
- [0011] Les biopolymères biosourcés englobent à la fois les polymères organiques naturels, présents en tant que tels dans la biomasse, les polymères organiques obtenus par modification physique et/ou chimique de ces polymères naturels, et les polymères organiques synthétiques obtenus par polymérisation d'ingrédients biosourcés.
- [0012] Des membranes à base de tels biopolymères, par exemple à base de cellulose, de chitosane ou encore à base de poly(3-hydroxybutyrate) (PHB) sont connues et ont été utilisées, en remplacement de films à base de polymères synthétiques pétrosourcés, notamment dans le domaine de l'emballage alimentaire où l'on demande généralement

aux membranes une perméabilité à la vapeur d'eau relativement indépendante des conditions d'humidité et de température. Par ailleurs, dans le domaine de l'emballage alimentaire, la durée de vie des films d'emballage est assez limitée et va généralement de quelques jours à quelques semaines, tout au plus à quelques mois. Dans le domaine des membranes pare-vapeur, au contraire, on recherche une durée de vie longue d'au moins plusieurs années, voire de plusieurs dizaines d'années.

[0013] Les membranes à base de biopolymères sont le plus souvent assez hydrophiles et leur perméabilité à la vapeur d'eau est élevée. L'épaisseur d'air équivalente de ces membranes est généralement inférieure à 1m et sa valeur absolue ne varie que peu avec l'humidité relative de l'atmosphère qui les entoure. Ces membranes restent donc extrêmement perméables à la vapeur d'eau quelles que soient les conditions environnantes.

[0014] Sans vouloir être lié par une quelconque théorie, on pense que la faible variation de la perméabilité à la vapeur d'eau de ces membranes assez hydrophiles peut être attribuée à l'effet plastifiant de l'eau qui se « dissout » dans la membrane, même à faible humidité. Plus l'humidité ambiante est élevée, plus le matériau de la membrane est plastifié par l'eau et plus la diffusion des molécules d'eau au sein de la membrane est aisée.

[0015] Le principal inconvénient de ces membranes constituées de biopolymères, en vue d'une possible utilisation en tant que pare-vapeurs hygrorégulants, réside donc dans le fait que leur perméabilité à la vapeur d'eau reste globalement trop élevée à faible humidité relative pour qu'elles puissent fonctionner de manière satisfaisante pendant la saison froide et sèche. Une membrane constituée uniquement de cellulose ne formerait ainsi pas une barrière suffisante à la vapeur d'eau provenant de l'intérieur du bâtiment et n'empêcherait pas assez efficacement la vapeur d'eau de pénétrer dans l'espace entre la membrane et le mur et de se condenser dans le matériau isolant et sur la face interne du mur extérieur.

[0016] En résumé, les membranes hydrophiles à base de biopolymères utilisées dans le domaine de l'emballage alimentaire restent trop perméables à la vapeur d'eau dans des conditions de faible humidité relative (saison froide). Elles ne sont donc pas assez « intelligentes » pour pouvoir fonctionner correctement en tant que pare-vapeur dans le domaine de l'isolation thermique des bâtiments, en particulier dans l'amélioration de l'étanchéité à l'air et la gestion des flux de vapeur d'eau dans les bâtiments.

[0017] La présente invention est basée sur la découverte surprenante qu'il est possible d'accroître très significativement « l'intelligence » de membranes à base de biopolymères et de les rendre ainsi compatibles avec une utilisation en tant que membrane pare-vapeur dans le domaine du bâtiment, en appliquant sur une seule de

leurs deux faces une très mince couche de polymère hydrophobe, très peu perméable à la vapeur d'eau.

[0018] Cette découverte était d'autant plus surprenante que les polymères hydrophobes déposés sur les deux faces de la membrane en biopolymère, ont une perméabilité à la vapeur d'eau qui est indépendante de l'humidité relative ambiante. Autrement dit des membranes constituées uniquement de ces polymères hydrophobes n'auraient aucun caractère hygrorégulant. Il était donc impossible de prévoir que le dépôt de ces mêmes polymères hydrophobes sur une des deux faces d'une membrane en biopolymère(s) hydrophile(s) accroîtrait de manière spectaculaire l'intelligence de cette dernière en lui permettant d'être extrêmement peu perméable à la vapeur d'eau pendant la saison sèche et très perméable à la vapeur d'eau pendant la saison humide.

[0019] La Demanderesse a déposé récemment une demande internationale PCT/FR2022/050009 revendiquant une priorité française du 7 janvier 2021 et non encore publiée au moment du dépôt de la présente demande. Cette demande a pour objet un procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou d'une pièce d'un bâtiment utilisant une membrane pare-vapeur hygrorégulante comportant au moins trois couches, à savoir une couche médiane constituée d'un biopolymère ayant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_1 relativement élevé et, de part et d'autre de la couche médiane, deux couches externes en un polymère organique présentant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 , plus faible que P_1 .

[0020] En poursuivant ses recherches dans ce domaine, la Demanderesse s'est récemment aperçu, avec surprise, qu'il n'était nullement nécessaire d'appliquer une couche mince hydrophobe sur chacune des deux faces de la couche médiane hydrophile, mais qu'il suffisait d'appliquer une mince couche hydrophobe sur une seule des deux faces d'une membrane hydrophile en biopolymère pour en améliorer de manière spectaculaire le pouvoir hygrorégulant.

[0021] La présente demande a ainsi pour objet un procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou d'une pièce d'un bâtiment comprenant l'application d'une membrane pare-vapeur sur la face interne des murs dudit bâtiment ou de ladite pièce d'un bâtiment, caractérisé par le fait que la membrane pare-vapeur est une membrane hygrorégulante comprenant une partie active comprenant

- une première couche d'une épaisseur comprise entre 2 μm et 200 μm , de préférence entre 4 μm et 100 μm , constituée d'un biopolymère ayant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_1 qui augmente avec l'humidité relative moyenne et qui, lorsqu'il est déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, est au moins égal à 300 Barrers,

et, sur une seule des deux faces de la première couche, de préférence en contact avec celle-ci,

- une deuxième couche d'une épaisseur comprise entre 100 nm et 20 µm, de préférence entre 200 nm et 2,5 µm, constituée d'un polymère organique synthétique présentant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 , déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, au plus égal à 250 Barrers, de préférence compris entre 0,05 et 100 Barrers, en particulier entre 1,0 et 20 Barrers.

[0022] La demande a également pour objet une telle membrane hygrorégulante avec une partie active comprenant

- une première couche d'une épaisseur comprise entre 2 µm et 200 µm constituée d'un biopolymère ayant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_1 qui augmente avec l'humidité relative moyenne et qui, lorsqu'il est déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, est au moins égal à 300 Barrers, et, sur une seule des deux faces de la première couche, de préférence en contact avec celle-ci,

- une deuxième couche d'une épaisseur comprise entre 100 nm et 20 µm, constituée d'un polymère organique synthétique présentant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 , déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, au plus égal à 250 Barrers, de préférence compris entre 0,05 et 100 Barrers, en particulier entre 1,0 et 20 Barrers. La partie active de la membrane est de préférence une structure bi-couche constituée de la première couche en biopolymère et de la deuxième couche en polymère organique synthétique, ces couches étant telles que définies ci-dessus.

[0023] La première couche en biopolymère et la deuxième couche en polymère organique synthétique sont bien entendu des couches continues, non perforées. Elles sont de ce fait imperméables aux fluides, qu'ils soient liquides ou gazeux.

[0024] Les coefficients de perméabilités P_1 et P_2 sont ceux des polymères formant respectivement la première couche et la deuxième couche. Ils correspondent au rapport du flux massique de vapeur d'eau (Q) qui traverse une zone (A) d'une membrane du polymère à tester ayant une épaisseur (E) donnée, sous l'effet d'une différence de pression de vapeur d'eau (dP) existant de part et d'autre de la membrane.

$$P = (Q \times E) / (A \times dP)$$

[0025] Ils sont déterminés selon le protocole expérimental décrit en détail ci-dessous et sont exprimés en « Barrer », c'est-à-dire que le flux massique Q est exprimé en cm^3 (pression et température normales) par seconde, l'épaisseur E est exprimée en cm, l'aire A de la zone traversée est exprimée en cm^2 , et la différence de pression de vapeur d'eau (dP) est exprimée en cm Hg (voir notamment S.A. Stern, *Journal of Polymer Science : Part A-2*, vol. 6 (1968), pages 1933-1934).

[0026] La membrane de la présente invention comporte donc une couche, relativement épaisse, à base d'un biopolymère hydrophile (première couche), revêtue sur une seule

de ses deux faces d'une couche continue d'un polymère hydrophobe (deuxième couche en polymère organique synthétique).

- [0027] La deuxième couche en polymère organique synthétique a généralement une épaisseur inférieure à celle de la première couche en biopolymère. Le rapport de l'épaisseur de la première couche à l'épaisseur de la deuxième couche est avantageusement compris entre 1,5/1 et 1000/1, de préférence entre 2/1 et 500/1, en particulier entre 3/1 et 200/1.
- [0028] La deuxième couche en polymère organique synthétique est de préférence directement en contact avec la première couche en biopolymère, c'est-à-dire l'interface entre les couches est de préférence exempte d'adhésif.
- [0029] Dans le cas, moins préféré, où la deuxième couche serait fixée sur la première couche au moyen d'un adhésif, ce dernier aurait de préférence un coefficient de perméabilité P_3 supérieur à P_1 et P_2 . Autrement dit, l'adhésif ne devrait pas opposer à la diffusion de la vapeur d'eau une résistance supérieure à celle de chacune des couches constituant la membrane.
- [0030] Les couches définies ci-dessus forment la « partie active » des membranes de la présente invention. Cette partie est de préférence une membrane obtenue de manière connue par co-extrusion de polymères thermoplastiques formant les différentes couches, par thermocollage d'un film (deuxième couche en polymère organique synthétique) sur la couche en biopolymère, ou par dépôt d'un revêtement sur une seule des deux faces de la première couche en biopolymère.
- [0031] Bien que la partie active présente en principe une tenue mécanique lui permettant d'être utilisée seule, c'est-à-dire sans couche de support, il peut être intéressant, en particulier pour des couches actives de faible épaisseur (inférieure à 50 μm), de la renforcer par une structure mécanique perméable à l'air et dont la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau est donc négligeable par rapport à celle de la couche active, imperméable à l'air.
- [0032] Dans un mode de réalisation avantageux, la membrane pare-vapeur comprend donc en outre une couche de renfort ou de protection perméable à l'air, directement en contact avec la partie active, c'est-à-dire avec l'une des deux couches constituant la partie active. Cette couche support peut être une grille, une plaque perforée, une mousse à porosité ouverte ou un textile tissé ou non tissé, perméable à l'air. Il s'agit de préférence d'un textile perméable à l'air, de préférence d'un non-tissé. On peut citer à titre d'exemples de couches de support particulièrement préférées les non-tissés en fibres de polypropylène ou de polyester ou en fibres de verre. La ou les couches de support sont de préférence fixées sur la membrane active, ou couche active, par collage au moyen d'une colle polyuréthane. La présente invention englobe également des membranes où une structure de renfort, telle qu'une grille ou un non-tissé, est

incorporée *dans* la partie active de la membrane et plus particulièrement dans la première couche en biopolymère ou entre la première couche en biopolymère et la deuxième couche en polymère organique synthétique.

- [0033] Le coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 du polymère organique constituant la deuxième couche, hydrophobe, ne varie pas significativement avec l'humidité relative moyenne. Le rapport $P_{2\text{humide}}/P_{2\text{sec}}$ est généralement compris entre 1,0 et 1,10, de préférence entre 1,0 et 1,05.
- [0034] Comme expliqué en introduction, les biopolymères formant la première couche sont des polymères organiques biosourcés et/ou biodégradables. Ils sont de préférence biosourcés.
- [0035] Les biopolymères biosourcés sont de préférence choisis dans le groupe constitué
 - des osides,
 - des protéines et
 - des polymères synthétiques obtenus à partir de monomères biosourcés.
- [0036] Les osides englobent les hétérosides dont l'hydrolyse produit des oses et des composés non glucidiques et les holosides qui sont des polymères exclusivement d'oses.
- [0037] On peut citer à titre d'exemples d'osides utilisables pour former la première couche en biopolymère de la membrane pare-vapeur de la présente invention ceux choisis dans le groupe constitué d'alginate, carraghénane, cellulose, en particulier cellulose régénérée (hydrate de cellulose), chitine, chitosane, pectine, dextrine, amidon, curdlane, FucoPol, gomme gellane, pullulane et xanthane.
- [0038] Les protéines sont choisies avantageusement dans le groupe constitué de gluten, isolat de protéine de soja, zéine, protéines du lactosérum, caséine, collagène et gélatine.
- [0039] La plupart de ces polymères biosourcés, extraits de la biomasse, ont une grande affinité pour l'eau et se dissolvent ou gonflent dans l'eau pour former des hydrogels.
- [0040] Il peut par conséquent être intéressant, voire nécessaire, de les modifier chimiquement afin de réduire leur caractère hydrophile, en particulier de les réticuler afin de les rendre insolubles dans l'eau.
- [0041] On peut citer à titre d'exemples de biopolymères biosourcés modifiés chimiquement les esters de cellulose, en particulier l'acétate de cellulose, les éthers de cellulose (en particulier l'éthylcellulose, hydroxyéthylcellulose), la nitrocellulose, les esters et éthers d'amidon.
- [0042] La troisième catégorie de biopolymères biosourcés est formée par les polymères synthétisés à partir de monomères biosourcés.
- [0043] Ces polymères peuvent être linéaires ou ramifiés, et donc thermoplastiques, ou thermodurcis.

- [0044] On peut citer à titre d'exemples de polymères synthétiques obtenus à partir de monomères biosourcés ceux choisis dans le groupe constitué par les polyhydroxyalkanoates (PHA), en particulier le polyhydroxybutyrate (PHB) et le poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate) (PHBV), le poly(acide lactique) (PLA), le poly(acide glycolique) (PGA), les poly(lactide-co-glycolide) (PLGA), les polymères obtenus par polymérisation de monomères lipidiques, et les polymères thermodurcis obtenus par réaction de monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides et/ou alditols avec un acide polycarboxylique et/ou un polyaldéhyde.
- [0045] Les polymères thermodurcis obtenus par réaction de monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides et/ou alditols avec un acide polycarboxylique et/ou un polyaldéhyde sont bien connus dans le domaine des liants pour laines minérales et sont décrits en détail par exemple dans les demandes internationales WO2009/080938, WO2010/029266, WO2013/014399, WO2013/021112 et WO2015/132518 au nom de la Demanderesse.
- [0046] Comme expliqué en introduction, il est également possible d'utiliser des polymères d'origine pétrochimique pour former la première couche en biopolymère des membranes de la présente invention du moment où ils sont biodégradables au sens de la norme NF EN 13432.
- [0047] Les biopolymères biodégradables peuvent être choisis avantageusement dans le groupe constitué des polyesters aliphatiques homopolymères tels que la poly(caprolactone) (PCL) et le poly(butylène succinate) (PBS), des copolyesters aliphatiques tels que et le poly(butylène succinate-co-adipate), des copolyesters aromatiques tels que le poly(butylène adipate-co-téréphtalate) (PBAT) et des polyesteramides.
- [0048] Tous les biopolymères constituant la première couche en biopolymère présentent un coefficient de perméabilité P_1 , déterminé à 23 °C dans des conditions sèches (environ 25 % d'humidité relative moyenne), supérieur ou égal à 300 Barrers, de préférence compris entre 300 et 50 000 Barrers, en particulier compris entre 400 et 30 000 Barrers, et idéalement entre 500 et 20 000 Barrers.
- [0049] Ce coefficient de perméabilité est déterminé de la manière suivante :
Cinq échantillons d'une même membrane d'épaisseur (E) sont scellés au moyen d'un produit de jointement au-dessus de coupelles d'essai contenant un dessicant (poudre de CaCl_2 imposant une humidité relative dans la coupelle d'environ 1 %). Un gabarit est disposé sur la surface des films préalablement à l'application du produit de jointement, afin de créer une zone d'échange, libre de tout produit de jointement et d'une aire définie (A). Différents produits de jointement peuvent être utilisés. Le produit de jointement est par exemple un mélange de 60 % de cire microcristalline et de 40 % de paraffine cristalline raffinée.

- [0050] Les coupelles ainsi réalisées sont placées dans une chambre d'essai réglée en température (23 °C) et en humidité relative (50 %), également appelée enceinte climatique.
- [0051] Du fait de la différence de pression partielle de vapeur (dP) régnant à l'intérieur des coupelles d'essai et dans la chambre, de la vapeur d'eau migre à travers la zone d'échange des membranes. Des pesées périodiques des coupelles sont effectuées afin de déterminer les débits de transmission de vapeur d'eau (Q) en régime stationnaire, puis, par calcul, le coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau des films considérés, exprimé en Barrer. La moyenne des perméabilités mesurées sur les différents assemblages est alors calculée et correspond au coefficient de perméabilité P_1 susmentionné.
- [0052] La première couche hydrophile de la membrane pare-vapeur de la présente invention est couverte sur une seule de ses deux faces d'une couche continue d'un polymère organique plus hydrophobe et moins perméable à la vapeur d'eau que la première couche en biopolymère. Le terme « continu » signifie ici que la deuxième couche couvre totalement ladite face de la première couche en biopolymère de manière à ce que cette face ne soit pas en contact avec l'atmosphère. Bien entendu, l'autre face de la première couche en biopolymère, non couverte par la deuxième couche, est en contact avec l'atmosphère environnante.
- [0053] Le coefficient de perméabilité P_2 de la deuxième couche en polymère organique synthétique est au plus égal à 250 Barrers, de préférence compris entre 0,05 et 100 Barrers, en particulier entre 1,0 et 20 Barrers. Le coefficient de perméabilité est déterminé de la même manière que le coefficient P_1 .
- [0054] Le polymère organique constituant la deuxième couche est choisi avantageusement dans le groupe constitué de polypropylène, polyéthylène, poly(éthylène-co-propylène), homopolymères et copolymères de monomères vinyliques choisis parmi le chlorure de vinyle, chlorure de vinylidène, fluorure de vinyle, fluorure de vinylidène, tétrafluoroéthylène et acrylonitrile.
- [0055] Une membrane pare-vapeur avec une première couche constituée de cellulose, en particulier de cellulose régénérée, et d'une deuxième couche constituée de polyéthylène, de polypropylène, d'un copolymère éthylène-propylène ou de poly(chlorure de vinylidène), de préférence de poly(chlorure de vinylidène), est un mode de réalisation particulièrement préféré de la membrane pare-vapeur utilisée dans le procédé de la présente invention.
- [0056] La partie active de la membrane pare-vapeur utilisée dans le procédé de la présente invention a avantageusement une épaisseur comprise entre 5,0 μm et 240 μm , de préférence entre 10 μm et 120 μm , en particulier entre 15 et 80 μm , ces valeurs

correspondant à la partie active (bicouche) de la membrane mais n'englobent pas une éventuelle structure de renfort et/ou de protection.

- [0057] De préférence, le mur ou la paroi de la pièce ou le mur du bâtiment dont il s'agit d'améliorer l'étanchéité à l'air sont isolés, c'est-à-dire recouverts, par un matériau isolant thermique et la membrane pare-vapeur est fixée sur le matériau isolant thermique ou incorporée dans le matériau isolant thermique. Dans un mode de réalisation du procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou d'une pièce d'un bâtiment, on applique par conséquent la membrane pare-vapeur de la présente invention en une position interne par rapport au matériau d'isolation thermique, de préférence en contact direct avec celui-ci. La fixation peut se faire par n'importe quel moyen approprié n'entamant pas significativement l'étanchéité à l'air de la membrane. Elle peut se faire par exemple par collage, agrafage ou au moyen d'un système de fixation mécanique par crochets et boucles textiles (en anglais *hook and loop fastener*) de type scratch/Velcro®.
- [0058] Dans un autre mode de réalisation du procédé de la présente invention, la membrane pare-vapeur est intégrée dans le matériau isolant et fixée au mur de la pièce ou du bâtiment en même temps que celui-ci. La membrane est alors orientée parallèlement aux deux surfaces principales du matériau d'isolation et est située de préférence plus proche de la surface principale tournée vers l'intérieur de la pièce ou du bâtiment que de la surface principale tournée vers le mur.
- [0059] Le matériau isolant thermique peut être n'importe quel matériau isolant perméable à la vapeur d'eau et englobe notamment les mousses et les matériaux à base de fibres. Il est de préférence en fibres minérales (laine minérale) ou en fibres organiques naturelles (fibres lignocellulosiques, ouate de cellulose, laine animale), synthétiques (fibres de polyester) ou artificiels. Il est de préférence en laine minérale.

Exemples

- [0060] Une membrane bicouche cellulose/PVDC a été réalisée par dépôt, par voie humide, d'un latex de PVDC (Diofan® B204, Solvay) sur un film de cellulose de 23 µm (NatureFlex® 23NP, UL Prospector). Le dépôt de ce latex a été effectué à l'aide d'un *bar coater* imposant une épaisseur humide de 4 µm. Après séchage, l'épaisseur du film de PVDC est d'environ 1,5 µm.
- [0061] Cette structure bicouche cellulose/PVDC selon l'invention a été soumise à une évaluation de sa perméabilité à la vapeur d'eau dans des conditions humides et sèches, en comparaison avec 3 membranes de l'état de la technique.
- [0062] Pour cela, chaque membrane a été positionnée de manière à fermer une coupelle en aluminium en utilisant en tant que produit de jointement de la cire de paraffine fondue (mélange de 60 % de cire microcristalline et de 40 % de paraffine cristalline

raffinée) pour assurer l'étanchéité. Pour mesurer la perméabilité à la vapeur d'eau en condition sèche, du chlorure de calcium est introduit dans la coupelle avant de la sceller avec la membrane afin d'imposer une humidité relative d'environ 1% à l'intérieur. L'assemblage coupelle/membrane est ensuite introduit dans une enceinte climatique dans laquelle l'humidité relative est fixée à 50% et la température à 23°C, de manière à créer une différence de pression de vapeur d'eau (dP) de part et d'autre de la membrane. On détermine par pesée des coupelles au cours du temps le flux de vapeur d'eau (Q) qui passe au travers de la zone (A) de la membrane d'épaisseur (E) et on calcule le coefficient de perméabilité (exprimé en Barrers) selon la formule

$$P = (Q \times E) / (A \times dP)$$

Le coefficient de perméabilité P_1 ainsi calculé correspond à une humidité relative moyenne de 25,5% ((1%+50 %)/2).

- [0063] Pour mesurer la perméabilité à la vapeur d'eau en condition humide (90% d'humidité relative moyenne), on procède de manière analogue, à ceci près que de l'eau liquide est introduite dans la coupelle afin de fixer l'humidité relative à 100%, et l'humidité relative dans l'enceinte climatique est fixée à 80%.
- [0064] On détermine également pour chaque membrane l'épaisseur équivalente d'air (S_d) conformément à la norme EN ISO12572.
- [0065] La première membrane est une membrane pare-vapeur selon l'invention. Elle est constituée d'une première couche en cellulose d'une épaisseur de 23,5 µm couverte sur une de ses faces d'une couche de poly(chlorure de vinylidène) (PVDC) d'une épaisseur de 1,5 µm. Le coefficient de perméabilité P_1 de la première couche en cellulose est de 5600 Barrers à une humidité relative de 25,5% (23 °C) et de 34600 Barrers à une humidité relative de 90 % (23 °C); le coefficient de perméabilité P_2 de la couche de PVDC est de 5 Barrers (23 °C). Il ne varie pas en fonction de l'humidité relative.
- [0066] Pour cette membrane bicouche selon l'invention on détermine l'épaisseur équivalente d'air pour les deux orientations possibles, à savoir une première orientation où la couche en PVDC est tournée vers et en contact avec l'atmosphère sèche, et une deuxième orientation où la couche en PVDC est tournée vers et en contact avec l'atmosphère humide.
- [0067] La deuxième membrane (membrane comparative) est celle ayant servi à la fabrication de la membrane selon l'invention. Elle est constituée uniquement de cellulose qui présente le même coefficient de perméabilité P_1 que la première couche de la membrane selon l'invention. Son épaisseur est de 23,5 µm.
- [0068] La troisième membrane (membrane comparative) est une membrane formée d'une seule couche active en polyamide 6 d'une épaisseur de 40 µm fixée sur un non-tissé

en polypropylène. Elle est disponible sur le marché sous la dénomination Vario KM Duplex® (Saint-Gobain Isover)

[0069] La quatrième membrane (membrane comparative) est une membrane tricouche selon l'état de la technique, avec une partie active constituée d'une couche médiane en copolymère d'éthylène et d'alcool vinylique (EVOH) pris en sandwich entre deux couches de polyamide 6, fixée sur un non-tissé de polypropylène. Cette membrane est disponible sur le marché sous la dénomination Vario Xtra® (Saint-Gobain Isover).

[0070] Les caractéristiques techniques des quatre membranes (composition des couches, épaisseur, épaisseur d'air équivalente dans les conditions sèches et humides, orientation pour la membrane asymétrique) sont rassemblées dans le Tableau 1 ci-dessous.

[0071] [Tableaux1]

Membrane		Epaisseur t otale	S _d (25,5 % RH)	S _d (90 % RH)
1 (invention)	Cellulose/PVDC PVDC côté sec	24,5 µm	17 m	0,04 m
1 (invention)	Cellulose/PVDC PVDC côté humide	24,5 µm	15 m	0,04 m
2 (comparatif)	Cellulose	23 µm	0,35 m	0,04 m
3 (comparatif)	Polyamide (PA6) Vario® Duplex	40 µm	4 m	0,14 m
4 (comparatif)	PA6-EVOH-PA6 Vario® Xtra	30 µm	24 m	0,22 m

[0072] Le comportement hygrorégulateur de la membrane bicouche cellulose/PVDC selon l'invention est très intéressant puisqu'une grande différence de S_d est observée.

[0073] En comparaison des performances de la membrane Vario® KM Duplex nous pouvons noter que l'assemblage bicouche considéré ici présente des valeurs de S_d bien supérieures en condition sèche et bien inférieures en condition humide (100-80 % HR). Ainsi, le comportement intelligent de ce film bicouche est bien plus prononcé que celui de cette membrane commerciale.

[0074] La membrane bicouche cellulose/PVDC selon l'invention présente des valeurs de S_d plus faibles en conditions sèche et humide que celles de la membrane Vario® Xtra. Ainsi, la membrane réalisée bloque certes un peu moins la vapeur d'eau en hiver (faible humidité relative) mais laisse davantage circuler la vapeur d'eau en été (humidité relative élevée), ce qui est particulièrement intéressant pour garantir un bon séchage en été.

[0075] De plus, si nous comparons les films actifs de ces trois membranes nous pouvons noter que la quantité globale de polymère utilisée est plus faible dans le cas de la membrane cellulose/PVDC (24,5 μm contre 40 μm de film actif de PA6 pour la Vario® KM Duplex et 30 μm de PA6/EVOH/PA6 pour la Vario® Xtra). L'impact environnemental de cette membrane cellulose/PVDC est ainsi meilleur que celui des films actifs des membranes commerciales actuelles qui, de surcroît sont constitués uniquement de polymères organiques non biodégradables.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé d'amélioration de l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ou d'une pièce d'un bâtiment comprenant l'application d'une membrane pare-vapeur sur la face interne des murs dudit bâtiment ou de ladite pièce d'un bâtiment, caractérisé par le fait que la membrane pare-vapeur est une membrane hygrorégulante avec une partie active comprenant
- une première couche d'une épaisseur comprise entre 2 μm et 200 μm , de préférence entre 4 μm et 100 μm , constituée d'un biopolymère ayant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_1 qui augmente avec l'humidité relative moyenne et qui, lorsqu'il est déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, est au moins égal à 300 Barrers,
 - et, sur une seule des deux faces de la première couche, de préférence en contact avec celle-ci,
 - une deuxième couche d'une épaisseur comprise entre 100 nm et 20 μm , de préférence entre 200 nm et 2,5 μm , constituée d'un polymère organique synthétique présentant un coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 , déterminé à 23 °C et à une humidité relative moyenne de 25,5%, au plus égal à 250 Barrers, de préférence compris entre 0,05 et 100 Barrers, en particulier entre 1,0 et 20 Barrers.
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, caractérisé par le fait que la partie active de la membrane est constituée de la première couche en biopolymère et de la deuxième couche en polymère organique synthétique.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé par le fait que le coefficient de perméabilité à la vapeur d'eau P_2 du polymère organique synthétique constituant la deuxième couche ne varie pas significativement avec l'humidité relative moyenne.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 - 3, caractérisé par le fait que le biopolymère est un biopolymère biosourcé choisi dans le groupe constitué des osides, des protéines et des polymères synthétiques obtenus à partir de monomères biosourcés.
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les osides sont choisis dans le groupe constitué d'alginate, carraghénane, cellulose, en particulier cellulose régénérée, chitine, chitosane,

- pectine, dextrine, amidon, curdlane, FucoPol, gomme gellane, pullulane et xanthane.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les protéines sont choisies dans le groupe constitué de gluten, isolat de protéine de soja, zéine, protéines du lactosérum, caséine, collagène et gélatine.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé par le fait que les osides et protéines sont chimiquement modifiés.
- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 4, caractérisé par le fait que les polymères synthétiques obtenus à partir de monomères biosourcés sont choisis dans le groupe constitué par les polyhydroxyalkanoates (PHA), le poly(acide lactique) (PLA), le poly(acide glycolique) (PGA), les poly(lactide-co-glycolide) (PLGA), les polymères obtenus par polymérisation de monomères lipidiques, les polymères thermodurcis obtenus par réaction de monosaccharides, disaccharides, oligosaccharides et/ou alditols avec un acide polycarboxylique et/ou un polyaldéhyde.
- [Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 - 3, caractérisé par le fait que les biopolymères sont des polymères biodégradables choisis dans le groupe constitué des polyesters aliphatiques, copolyesters aliphatiques, copolyesters aromatiques et polyesteramides.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 9, caractérisé par le fait que les biopolymères biodégradables sont choisis dans le groupe constitué de poly(caprolactone) (PCL), poly(butylène succinate) (PBS), poly(butylène succinate-co-adipate) et poly(butylène adipate-co-téréphtalate) (PBAT).
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le polymère organique synthétique constituant la deuxième couche est choisi dans le groupe constitué de polypropylène, polyéthylène, poly(éthylène-co-propylène), homopolymères et copolymères de monomères vinyliques choisis parmi le chlorure de vinyle, chlorure de vinylidène, fluorure de vinyle, fluorure de vinylidène, tétrafluoroéthylène et acrylonitrile.
- [Revendication 12] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 - 5, caractérisé par le fait que la première couche est constituée de cellulose et que la deuxième couche est constituée de polyéthylène, de polypropylène,

- d'un copolymère éthylène-propylène ou de poly(chlorure de vinylidène), de préférence de poly(chlorure de vinylidène).
- [Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la partie active de la membrane a une épaisseur comprise entre 5,0 μm et 240 μm , de préférence entre 10 μm et 120 μm .
- [Revendication 14] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que la membrane pare-vapeur comporte en outre une couche de renfort ou de protection qui est en contact avec la première couche ou la deuxième couche de la partie active de la membrane.
- [Revendication 15] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé par le fait que le mur du bâtiment ou de la pièce du bâtiment est recouvert par un matériau isolant thermique et que l'on applique la membrane pare-vapeur en une position interne par rapport au matériau isolant thermique ou que la membrane est intégrée dans le matériau isolant thermique.
- [Revendication 16] Procédé selon la revendication 15, caractérisé par le fait que le matériau isolant thermique est en fibres minérales ou organiques, naturelles, synthétiques ou artificielles.

RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

US 2008/311813 A1 (TING YUAN-PING R [US]
ET AL) 18 décembre 2008 (2008-12-18)

FR 2 997 649 A1 (SAINT GOBAIN ISOVER [FR])
9 mai 2014 (2014-05-09)

FR 2 987 380 A1 (SAINT GOBAIN ISOVER [FR])
30 août 2013 (2013-08-30)

WO 00/37751 A1 (ICOPAL AS [DK]; HARDER
SVEN [DK]) 29 juin 2000 (2000-06-29)

STERN S A: ""Barrer" permeability unit",
JOURNAL OF POLYMER SCIENCE PART B: POLYMER
PHYSICS, JOHN WILEY & SONS, INC, US,
vol. 6, no. 11,
1 novembre 1968 (1968-11-01), pages
1933-1934, XP009135616,
ISSN: 0887-6266, DOI:
10.1002/POL.1968.160061108

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