



(11) **EP 4 397 931 A1**

(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
10.07.2024 Bulletin 2024/28

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):
F26B 9/06 ^(2006.01) **F26B 21/14** ^(2006.01)
F26B 25/22 ^(2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **24150450.5**

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):
F26B 21/14; B27K 5/001; F26B 3/04; F26B 9/06;
F26B 21/001; F26B 21/026; F26B 21/028;
F26B 21/04; F26B 21/086; F26B 21/10;
F26B 21/12; F26B 25/22; F26B 2210/16

(22) Date de dépôt: **04.01.2024**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL
NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

(71) Demandeur: **Ways SAS**
77920 Samois-Sur-Seine (FR)

(72) Inventeurs:
• **RAOULT, YANN**
77920 SAMOIS SUR SEINE (FR)
• **CARMASSI, GUILLAUME**
12000 RODEZ (FR)

(30) Priorité: **05.01.2023 FR 2300130**
05.01.2023 FR 2300136

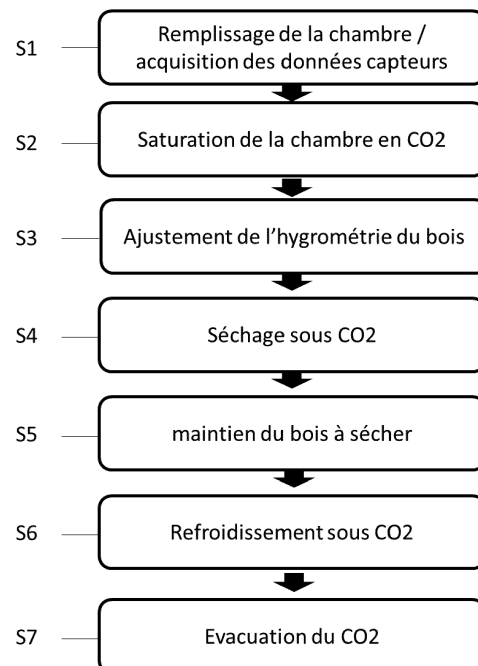
(74) Mandataire: **Nicolle, Olivier**
Ipon Global
29, boulevard Georges Seurat
92200 Neuilly-sur-Seine (FR)

(54) **PROCÉDÉ DE SÉCHAGE THERMIQUE DE BOIS SOUS ATMOSPHERE CO2**

(57) L'invention concerne un procédé de séchage thermique de bois mis en oeuvre comprenant les étapes suivantes :

-Acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher (S1) ;
-saturer (S2) la chambre de séchage (1) en CO₂
-Ajuster l'hygrométrie du bois (S3) par chauffage
-réchauffer (S4) le CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) selon une première phase, puis réchauffer selon une seconde phase le CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois atteigne une valeur cible intermédiaire Hi choisie
-Diminuer (S5) la température de la chambre de chauffage (1) jusqu'à une troisième température consigne T3 choisie de stabilisation
-Diminuer selon une seconde phase (S6) la température de la chambre de chauffage (1)
Et le bois séché directement obtenu par le procédé selon l'invention.

[Fig. 1]



EP 4 397 931 A1

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de séchage thermique de bois par séquestration CO₂ ainsi que le bois séché directement obtenu par le procédé, en particulier mais non limitativement pour le séchage industriel du bois d'industrie, bois énergie, grumes, et matériau lignocellulosique assimilés.

[0002] On entend ici par « bois d'industrie » le bois destiné à l'emploi dans les filières de seconde transformation du bois, notamment pour l'industrie, le bâtiment, la menuiserie, ou pour l'aménagement extérieur et intérieur urbain, industriel, collectif et domestique.

[0003] On entend par « bois » tout matériau lignocellulosique ou composé analogue apte à la séquestration de CO₂.

[0004] On entend ici par « séquestration CO₂ », toute substitution, piégeage du CO₂, réaction chimique entre le CO₂/les polymères du bois/l'eau ou complexation, ou accumulation stable du CO₂ ou carbonatation du bois ou de l'eau contenue dans le bois avec des composés tel que du bois à sécher ou matériau récepteur analogue.

[0005] On connaît un système tel qu'enseigné par le document WO2020127026, utilisant des cellules de séchage de bois sous atmosphère CO₂ pour mettre en oeuvre un procédé de séchage de bois sous atmosphère CO₂.

[0006] Ce procédé présente l'inconvénient de ne pas permettre de maintenir une uniformité de la température du mélange gazeux dans la chambre de séchage, ayant pour conséquence une faible uniformité de séchage du bois.

[0007] Ce procédé présente aussi l'inconvénient de ne pas permettre de limiter la présence d'eau à l'état liquide dans ladite chambre de séchage, ni de garantir que la température de l'environnement de séchage soit uniforme en utilisation en tout point de la chambre de séchage.

[0008] Bien que différentes solutions pour le séchage du bois d'oeuvre, bois rond et/ou en grumes existent, les solutions connues ne permettent que rarement une application industrielle associée à un bilan énergétique faible. En effet, les solutions connues sont généralement utilisées à petite échelle, pour consommer un minimum d'énergie tout en obtenant un bois comportant un pourcentage d'eau faible, et ne permettent pas l'obtention d'un séchage disposant d'un bilan carbone neutre ou négatif.

[0009] Un autre inconvénient des solutions existantes est la durée d'utilisation d'une installation de séchage, de plusieurs jours, voire plusieurs semaines, facteur limitant une utilisation efficace pour un usage industriel.

[0010] De plus, les procédés actuels sont trop souvent en difficulté pour atteindre l'objectif qui est d'élever la température de manière à ce que celle-ci soit homogène jusqu'au coeur d'une masse de bois, tout en obtenant une hygrométrie précise du bois séché et en garantissant l'intégrité de la structure interne du bois pendant et après le séchage.

[0011] Les procédés et installations de séchage actuels présentent également l'inconvénient de ne permettre de séquestrer qu'une très faible quantité de CO₂ dans le bois à sécher.

[0012] Toutes les méthodes de séchage connues citées précédemment provoquent en outre une déformation du bois ainsi obtenu, intégrant fréquemment des déformations des avivés tel que le tuilage, mais également au niveau des noeuds dudit matériau avec des détachements. Ces déformations présentant en outre de nombreux inconvénients lors de l'utilisation future du matériau séché.

[0013] Les inconvénients en utilisation comprennent non limitativement une répartition des forces inégales en tout point dudit matériau pouvant provoquer des faiblesses structurelles, des déformations rendant le matériau inutilisable, une usure accélérée du matériau dans le temps, et un retrait en volume important entre l'état non séché et l'état séché, et donc un mauvais rendement matière du processus de séchage.

[0014] La présente invention remédie à ces inconvénients.

[0015] L'invention porte sur un procédé de séchage thermique de bois mis en oeuvre à l'aide d'une installation de séchage comprenant au moins une chambre de séchage.

[0016] Selon une définition générale de l'invention, ledit procédé comprend les étapes suivantes :

- Acquérir des données métrologiques et paramètres du bois à sécher par mesure via des moyens métrologiques ;
- Activer des moyens d'alimentation en CO₂ configurés pour saturer la chambre de séchage en CO₂ et disposer d'un mélange gazeux circulant ;
- Vérifier que la saturation en CO₂ dans le mélange gazeux circulant est suffisante pour démarrer un cycle de séchage par vérification via des moyens de mesure CO₂/CH₄ au niveau d'un conduit d'évacuation ;
- Activer des moyens de chauffage pour ajuster l'hygrométrie du bois par chauffage lorsqu'une saturation en CO₂ mesurée suffisante est atteinte.
- Si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, chauffer avec une limite de température selon une première température de consigne T1, selon un gradient de température choisi G1 afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher et activer des moyens de circulation ;
- Si l'hygrométrie du bois est inférieure à 30%, chauffer avec une limite de température selon une première température de consigne T2, selon un gradient de température choisi G2 afin d'extraire l'eau liée du

bois à sécher et activer les moyens de circulation ;

- Stabiliser la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage selon une première phase lorsque une hygrométrie inférieure ou égale à 30% est mesurée, activer les moyens de recyclage puis augmenter selon une seconde phase la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois atteigne une valeur cible intermédiaire Hi choisie, les moyens de chauffage étant activés de manière à ce que le réchauffage soit effectué avec une température limite définie par une seconde température de consigne T2 de 120°C selon un gradient de température choisi G2, et en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée du bois à sécher;
- Maintenir l'hygrométrie du bois à sécher en désactivant les moyens de recyclage et moduler l'activité des moyens de chauffage pour diminuer la température de la chambre de chauffage selon une première phase, jusqu'à une troisième température consigne T3 de stabilisation choisie selon un gradient de température G3, lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois via les moyens de mesure de l'hygrométrie du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, sauf si l'une des valeurs d'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à Hi+A%, A étant une valeur choisie, ladite température de consigne T3 étant maintenue pendant une durée de temps choisie D jusqu'à ce que la valeur d'hygrométrie mesurée du bois initialement supérieure à Hi+A% soit stable et comprise dans une plage de valeurs inférieure à Hi+A% ; -Désactiver les moyens de chauffage, pour diminuer la température de la chambre de chauffage selon une seconde phase, lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois atteint la valeur cible finale d'hygrométrie Hc.

[0017] A titre d'exemple, la valeur d'hygrométrie Hi+A% dispose d'une valeur A comprise entre 1% et 2,5%.

[0018] En pratique, l'étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher comprend les sous-étapes suivantes :

- Remplir la chambre de séchage avec l'objet à sécher ;
- Mesurer la température du bois en surface et à coeur ;
- Mesurer l'hygrométrie du bois à sécher ;
- Mesurer la température de la chambre de séchage ;
- Mesurer l'hygrométrie de la chambre de séchage ; et
- Mesurer le poids du bois à sécher.

[0019] En outre, l'étape d'activation des moyens d'alimentation en CO₂ comprend une sous-étape de vérifi-

cation de la saturation en CO₂ du mélange gazeux circulant dans la chambre de séchage.

[0020] En pratique, l'étape d'activation des moyens de chauffage pour ajuster l'hygrométrie du bois comprend une sous-étape de suivi de l'hygrométrie du bois en temps réel et que l'étape de chauffe comprend une sous-étape de suivi de l'hygrométrie du bois en temps réel.

[0021] Selon un mode de réalisation conforme à l'invention, l'étape d'activation des moyens de recyclage comprend une sous-étape de mise en oeuvre d'une séquence d'activation/désactivation d'un module d'inversion de flux selon une fréquence F1 choisie.

[0022] En pratique, l'étape de diminution de la température de la chambre de chauffage selon une seconde phase, comprend en outre une sous-étape de mise à l'arrêt du module d'inversion de flux en même temps que les moyens de recyclage.

[0023] Le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'évacuation du CO₂, configurée pour désaturer en CO₂ la chambre de séchage pour extraire le bois séché.

[0024] A titre d'exemple non limitatif, l'étape de chauffage comprend une limite de température selon une première température de consigne T1 comprise entre 50°C et 60°C, selon un gradient de température choisi G1 de 2°C/heure.

[0025] A titre d'exemple non limitatif, l'étape d'augmentation de la température comprend une limite de température définie selon une seconde température de consigne T2 inférieure ou égale à 120°C, selon un gradient de température choisi G2 compris entre 1°C/heure et 3°C/heure.

[0026] A titre d'exemple non limitatif, l'étape de diminution de la température de la chambre de chauffage selon une première phase comprend une limite de température selon une première température de consigne T3 comprise entre 50°C et 100°C, selon un gradient de température choisi G3 de 2°C/heure.

[0027] Avantagusement, le procédé de séchage selon l'invention permet en outre d'obtenir un retrait inférieur à 5 % du bois alors que le retrait standard avec des moyens de séchages conventionnels est de 10 à 15%.

[0028] L'invention porte également sur un bois séché directement obtenu par le procédé selon l'invention, comportant de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose.

[0029] Selon une seconde définition générale, le bois séché directement obtenu par le procédé selon l'invention contient moins de 20% d'humidité moyenne mesurée, et en ce que l'ultrastructure de la paroi cellulaire du bois est conservée à l'état séché par rapport à l'état avant séchage.

[0030] Le Demandeur a également observé que la mise en oeuvre du procédé selon l'invention par une installation de séchage permet l'obtention d'un bois séché selon l'invention, dispose d'une reprise d'humidité faible, d'une réduction de la coloration du bois séchée, ainsi que la limitation/absence d'apparition de fentes lors des séchages.

[0031] En outre, le procédé de séchage selon l'invention permet d'obtenir une uniformité de séchage, ainsi qu'un retrait inférieur à 5% tout en limitant la présence d'eau à l'état liquide dans la chambre de séchage.

[0032] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description et des dessins dans lesquels :

- **[Fig 1]** représente schématiquement les étapes du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 2]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de remplissage de la chambre / acquisition des données capteurs du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 3]** schématiquement les sous-étapes de l'étape de saturation de la chambre en CO₂ du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 4]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 5]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de maintien du bois à sécher du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 6]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de refroidissement sous CO₂ du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 7]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de séchage sous CO₂ du procédé mis en oeuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 8]** représente schématiquement une installation de séchage apte à mettre en oeuvre le procédé conforme à l'invention ; et
- **[Fig 9]** représente une vue de face de l'installation de séchage apte à mettre en oeuvre le procédé conforme à l'invention.

[0033] En référence aux **figures 1 à 7**, le procédé de séchage et de séquestration de CO₂ dans le bois selon l'invention est effectué dans une installation de séchage comprenant au moins un module de séchage C1 intégrant au moins une chambre de séchage 1, des moyens de chauffage 2 ainsi que des moyens d'alimentation en CO₂ 3, et comprend une succession d'étapes.

[0034] Selon une étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher S1, des données métrologiques et paramètres du bois à sécher sont acquises par mesure des moyens métrologiques 5.

[0035] En outre, la mesure les différentes données paramétriques est effectuée pour calibrer les valeurs consignées à appliquer.

[0036] En pratique, l'étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher S1 comprend les sous-étapes suivantes :

- Remplir la chambre de séchage avec l'objet à sécher S11 ;
- Mesurer la température du bois en surface et à coeur S12 ;
- Mesurer l'hygrométrie du bois à sécher S13 ;
- Mesurer la température de la chambre de séchage S14 ;
- Mesurer l'hygrométrie de la chambre de séchage S15 ; et
- Mesurer le poids du bois à sécher S16.

[0037] A titre d'exemple, le bois à sécher est inséré dans la chambre de séchage 1, puis la chambre de séchage est scellée hermétiquement.

[0038] En pratique, la différence entre la température du bois en surface et la température du bois à coeur doit être inférieure ou égale à 20°C pendant toute l'opération de séchage.

[0039] En outre, la sous-étape de mesure du poids du bois à sécher S16 permet le calcul de la perte de masse afférente à la mise en oeuvre du séchage et ainsi quantifier la quantité d'eau extraite en prenant en compte la quantité de CO₂ séquestrée.

[0040] A titre d'exemple non limitatif, la quantité de CO₂ séquestrée maximale est de 250kg/m³ de bois.

[0041] Selon une étape de saturation en CO₂ S2 de la chambre de séchage 1, des moyens d'alimentation en CO₂ 3 sont activés afin de permettre l'injection de CO₂ en provenance d'une source de CO₂ dans la chambre de séchage 1.

[0042] En pratique, l'étape de saturation en CO₂ S2 comprend une sous-étape de vérification S21 de la saturation en CO₂ dans le mélange gazeux circulant, pour s'assurer que ladite saturation minimale en CO₂ pour démarrer un cycle de séchage est atteinte.

[0043] On entend par mélange gazeux circulant la somme totale des composant de l'environnement gazeux et liquide circulant dans la chambre de séchage 1 à un instant t.

[0044] En pratique, la vérification de la saturation en CO₂ S21 est mise en oeuvre par mesure via des moyens de mesure CO₂/CH₄ 56 au niveau d'un conduit d'évacuation du module de séchage C1.

[0045] Selon un mode de réalisation, lorsque le ratio $R = P[CO_2] \text{ entrée} / P[CO_2] \text{ sortie}$ est compris entre 0,8 et 1,2 la saturation minimale en CO₂ est atteinte.

[0046] Selon un mode de réalisation alternatif, la véri-

fication de la saturation en CO₂ S21 est mise en oeuvre par mesure du pourcentage de CO₂ dans le mélange gazeux circulant.

[0047] Selon une étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S3, des moyens de chauffage 2 sont activés pour ajuster l'hygrométrie du bois à sécher, pour que l'hygrométrie mesurée du bois soit inférieure ou égale à 30%. Les moyens de chauffage 2 sont activés lorsque la saturation en CO₂ minimale est atteinte.

[0048] L'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S3 comprend en outre une sous-étape de mesure de l'hygrométrie du bois en temps réel S31.

[0049] En pratique, si l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à 30%, le procédé selon l'invention comprend une sous-étape de chauffage S32 via les moyens de chauffage 2, dont les paramètres de mise en oeuvre comprennent une limite haute de température selon une première température de consigne T1 à ne pas dépasser, ainsi qu'un gradient de température choisi G1 afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois soit inférieure ou égale à 30%.

[0050] La sous-étape de chauffage S32 comprend en outre l'activation de moyens de circulation gazeux 4.

[0051] A titre d'exemple non limitatif, la première température de consigne T1 est comprise entre 50°C et 60°C.

[0052] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G1 est de 2°C/ heure.

[0053] Si l'hygrométrie du bois est inférieure ou égale à 30%, une étape de séchage S4 est mise en oeuvre directement, et consiste à augmenter la température du mélange gazeux circulant, dont les paramètres de mise en oeuvre comprennent une limite haute de température selon une seconde température de consigne T2 à ne pas dépasser, et selon un gradient de température choisi G2, afin d'extraire l'eau liée du bois à sécher et activer les moyens de circulation gazeux 4.

[0054] L'étape de séchage S4 du procédé de séchage, comprend des sous-étapes comprenant :

- stabiliser S41 la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage 1 selon une première phase lorsque l'hygrométrie du bois mesurée est inférieure ou égale à 30% ;
- activer S42 des moyens de recyclage 600 ;
- Mesurer en temps réel l'hygrométrie du bois S43 ; et
- augmenter S44, selon une seconde phase, la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage 1 jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois atteigne une valeur cible intermédiaire Hi choisie.

[0055] Selon un mode de réalisation, l'étape d'activation S42 des moyens de recyclage 600 comprend en outre la mise en route d'une séquence d'activation/dé-

sactivation d'un module d'inversion de flux selon une fréquence F1 choisie, configurée pour inverser le sens du flux du mélange gazeux circulant dans la chambre de séchage 1 selon une fréquence choisie dans deux sens de circulation.

[0056] En pratique, les moyens de chauffage 2 sont activés de manière à ce que le chauffage soit effectué avec une température limite définie par une seconde température de consigne T2 de 120°C selon un gradient de température choisi G2, et en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée du bois à sécher de manière plus précise.

[0057] Les températures de consignes T1 et T2 sont des limites de températures que chaque module de séchage C1 ne pourra dépasser durant ces phases.

[0058] En pratique, la température de consigne T2 est inférieure ou égale à 120°C.

[0059] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G2 est compris entre 1 et 3°C/ heure.

[0060] En pratique, la valeur cible intermédiaire Hi choisie de l'hygrométrie mesurée du bois est égale à l'hygrométrie cible finale souhaitée Hc + 1,5 à 2,5%.

[0061] En outre, l'atteinte de la valeur intermédiaire Hi choisie est rendue possible grâce au pilotage des moyens de recyclage 600 au travers d'un hystérésis haut (hys-h) et un hystérésis bas (hys-b). Ces deux paramètres permettent d'activer les moyens de recyclage 600 en corroboration avec l'hygrométrie mesurée dans la chambre de séchage 1 afin d'éviter l'activation/désactivation des moyens de recyclage 600 ou de l'alimentation en CO₂ 3 en cas de mesure d'hygrométrie fluctuant entre une valeur supérieure et inférieure à la valeur intermédiaire Hi choisie.

[0062] En pratique, le gradient de température G2 est choisi en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée du bois à sécher, et dynamique, de manière à être ajusté lorsque l'on se rapproche de la valeur cible intermédiaire Hi d'hygrométrie du bois choisie.

[0063] A titre d'exemple non limitatif, la pression mesurée dans la chambre de séchage est comprise entre 0,8 et 1 bar.

[0064] Selon une étape de maintien du bois à sécher S5, la température dans la chambre de séchage 1 est stabilisée.

[0065] L'étape de maintien du bois à sécher S5 est mise en oeuvre en désactivant S51 les moyens de recyclage 600, et en modulant l'activité des moyens de chauffage 2 pour diminuer la température S52 de la chambre de chauffage 1 selon une première phase, jusqu'à une troisième température consigne T3 de stabilisation choisie selon un gradient de température G3, lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois via les moyens de mesure de l'hygrométrie 54 du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, l'hygrométrie est stabilisée S53.

[0066] En pratique, si l'une des valeurs d'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à Hi+A%, ladite température de consigne T3 est maintenue pendant une durée

de temps choisie jusqu'à ce que la valeur d'hygrométrie mesurée du bois supérieure à $H_i + A\%$ initialement soit stable et comprise dans une plage de valeurs inférieure ou égale à $H_i + A\%$.

[0067] A titre d'exemple non limitatif, la troisième température de consigne T3 est comprise entre 60 et 100°C.

[0068] A titre d'exemple non limitatif, la plage de valeurs d'hygrométrie cible est comprise entre une valeur cible finale d'hygrométrie H_c , et une valeur cible intermédiaire d'hygrométrie H_i , soit la valeur d'hygrométrie du bois cible $H_c + A\%$.

[0069] En pratique, la valeur A est comprise entre 1 et 2,5%.

[0070] En pratique, lorsque l'hygrométrie mesurée est stable et inférieure à H_i , la température de la chambre de séchage 1 est stabilisée S54, et maintenue pendant une durée de temps choisie D, et ce même si la température de consigne T3 n'est pas atteinte.

[0071] A titre d'exemple non limitatif, la durée D est de 2 heures.

[0072] Avantagusement, la stabilisation de la température pendant une durée choisie D lorsque l'hygrométrie mesurée atteint une valeur comprise dans une plage de valeurs d'hygrométrie cible choisie inférieure ou égale à H_i permet un rééquilibrage hygroscopique du bois à sécher.

[0073] Selon une étape de refroidissement sous CO_2 S6, la température dans la chambre de séchage 1 est réduite selon des conditions choisies.

[0074] En pratique, l'étape de diminution de la température selon une seconde phase S6 comprend une sous-étape de désactivation S61 des moyens de recyclage 600.

[0075] Selon un mode de réalisation de l'invention, la sous-étape de désactivation S61 comprend en outre la mise à l'arrêt du module d'inversion de flux.

[0076] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G3 est de 2°C/ heure.

[0077] En pratique, le gradient de température G3 est choisi de manière identique, peu importe le profil de séchage spécifique du bois à sécher, celui-ci étant également dynamique, de manière à être ajusté lorsque l'on se rapproche de la valeur cible finale H_c d'hygrométrie du bois choisie.

[0078] A titre d'exemple non limitatif, la valeur cible finale H_c d'hygrométrie du bois est comprise entre 0% et 18%.

[0079] Le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'évacuation S7 de l'atmosphère de la chambre de séchage dont le CO_2 , configurée pour désaturer en CO_2 la chambre de séchage 1 et ainsi extraire le bois séché lorsque l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale d'hygrométrie H_c , et après stabilisation de la température pendant la durée choisie.

[0080] Toutes les étapes du procédé sont pilotées et effectuées via une succession de commandes complètement automatisées par un système informatique de pi-

lotage 6 comprenant l'interface de programmation applicative API. L'API exécutant un programme de commande, elle envoie différentes consignes à chacun des composants de contrôle et reçoit les données d'enregistrement des moyens de métrologie 5 de l'installation de séchage en temps réel du début à la fin du procédé, lesquelles permettent d'ajuster les composants de contrôle afin d'optimiser le séchage en cas d'écart avec les valeurs consignes.

[0081] Le profil de séchage est spécifique pour chaque type de bois, chaque type de bois disposant donc d'une courbe d'évolution hygrométrique au coeur du bois en fonction du temps de séchage qui lui est propre et des séquençages de l'augmentation de la température associées spécifiques, lesquels dictent le profil d'augmentation de température à appliquer lors des phases de chauffage, et sert de base de comparaison aux mesures de métrologie enregistrées de manière à ce que le système informatique de pilotage 6 réajuste ces mêmes mesures à des valeurs consignes, ceci afin d'obtenir un séchage optimal et de manière industrielle du bois.

[0082] En pratique, les gradients de température G1, G2, G3 sont modulés par système informatique de pilotage 6, de manière à maîtriser l'évolution de l'hygrométrie dans le duramen du bois en cours de séchage.

[0083] En pratique, l'hygrométrie étant variable dans le bois à sécher, l'hygrométrie d'ambiance, l'hygrométrie moyenne, l'hygrométrie minimale, et l'hygrométrie maximale sont surveillées par les moyens de métrologie 5.

[0084] L'enregistrement du pilotage des séquences de valeurs consignes associées aux mesures observées permet d'établir un profil hygrométrique de séchage spécifique de l'essence du bois à traiter, et ainsi définir les rétro ajustements par le système informatique de pilotage 6 pour les bois de même essence lors d'opérations de séchage ultérieures, et ainsi industrialiser le séchage tout en maintenant la conservation de la structure macromoléculaire du bois séché avec une substitution de l'eau liée par du CO_2 .

[0085] En outre, chaque passage d'une étape à une autre étape n'est dépendante que de la cible hygrométrique à laquelle ladite étape en cours est conditionnée et non si la température de consigne de l'étape en cours est atteinte ou non.

[0086] Le procédé ainsi décrit permet en outre d'obtenir un bois séché, aussi appelé matériau cellulosique séché.

[0087] Avantagusement, le matériau lignocellulosique séché est peu déformé lors du séchage sous CO_2 et dispose d'une stabilité dimensionnelle à l'état séché.

[0088] Le matériau lignocellulosique séché par mise en oeuvre du procédé selon l'invention comprend de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose, et dispose d'une humidité moyenne mesurée inférieure à 20%, tout en disposant d'une ultrastructure de la paroi cellulaire du bois structurellement conservée à l'état séché par rapport à l'état avant séchage.

[0089] La variation de teneur en eau dans les parois

cellulaires entraîne normalement la déformation du bois. Le bois « gonfle » lorsqu'il absorbe de l'eau, et il se contracte quand il perd de l'eau. Ces variations dimensionnelles d'un échantillon de bois, qui engendre une variation de volume, ne sont pas les mêmes selon les trois directions de référence : radial, tangentiel et longitudinal.

[0090] Le matériau cellulosique séché comprend un retrait tangentiel inférieur à 5 % et un retrait radial inférieur à 4 %.

[0091] En outre, le matériau lignocellulosique séché présente un moindre gonflement lors d'une reprise d'humidité (réhumidification), en effet le gonflement du matériau est inférieur de 50 % à celui constaté via un séchage conventionnel.

[0092] Avantageusement, un retrait tangentiel et radial faible permet une économie de matière pouvant atteindre 20% lorsque le matériau lignocellulosique est utilisé.

[0093] A titre d'exemple non limitatif, l'utilisation du matériau lignocellulosique selon l'invention dans la fabrication de revêtements de sol, permet de réduire les variations dimensionnelles lorsque lesdits revêtements de sol sont exposés à des variations d'hygrométrie.

[0094] Avantageusement, l'utilisation du matériau lignocellulosique de type bois séché permet d'obtenir des produits de fabrication disposant de propriétés mécaniques améliorées, avec un gonflement moindre suite à une reprise d'humidité et une durabilité améliorée, tout en limitant les pertes de matière lors de la fabrication liées à des déformations, décollements, fissures ce qui engendre un rendement entre 40 et 50 % lors de la transformation du bois via le séchage conventionnel. Autrement dit, 50 à 60 % de rebut en moins sont obtenus par mètre cube de bois transformé.

[0095] L'instrumentation et le pilotage basés sur les mesures de métrologie de l'environnement interne de la chambre de séchage 1 et du bois permettent d'éviter de détériorer le bois durant le séchage, tout séchage induisant un retrait de matière non-évitable, bien que minoré par le séchage sous atmosphère saturée en CO₂. En cas de mauvais contrôle, la qualité structurelle du bois séché ainsi obtenu peut en être fortement impactée.

[0096] Des fissures, ainsi que des affaissements du bois peuvent apparaître en conséquence d'un mauvais pilotage et ainsi compromettre l'intégrité structurelle du bois séché obtenu par le procédé conforme à l'invention, générant ainsi un produit non conforme à l'invention.

[0097] Le procédé selon l'invention permet donc via une régulation fine de l'hygrométrie du bois, d'obtenir un bois séché d'hygrométrie précise, avec un retrait inférieur ou égal à 5%, un taux de déformation négligeable, et avec une limitation, voire élimination de l'apparition de fissure dans le bois ainsi séché.

[0098] En outre, tout exemple de moyens mis en oeuvre n'est que des exemples particuliers de moyens utilisables pour la réalisation de l'invention. L'Homme du métier comprendra que ces exemples ne sont pas limitatifs et ne se limitent pas aux exemples mentionnés, mais à tout exemple de moyens dont la mise en oeuvre

apporte le même effet technique.

[0099] En référence aux **figures 8 et 9**, le procédé selon l'invention peut être mis en oeuvre par une installation de séchage sous atmosphère CO₂ comprenant au moins un module de séchage C1, chaque module de séchage C1 disposant de plusieurs groupements fonctionnels parmi lesquels une chambre de chauffage 1 comportant au moins un tube de séchage dans laquelle le bois à sécher est introduit, des moyens de chauffage 2, des moyens d'alimentation en CO₂ 3, des moyens de circulation gazeux 4 permettant le renouvellement de l'atmosphère à l'intérieur de la chambre de séchage 1, plusieurs unités de mesure de métrologie formant moyens métrologiques 5, et enfin un système informatique de pilotage 6 équipé d'une interface de programmation applicative API.

[0100] Le module de séchage C1 possède une chambre de séchage 1 composée d'un ou plusieurs tubes de séchage cylindrique creux permettant l'introduction du bois à sécher.

[0101] La chambre de séchage est connectée aux moyens de chauffage 2 par un conduit d'entrée 206a, et dispose d'un conduit de sortie 206b configuré pour évacuer un mélange gazeux CO₂, ou CO₂/H₂O de ladite chambre de séchage 1 en fonction de l'état d'avancement du séchage.

[0102] En pratique le conduit d'entrée 206a est disposé à une première extrémité de la chambre de séchage 1 et le conduit de sortie 206b au niveau d'une seconde extrémité de la chambre de séchage 1 de manière à permettre une circulation longitudinale du mélange gazeux CO₂ par rapport au bois à sécher.

[0103] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comporte un tube fermé calorifugé avec recirculation atmosphérique interne.

[0104] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la chambre de séchage 1 comprend un volume minimum de 10m³ saturable en CO₂.

[0105] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 comprend des moyens métrologiques 5 configurés pour mesurer des paramètres appartenant au groupe formé par hygrométrie du bois à sécher, hygrométrie dans la chambre de séchage 1, température du bois à sécher, température dans la chambre de séchage 1, pression dans la chambre de séchage 1.

[0106] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 comprend au moins une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie dans la chambre de séchage 53.

[0107] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comprend deux sondes de mesure de la température et de l'hygrométrie dans la chambre de séchage 53

[0108] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 comprend au moins une sonde de mesure de l'hygrométrie du bois à sécher 54.

[0109] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comprend deux sondes de mesure de l'hygro-

métrie du bois à sécher 54.

[0110] En pratique, la chambre de séchage 1 comprend en outre un boîtier de régulation 61 configuré pour recevoir et traiter les données enregistrées par les sondes de mesure de l'hygrométrie du bois à sécher 54.

[0111] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 comprend en outre une sonde de mesure de pression 55 dans ladite chambre de séchage 1, permettant l'évacuation d'urgence d'une partie de l'atmosphère contenue dans la chambre de séchage 1 en cas de pression critique dans celle-ci.

[0112] En pratique, chaque mesure métrologique comporte une valeur consigne ou un groupe de valeurs consignes à respecter, spécifique à chaque essence ou application du bois à sécher.

[0113] En pratique, la pression critique peut être de 1,5 bar.

[0114] La chambre de séchage 1 comprend en outre des capteurs de fermeture des portes 62, configurés pour détecter le statut de fermeture des portes d'insertion du bois à sécher.

[0115] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 mesure 5,5m de long avec un diamètre de circulation de 2,4 mètres, de forme cylindrique ou quasi-cylindrique et contenue dans un conteneur maritime isolé en panneaux de laine de bois épaisseur 60mm. Cette caisse est reliée d'un bout et de l'autre par une canalisation calorifugée, d'un système de chauffage 2 et de quatre ventilateurs de circulation centrifuges supportant des températures allant jusqu'à 250°C.

[0116] Le module de séchage C1 comprend en outre des moyens de fonctionnement configurés pour faire fonctionner et piloter le séchage dans chaque module de séchage C1 et correspondant à tout moyen disposé en dehors de la chambre de séchage 1 permettant le fonctionnement de celle-ci.

[0117] Le module de séchage C1 comprend des moyens d'alimentation en CO₂ 3 configurés pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ en provenance d'au moins une source de CO₂.

[0118] Les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent un conduit connecté d'une part à source de CO₂, et d'autre part aux moyens de chauffage 2, ledit conduit étant équipé d'une électrovanne 701 permettant le contrôle de l'injection du CO₂ dans le module de séchage C1.

[0119] En pratique, une commande est envoyée à l'électrovanne 701, et déclenche son ouverture afin d'alimenter l'installation de séchage en CO₂.

[0120] En pratique, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent en outre des moyens métrologiques 5 configurés pour mesurer des paramètres appartenant au groupe formé par débit du mélange gazeux CO₂ circulant injecté, température du mélange gazeux CO₂ circulant injecté.

[0121] Selon un mode de réalisation, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent au moins une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51.

[0122] L'installation de séchage comporte en outre des

moyens d'alimentation 3 en CO₂, lesquels comportent une source de CO₂ appartenant au groupe formé par CO₂ biogène, CO₂ non biogène.

[0123] Selon un autre mode de réalisation alternatif, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent au moins un module d'alimentation en CO₂ dit « direct », et un module d'alimentation en CO₂ dit « recyclé », connecté au module de séchage C1 et configurés pour permettre l'injection/l'arrêt de l'injection du CO₂ dans le module de séchage C1.

[0124] On entend par CO₂ direct, du CO₂ en provenance d'une source de CO₂ sous forme de gaz qui n'a pas été purifiée à sa sortie de l'off-gaz ou de la cheminée industrielle et dont le mélange gazeux qui contient du CO₂ est directement utilisé par le module de séchage C1 sans changement de phase du CO₂.

[0125] On entend par CO₂ recyclé, du CO₂ provenant d'une alimentation CO₂ en provenance d'une source de CO₂ tel que du CO₂ mis en bouteille et liquéfié.

[0126] En pratique, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 consistent en au moins un système d'injection de CO₂ à partir de CO₂ en provenance du système de distribution D1 vers les moyens de chauffage 2.

[0127] Le module de séchage C1 comprend en outre des moyens de chauffage 2, connectés aux moyens d'alimentation en CO₂ 3 d'une part, et à la chambre de séchage 1 d'autre part par un conduit d'entrée 206a.

[0128] En pratique, les moyens de chauffage 2 sont de type thermoplongeur et plus particulièrement de type « réchauffeur électrique en ligne ».

[0129] A titre d'exemple, le thermoplongeur dispose d'une puissance de 90 kW, et comporte une entrée par laquelle les gaz à chauffer entrent, un conduit cylindrique ou quasi-cylindrique ouvert en acier, dans lequel un thermoplongeur est inséré, et enfin une seconde ouverture de sortie des gaz ainsi chauffés. Le thermoplongeur comprend en outre un thermostat permettant la régulation de la température du thermoplongeur.

[0130] Selon un premier mode de réalisation, les moyens de séchage 1 sont constitués d'une pluralité de modules de séchage C1, connectés à des moyens de chauffage 2 commun à plusieurs modules de séchage C1.

[0131] Selon un mode de réalisation alternatif, les moyens de séchage 1 sont constitués d'une pluralité de modules de séchage C1, connectés chacun à des moyens de chauffage 2 individuels.

[0132] Le conduit d'entrée 206a comprend une électrovanne 702 configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage 1, ainsi que des moyens de circulation 4 gazeux.

[0133] En pratique, les moyens de circulation 4 gazeux du conduit d'entrée 206a comprennent au moins un ventilateur 41 apte à fonctionner bilatéralement dans deux sens de circulation du mélange gazeux, soit vers la chambre de séchage 1, et depuis la chambre de séchage 1.

[0134] Alternativement, le conduit d'entrée 206a comprend au moins deux conduits connectés à la chambre

de séchage 1, chaque conduit comprenant au moins un ventilateur 41. Ces ventilateurs 41 sont configurés pour fonctionner chacun dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur vers la chambre de séchage 1 et un ventilateur depuis la chambre de séchage dans le conduit d'entrée 206a.

[0135] Les moyens de chauffage 2 sont également connecté à un conduit de sortie 206b connectant une extrémité de sortie de la chambre de séchage 1 auxdits moyens de chauffage 2, et formant un conduit de circulation en boucle fermée du mélange gazeux CO₂.

[0136] Le conduit de sortie 206b comprend une électrovanne 706 configurée pour contrôler l'évacuation du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage 1, ainsi que des moyens de circulation gazeux 4.

[0137] En pratique, les moyens de circulation gazeux 4 du conduit de sortie 206b comprennent au moins un ventilateur 42 apte à fonctionner bilatéralement dans deux sens de circulation du mélange gazeux, soit vers la chambre de séchage 1, et depuis la chambre de séchage 1.

[0138] Alternativement, le conduit de sortie 206b comprend au moins deux conduits connectés à la chambre de séchage 1, chaque conduit comprenant au moins un ventilateur 42. Ces ventilateurs 42 sont configurés pour fonctionner chacun dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur vers la chambre de séchage 1 et un ventilateur depuis la chambre de séchage vers les moyens de chauffage 2.

[0139] A titre d'exemple non limitatif, les moyens de circulation 4 de type ventilateur 41, 42, sont de type ventilateur centrifuge moyenne pression et à simple aspiration avec gaine et turbine en tôle d'acier, ledit ventilateur comportant une turbine à aubes inclinées vers l'avant en tôle d'acier galvanisé, le ventilateur 51 étant capable de supporter une température maximale de l'air ou du CO₂ à transporter de -20°C à 250°C.

[0140] Les moyens de circulation 4 du conduit d'entrée 206a en combinaison avec les moyens de circulation 4 du conduit de sortie 206b forment un module d'inversion de flux apte à permettre la circulation du mélange gazeux CO₂ depuis les moyens de chauffage 2 vers depuis la chambre de séchage 1 dans un premier sens de fonctionnement et depuis la chambre de séchage 1 vers les moyens de chauffage 2 selon un second sens de fonctionnement, et ainsi forcer la circulation du mélange gazeux CO₂ selon un circuit fermé, à travers la chambre de séchage 1 dans deux sens de circulation.

[0141] Avantagusement, la circulation alternative du CO₂ dans le conduit d'entrée 206a et de sortie 206b selon deux sens de circulation permet de faire circuler longitudinalement le CO₂ dans la direction de la longueur de la chambre de séchage 1 avec une injection et une extraction positionnées avantagusement aux extrémités de la chambre de séchage 1 et ainsi maintenir une uniformité de la température du mélange gazeux dans la chambre de séchage 1 et ainsi permettre un séchage du bois et un traitement uniforme du CO₂ dans le bois.

[0142] Le Demandeur a observé que l'utilisation du module d'inversion de flux et plus particulièrement la circulation du CO₂ longitudinalement dans la chambre de séchage 1 de manière alternative permet de limiter la présence d'eau à l'état liquide dans la chambre de séchage 1, et ainsi rendre optionnel l'utilisation d'une chambre de séchage inclinée et d'un système d'élimination de type col de cygne pour éliminer l'eau sous forme liquide pouvant s'accumuler à la base de la chambre de séchage 1.

[0143] En outre, une telle uniformité de séchage permet d'obtenir un retrait tangentiel inférieur à 5 % et un retrait radial inférieur à 4 % contrairement un retrait standard moyen de l'ordre de 10 à 15% avec des moyens de séchage conventionnels. L'invention permet en outre de limiter très fortement les déformations des avivés et plus particulièrement évite que les noeuds du bois ne se déforment lors du séchage. Cette moindre déformation du bois lors du séchage pourra représenter une économie de matière jusqu'à 20 % selon les applications.

[0144] En pratique, les ventilateurs 41, 42 du conduit d'entrée 206a et du conduit de sortie 206b sont accouplés à des variateurs de fréquence qui permettent avantagusement de diminuer la vitesse de rotation en fonction des essences de bois à sécher, et donc le débit du mélange gazeux circulant en fonction du taux d'hygrométrie du bois et la température du mélange gazeux circulant et ainsi optimiser l'uniformité de séchage.

[0145] Le conduit de sortie 206b comprend en outre un bypass de prélèvement du mélange gazeux circulant 45 et intégrant des moyens de mesure du CO₂/CH₄ 56, configurés pour mesurer la proportion de CO₂ par rapport au volume de gaz total en circulation et la proportion de CH₄ circulant lors de la phase de séchage du module de séchage C1 en CO₂, et ainsi vérifier la saturation en CO₂ dans tout le circuit du module de séchage C1.

[0146] Avantagusement, la surveillance du CO₂/CH₄ du mélange gazeux au cours du séchage permet d'enregistrer l'évolution de la concentration des différents composés dans le mélange gazeux circulant et ainsi permettre l'ajustement du fonctionnement du module de séchage 1, mais aussi assurer la sécurité du module de séchage C1 en cas d'augmentation drastique de la quantité de CH₄.

[0147] En pratique, si la quantité de CH₄ dans le mélange gazeux circulant lors du séchage est supérieure à 3,5%, le module de séchage C1 C2 est immédiatement vidangé.

[0148] Le conduit de sortie 206b comprend en outre des moyens métrologiques 5 configurés pour mesurer des paramètres appartenant au groupe formé par débit du mélange gazeux CO₂ circulant injecté, température du mélange gazeux CO₂ circulant injecté, et hygrométrie du mélange gazeux circulant.

[0149] Selon un mode de réalisation, le conduit de sortie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51.

[0150] A titre d'exemple non limitatif, le conduit de sor-

tie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51 disposée en amont et une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51 disposée en aval de moyens de recyclage 600 du CO₂.

[0151] Selon un mode de réalisation, le conduit de sortie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie 53.

[0152] A titre d'exemple non limitatif, le conduit de sortie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie 53 disposée en amont et une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie 53 disposée en aval de moyens de recyclage 600 du CO₂.

[0153] En pratique, le conduit de sortie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie 53 disposée en amont et une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie 53 disposée en aval de moyens de recyclage 600 du CO₂, et au moins une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51 disposée en amont et une sonde de mesure de la température et du débit circulant 51 disposée en aval de moyens de recyclage 600 du CO₂.

[0154] Avantageusement, une telle disposition permet de surveiller la composition du mélange gazeux circulant mais également l'activité des moyens de recyclage 600 du CO₂ ainsi que leur modulation.

[0155] Le module de séchage C1 comprend en outre des moyens de recyclage 600 du CO₂ disposés au niveau du conduit de sortie 206b permettant la séparation de la vapeur d'eau et du CO₂ gazeux présent dans l'atmosphère extraite de la chambre 1 durant le séchage, afin de pouvoir éliminer l'eau tout en récupérant le CO₂ afin d'être stocké, ou être directement réutilisé dans l'installation.

[0156] A titre d'exemple non limitatif, sont utilisés des moyens de recyclage 600 à condensation, diminuant la température du mélange gazeux binaire vapeur d'eau/CO₂ extrait de la chambre de séchage 1 jusqu'à une température choisie, permettant la condensation de l'eau du mélange gazeux, laquelle est ensuite récupérée par gravité sous forme liquide et éliminée. En pratique, les moyens de recyclage 600 permettent la dessiccation de l'atmosphère interne extraite de la chambre de séchage 1 via condensation thermique de la vapeur d'eau par refroidissement, sur au moins un échangeur de chaleur équipé d'au moins une batterie froide, on pourra avantageusement mettre plusieurs batteries froides configurées en série pour augmenter la capacité de déshumidification de chaque module de séchage C1. Le système permet donc la réinjection de l'atmosphère déshydratée dans la chambre de séchage 1.

[0157] En pratique, chaque échangeur de chaleur comprend au moins un évaporateur EV et au moins un condenseur CO.

[0158] Selon un mode de réalisation de l'invention, l'échangeur de chaleur des moyens de recyclage 600 est uniquement actif lorsque l'hygrométrie du mélange

gazeux circulant est compris entre deux valeurs seuils.

[0159] En pratique, l'échangeur de chaleur des moyens de recyclage 600 du CO₂ est uniquement actif lors de la phase de séchage, et lorsque l'hygrométrie mesurée du mélange gazeux circulant est comprise en une valeur seuil maximale et une valeur seuil minimale.

[0160] A titre d'exemple, les valeurs seuil d'hygrométrie dans la chambre de séchage 1 sont de 20% pour le seuil minimal et 100% pour le seuil maximal.

[0161] Selon un mode de réalisation de l'invention, les moyens de recyclage 600 comprennent un système de type échangeur de chaleur comprenant au moins deux batteries froides, configurées en série pour graduellement extraire l'eau du mélange gazeux, chaque batterie froide étant apte à extraire un pourcentage choisi de l'eau dudit mélange gazeux.

[0162] Avantageusement, une série de batteries froides permet de limiter l'hygrométrie dans la chambre de séchage 1, et ainsi permettre de limiter la durée du cycle de séchage, permettant de résoudre le problème de performance d'un échangeur à chaleur classique lorsque l'hygrométrie est supérieure à la valeur critique de fonctionnement, et ainsi de réduire la durée de chaque cycle, occasionnant le fonctionnement de chaque module de séchage C1 sur une plus courte durée et limitant les dépenses énergétiques associées.

[0163] Selon un mode de réalisation, les moyens de recyclage 600 comprennent en outre une sortie d'évacuation configurée pour évacuer l'eau condensée ou condensas, ladite sortie d'évacuation intégrant un débitmètre à eau 57.

[0164] Le débitmètre à eau 57 est configuré pour enregistrer le débit d'évacuation de l'eau à éliminer, et permet ainsi de corrélérer la quantité d'eau éliminée à la différence entre le taux d'hygrométrie initial et final du bois pour un cycle de séchage.

[0165] En pratique, l'échangeur à chaleur des moyens de recyclage 600 permet en outre de réchauffer le mélange gazeux déshydraté avant réinjection dans ladite installation.

[0166] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, l'échangeur à chaleur est configuré pour réchauffer le mélange gazeux refroidi après extraction de l'eau jusqu'à un différentiel de température de 50°C avec la température du mélange gazeux circulant, pour réinjection dans la chambre de séchage 1.

[0167] A titre d'exemple, le fait de maintenir une hygrométrie dans la chambre de séchage 1 au-dessous d'une valeur choisie permet d'écourter le cycle de séchage pour lequel les moyens de circulation 213a, 213b du CO₂ dans le ou les modules de séchage C1 peuvent représenter 5 à 20% de la dépense énergétique.

[0168] Avantageusement, les moyens de recyclage 600 permettent de contrôler l'hygrométrie du mélange gazeux et ainsi maîtriser la qualité du séchage du bois optimisant ainsi le processus de séchage et la qualité du matériau obtenu, tout en limitant la dépense énergétique et maintenir un écart de température faible entre le CO₂

sortant des moyens de chauffage 2 et en provenance du module de recirculation 206c.

[0169] En pratique, le gaz CO_2 récupéré par les moyens de recyclage 600 peut être stocké dans des moyens de stockage, ou directement être réinjecté dans la chambre de séchage 1.

[0170] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la chambre de séchage 1 comporte au moins un circuit d'évacuation, laquelle est suivie d'un conduit dit de « respiration » comportant au moins une électrovanne de respiration 704, 705 de la chambre de séchage 1, lequel permet l'injection d'air venant de l'extérieur de l'installation dans la chambre de séchage 1 et l'évacuation du mélange gazeux contenu dans ladite chambre de séchage 1.

[0171] Le circuit d'évacuation comprend en outre des moyens de circulation 4 de type ventilateur 43, ainsi que des moyens de mesure du CO_2/CH_4 56, configurés pour mesurer la proportion de CO_2 par rapport au volume de gaz total en circulation et la proportion de CH_4 circulant lors de la phase de remplissage du module de séchage C1 en CO_2 , et ainsi vérifier la saturation en CO_2 dans tout le circuit du module de séchage C1 lors dudit remplissage, et configurée pour permettre la vidange de la chambre de séchage 1.

[0172] Selon un mode de réalisation, le module de séchage C1 comprend en outre une sortie d'évacuation supplémentaire connecté à la chambre de séchage 1 et comprenant au moins un ventilateur 44 suivi d'une électrovanne de sortie 703 ainsi qu'un capteur de mesure de débit gazeux circulant et de température 51, et configurée pour permettre la mesure de débit et température du mélange gazeux lors de la vidange de la chambre de séchage 1.

[0173] A titre d'exemple non limitatif, les moyens de circulation 4 de type ventilateur 43, 44, de la sortie d'évacuation supplémentaire et du circuit d'évacuation sont de type ventilateur centrifuge moyenne pression et à simple aspiration avec gaine et turbine en tôle d'acier, ledit ventilateur comportant une turbine à aubes inclinées vers l'avant en tôle d'acier galvanisé, le ventilateur 51 étant capable de supporter une température maximale de l'air ou du CO_2 à transporter de -20°C à 250°C .

[0174] Le module de séchage C1 intègre en outre un système de pilotage informatique 6 comprenant une interface de programmation applicative API. L'interface de programmation applicative permet d'une part, la gestion de l'envoi des consignes à chacun des composants de l'installation, et d'autre part d'intégrer les données reçues par les différents moyens métrologiques 5, afin d'ajuster les consignes envoyées aux composants de l'installation.

[0175] En pratique, le module de séchage C1 comprend en outre un compteur de consommation d'énergie.

[0176] Le système de pilotage informatique 6 est configuré pour piloter les moyens d'alimentation 3, de circulation 4, de chauffage 2, et de recyclage 600 selon des

programmes, valeurs consignes et durées de séchage appropriés en fonction de la qualité du bois séché recherché, et des moyens de traitement pour mesurer, comparer et réajuster les paramètres de fonctionnement aux valeurs consignes en cas d'écart.

[0177] Le système informatique de pilotage 6 permet en outre le suivi, la mesure et l'enregistrement toutes les valeurs métrologiques mesurées dans une table (consommation énergétique comprise), ainsi que les procédures d'urgences (arrêt sans reprise du séchage ou avec reprise du séchage).

[0178] En pratique, le système informatique de pilotage 6 est équipé d'une interface de programmation applicative API apte à mettre en oeuvre un procédé de séchage.

[0179] En pratique, lors du séchage si la sonde de mesure de pression 55 dans le module de séchage C1 détecte une pression interne inférieure 15% de la pression atmosphérique pendant une durée choisie, le système informatique de pilotage 6 ouvre l'électrovanne 701 des moyens d'alimentation de CO_2 3 de manière à injecter du CO_2 neuf. Le module de séchage C1 comprend en outre au moins un capteur d'ambiance disposé en dehors dudit module, et apte à enregistrer la température et l'hygrométrie dans l'environnement entourant ledit module de séchage.

[0180] Selon un mode de réalisation de l'invention, le système informatique de pilotage 6 est en outre configuré pour permettre le pilotage de la déshumidification du CO_2 via l'activation des moyens de recyclage 600 en fonction d'une valeur minimum (20 %) et maximum (100%) de l'hygrométrie de l'atmosphère de la chambre de séchage 1. Cette phase est continue quel que soit hygrométrie initiale du bois.

Revendications

1. Procédé de séchage thermique de bois mis en oeuvre à l'aide d'une installation de séchage comprenant au moins une chambre de séchage (1), ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- Acquérir (S1) des données métrologiques et paramètres du bois à sécher par mesure via des moyens métrologiques (5) ;
- Activer (S2) des moyens d'alimentation en CO_2 (3) configurés pour saturer la chambre de séchage (1) en CO_2 et disposer d'un mélange gazeux circulant ;
- vérifier que la saturation en CO_2 dans le mélange gazeux circulant est suffisante pour démarrer un cycle de séchage par vérification via des moyens de mesure CO_2/CH_4 (56) au niveau d'un conduit d'évacuation ;
- Activer (S3) des moyens de chauffage (2) pour ajuster l'hygrométrie du bois par chauffage lorsqu'une saturation en CO_2 mesurée suffisante

est atteinte.

- Si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, chauffer (S32) avec une limite de température selon une première température de consigne T1, selon un gradient de température choisi G1 afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher et activer des moyens de circulation (4) ;

- Si l'hygrométrie du bois est inférieure à 30%, chauffer (S4) avec une limite de température selon une première température de consigne T2, selon un gradient de température choisi G2 afin d'extraire l'eau liée du bois à sécher et activer les moyens de circulation (4) ;

- stabiliser la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) selon une première phase (S41) lorsque une hygrométrie inférieure ou égale à 30% est mesurée, activer (S42) les moyens de recyclage (600) puis augmenter selon une seconde phase (S44) la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois atteigne une valeur cible intermédiaire Hi choisie, les moyens de chauffage (2) étant activés de manière à ce que le réchauffage soit effectué avec une température limite définie par une seconde température de consigne T2 de 120°C selon un gradient de température choisi G2, et en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée du bois à sécher;

- Maintenir l'hygrométrie du bois à sécher (S5) en désactivant (S51) les moyens de recyclage (600) et moduler (S52) l'activité des moyens de chauffage (2) pour diminuer la température de la chambre de chauffage (1) selon une première phase, jusqu'à une troisième température consigne T3 de stabilisation choisie selon un gradient de température G3, lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois via les moyens de mesure de l'hygrométrie (54) du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie (S53), sauf si l'une des valeurs d'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à Hi+A%, A étant une valeur choisie, ladite température de consigne T3 étant maintenue pendant une durée de temps choisie D jusqu'à ce que la valeur d'hygrométrie mesurée du bois initialement supérieure à Hi+A% soit stable et comprise dans une plage de valeurs inférieure à Hi+A% (S54) ;

- Désactiver (S6) les moyens de chauffage (2), pour diminuer la température de la chambre de chauffage (1) selon une seconde phase (S61), lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois atteint la valeur cible finale d'hygrométrie Hc.

2. Procédé selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** la valeur d'hygrométrie Hi+A% dispose d'une valeur A comprise entre 1% et 2,5%.

3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, **caractérisé en ce que** l'étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher (S1) comprend les sous-étapes suivantes:

- Remplir la chambre de séchage (1) avec l'objet à sécher (S11) ;
- Mesurer la température du bois en surface et à coeur (S12) ;
- Mesurer l'hygrométrie du bois à sécher (S13) ;
- Mesurer (S14) la température de la chambre de séchage (1);
- Mesurer (S15) l'hygrométrie de la chambre de séchage (1); et
- Mesurer le poids du bois à sécher (S16).

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** l'étape d'activation (S2) des moyens d'alimentation en CO₂ (3) comprend une sous-étape de vérification (S21) de la saturation en CO₂ du mélange gazeux circulant dans la chambre de séchage (1).

5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** l'étape d'activation (S3) des moyens de chauffage (2) pour ajuster l'hygrométrie du bois comprend une sous-étape de suivi (S31) de l'hygrométrie du bois en temps réel et que l'étape de chauffe (S4) comprend une sous-étape de suivi (S43) de l'hygrométrie du bois en temps réel.

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** l'étape d'activation (S42) des moyens de recyclage (600) comprend une sous-étape de mise en oeuvre d'une séquence d'activation/désactivation d'un module d'inversion de flux selon une fréquence F1 choisie.

7. Procédé selon la revendication 6, **caractérisé en ce que** l'étape de diminution de la température de la chambre de chauffage (1) selon une seconde phase (S61), comprend en outre une sous-étape de mise à l'arrêt (S61) du module d'inversion de flux en même temps que les moyens de recyclage (600).

8. Procédé selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisé en ce qu'il** comprend en outre une étape d'évacuation (S7) du CO₂, configurée pour désaturer en CO₂ la chambre de séchage (1) pour extraire le bois séché.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisé en ce que** l'étape de chauffage (S32) comprend une limite de température selon une première température de consigne T1 comprise entre 50°C et 60°C, selon un gradient de température choisi G1 de 2°C/ heure.

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, **caractérisé en ce que** l'étape d'augmentation de la température (S44) comprend une limite de température définie selon une seconde température de consigne T2 inférieure ou égale à 120°C, selon un gradient de température choisi G2 compris entre 1°C/heure et 3°C/ heure. 5
11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, **caractérisé en ce que** l'étape de diminution de la température (S52) de la chambre de chauffage (1) selon une première phase (S52) comprend une limite de température selon une première température de consigne T3 comprise entre 50°C et 100°C, selon un gradient de température choisi G3 de 2°C/ heure. 10 15
12. Bois séché directement obtenu par le procédé selon l'une des revendications 1 à 11, comportant de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose, **caractérisé en ce qu'**il contient moins de 20% d'humidité moyenne mesurée, et **en ce que** l'ultrastructure de la paroi cellulaire du bois est conservée à l'état séché par rapport à l'état avant séchage. 1 20

25

30

35

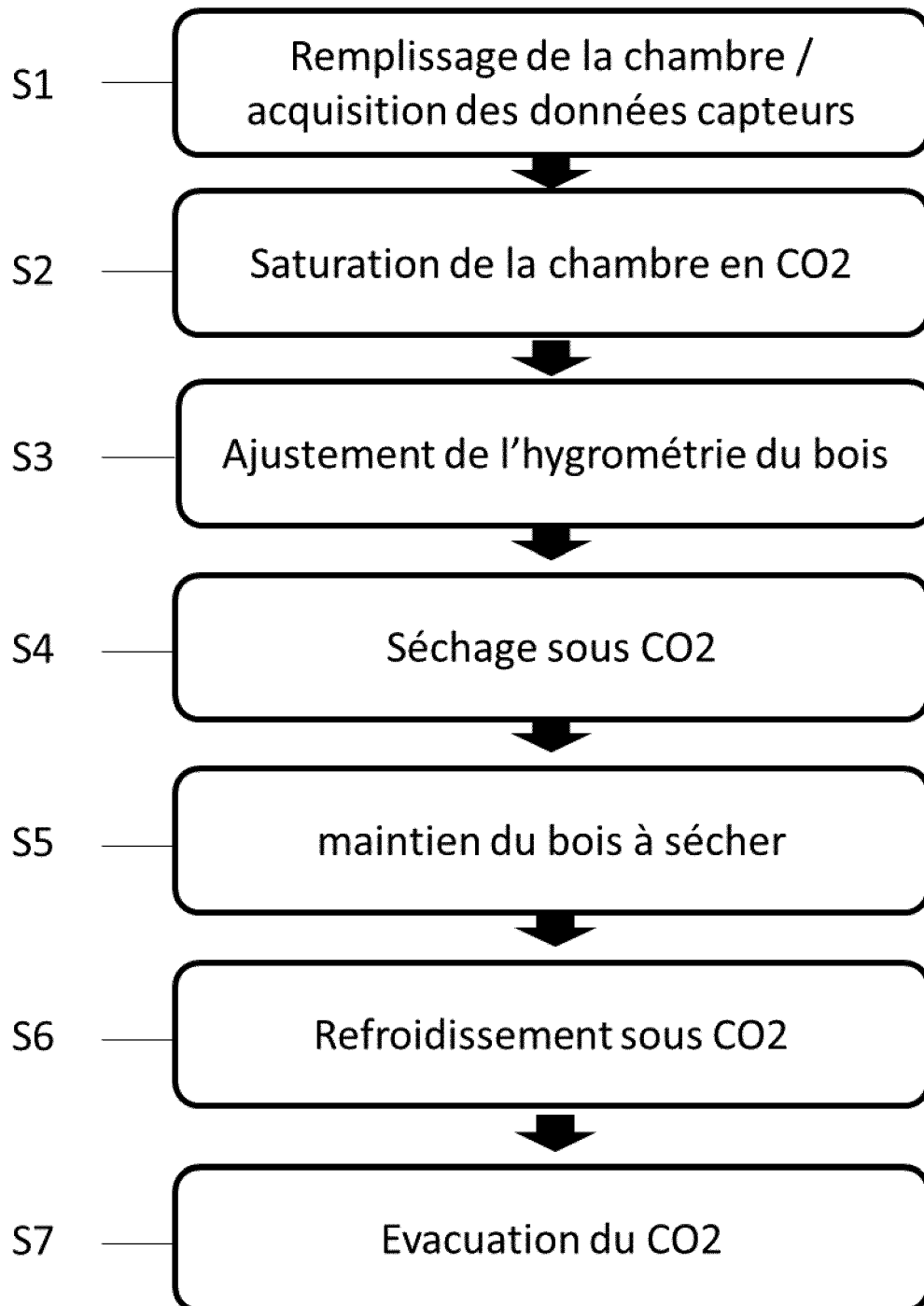
40

45

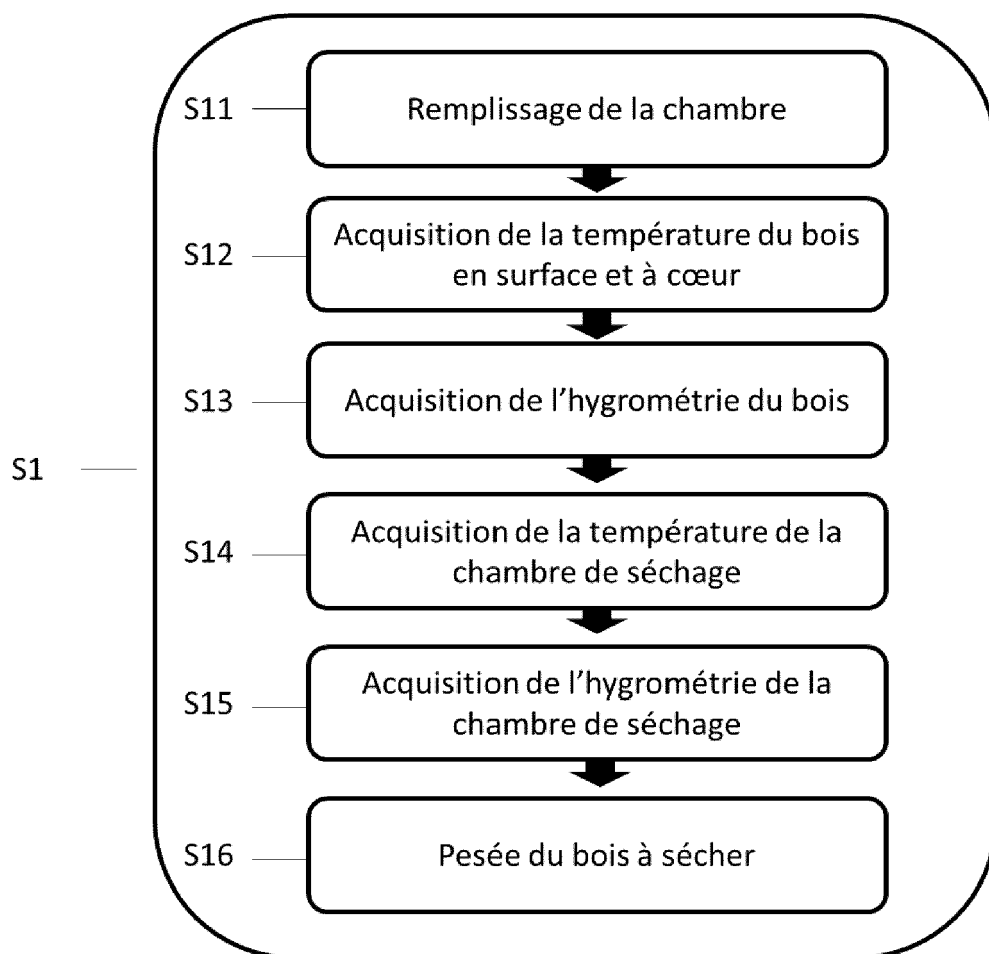
50

55

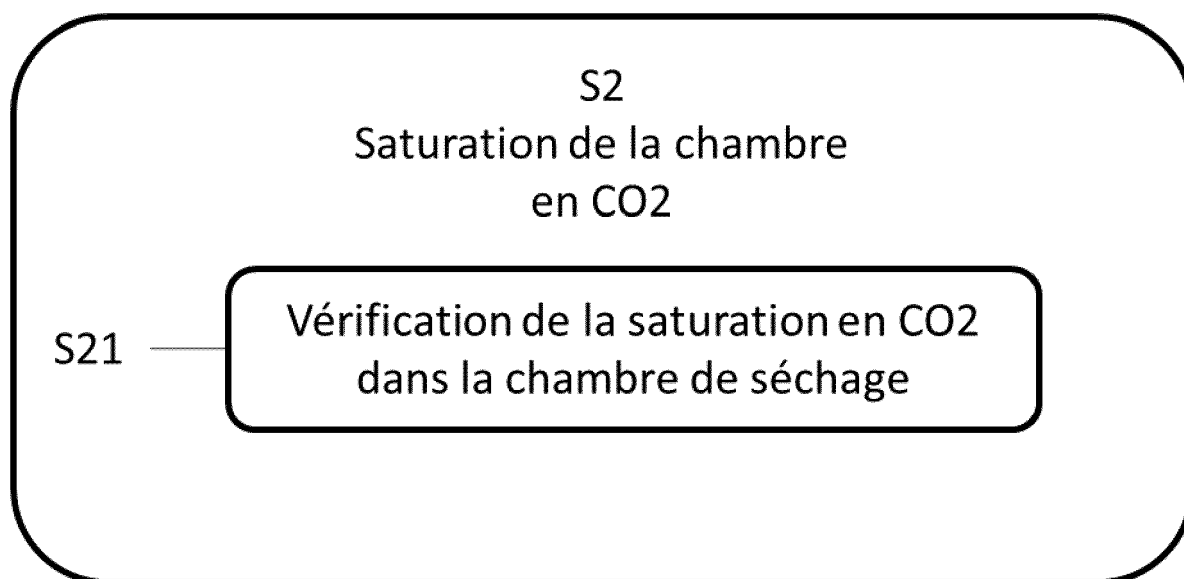
[Fig. 1]



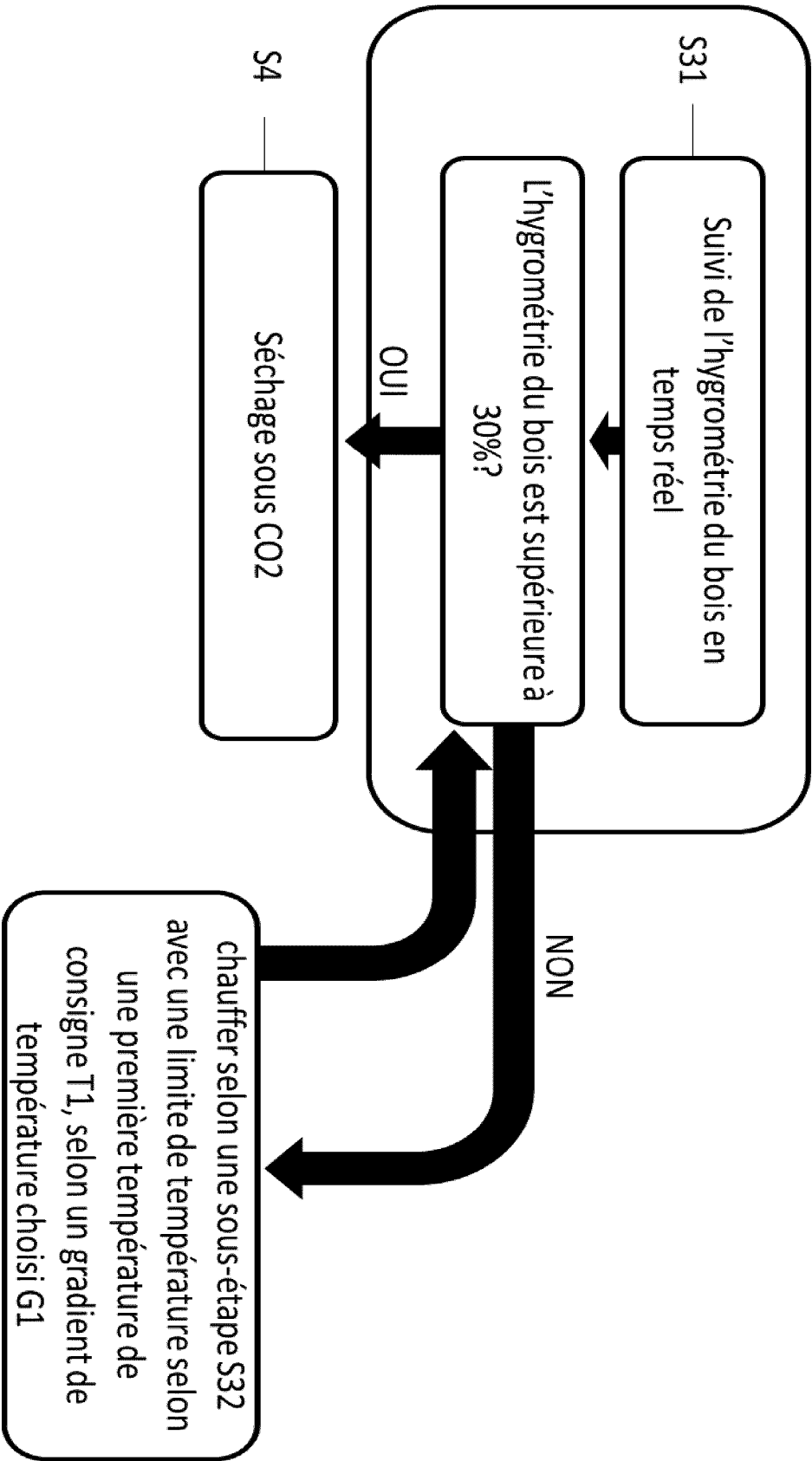
[Fig. 2]



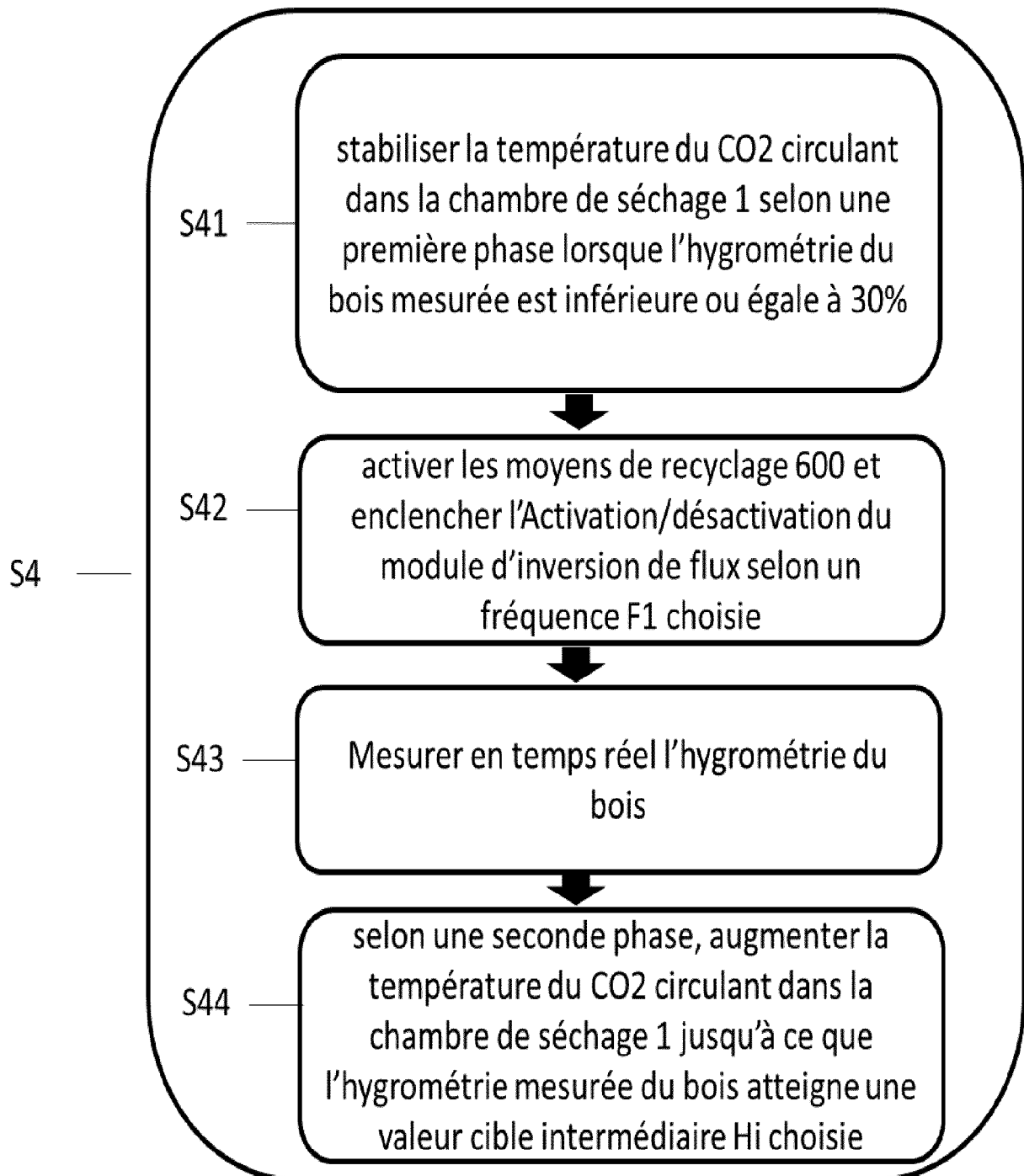
[Fig. 3]



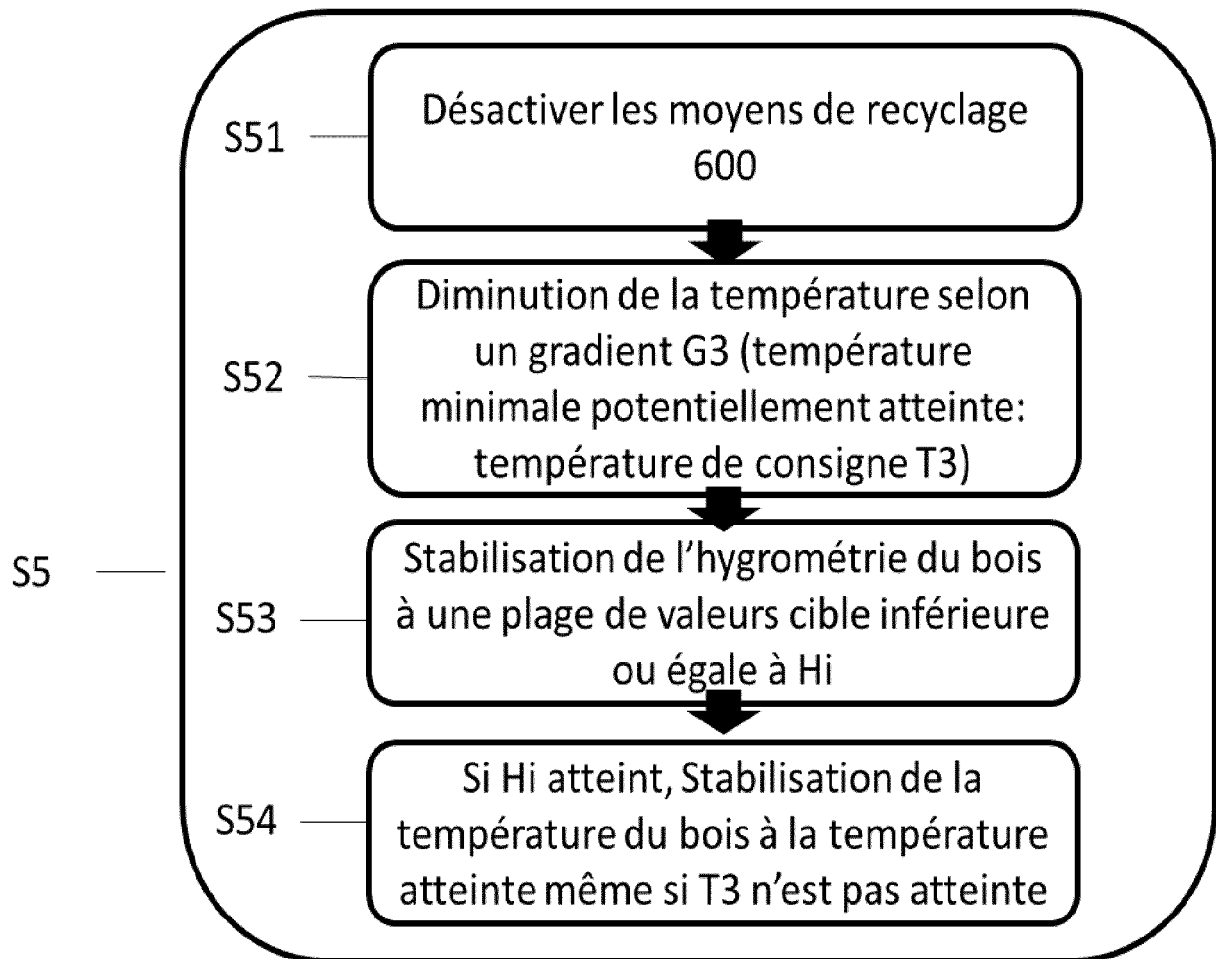
[Fig. 4]



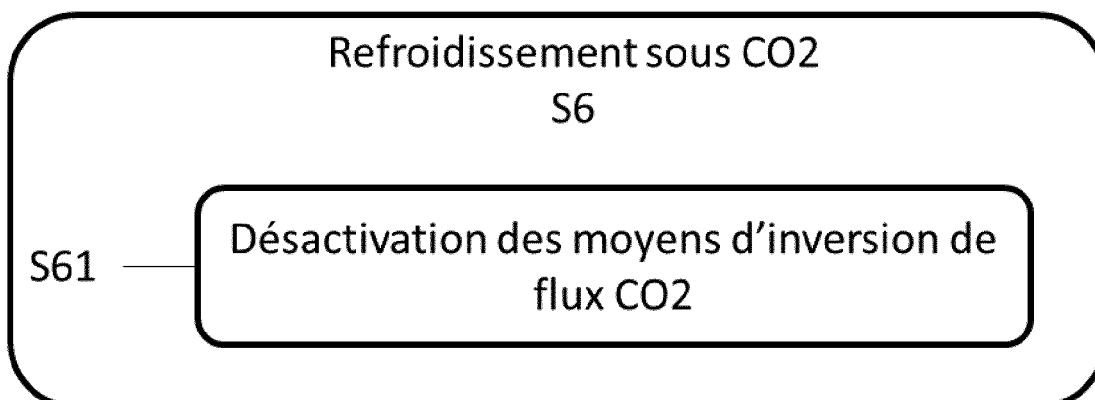
[Fig. 5]



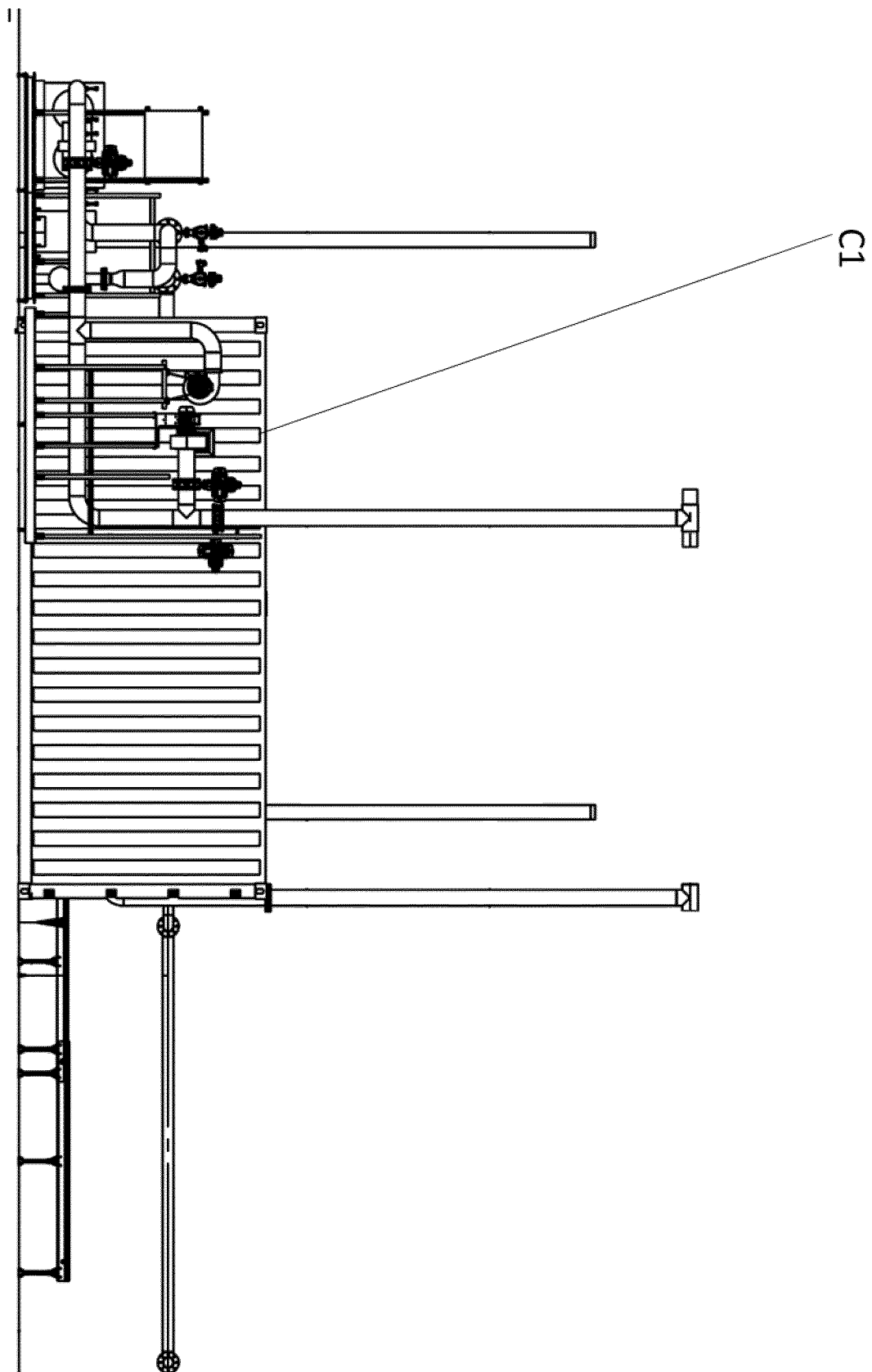
[Fig. 6]



[Fig. 7]



[Fig. 9]





RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 24 15 0450

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	FR 3 090 835 A1 (WAYS [FR]) 26 juin 2020 (2020-06-26)	12	INV. F26B9/06
A	* figures * * alinéa [0042] - alinéa [0043] * * alinéa [0085] * * alinéa [0095] * -----	1-11	F26B21/14 F26B25/22
A	CN 109 163 547 A (HUZHOU NANXUN SANYA FURNITURE CO LTD) 8 janvier 2019 (2019-01-08) * le document en entier * -----	1-12	
A	CN 107 178 966 A (FUNAN MINGYU WICKER-WOOD CRAFTS CO LTD) 19 septembre 2017 (2017-09-19) * le document en entier * -----	1-12	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			F26B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
La Haye		4 avril 2024	Fernandez Ambres, A
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 24 15 0450

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.

04-04-2024

10	Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication	
15	FR 3090835	A1	26-06-2020	CA 3122225 A1	25-06-2020
				CN 113874671 A	31-12-2021
				EP 3899392 A1	27-10-2021
				FR 3090835 A1	26-06-2020
				US 2022065531 A1	03-03-2022
				WO 2020127026 A1	25-06-2020

20	CN 109163547	A	08-01-2019	AUCUN	

	CN 107178966	A	19-09-2017	AUCUN	

25					
30					
35					
40					
45					
50					
55					

EPO FORM P0460

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82

RÉFÉRENCES CITÉES DANS LA DESCRIPTION

Cette liste de références citées par le demandeur vise uniquement à aider le lecteur et ne fait pas partie du document de brevet européen. Même si le plus grand soin a été accordé à sa conception, des erreurs ou des omissions ne peuvent être exclues et l'OEB décline toute responsabilité à cet égard.

Documents brevets cités dans la description

- WO 2020127026 A [0005]