



(11) **EP 4 397 930 B1**

(12) **FASCICULE DE BREVET EUROPEEN**

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:

09.07.2025 Bulletin 2025/28

(21) Numéro de dépôt: **24150447.1**

(22) Date de dépôt: **04.01.2024**

(51) Classification Internationale des Brevets (IPC):

F26B 9/06 ^(2006.01) **F26B 21/14** ^(2006.01)

F26B 3/04 ^(2006.01) **F26B 21/02** ^(2006.01)

F26B 21/06 ^(2006.01) **F26B 21/10** ^(2006.01)

F26B 25/22 ^(2006.01)

(52) Classification Coopérative des Brevets (CPC):

F26B 21/14; 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

(54) **INSTALLATION DE SÉCHAGE THERMIQUE DE BOIS PAR SÉQUESTRATION DE CO2**

THERMISCHE HOLZTROCKNUNGSANLAGE DURCH CO2-SEQUESTRATION

THERMAL WOOD DRYING INSTALLATION BY MEANS CO2 SEQUESTRATION

(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**

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

05.01.2023 FR 2300136

(43) Date de publication de la demande:

10.07.2024 Bulletin 2024/28

(73) Titulaire: **Ways SAS**

77920 Samois-Sur-Seine (FR)

(72) Inventeurs:

• **RAOULT, YANN**

77920 SAMOIS SUR SEINE (FR)

• **CARMASSI, GUILLAUME**

12000 RODEZ (FR)

(74) Mandataire: **Nicolle, Olivier**

Ipon Global

191, avenue Charles de Gaulle

92200 Neuilly-sur-Seine (FR)

(56) Documents cités:

CA-A1- 2 732 034 CA-A1- 2 809 873

FR-A1- 3 090 835 GB-A- 849 613

EP 4 397 930 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la publication de la mention de la délivrance du brevet européen au Bulletin européen des brevets, toute personne peut faire opposition à ce brevet auprès de l'Office européen des brevets, conformément au règlement d'exécution. L'opposition n'est réputée formée qu'après le paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne une installation de séchage thermique de bois par séquestration CO₂, en particulier, mais non limitativement, pour le séchage industriel du bois d'œuvre, bois d'industrie, bois énergie, grumes, et matériau lignocellulosique assimilés.

[0002] On entend ici par « bois d'œuvre, 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 WO2010127026 (FR 3 090 835 A1), utilisant des cellules de séchage de bois sous atmosphère CO₂.

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

[0007] On entend par mélange gazeux, l'ensemble formé par les composés gazeux et liquides circulants dans l'installation de séchage à un instant t.

[0008] On connaît aussi un système de séchage tel qu'enseigné par le document GB 849613 A, disposant d'un inverseur de flux vertical permettant une uniformisation du séchage.

[0009] Ce système présente 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.

[0010] Bien que différentes solutions pour le séchage du bois d'œuvre, 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.

[0011] Un autre inconvénient des solutions existantes est la durée d'utilisation d'une installation de séchage, qui représente souvent une durée importante de plusieurs jours, voire plusieurs semaines, facteur limitant une utilisation efficace pour un usage industriel.

[0012] De plus, les installations actuelles sont trop

souvent en difficulté pour atteindre l'objectif qui est d'élever la température de manière à ce qu'elle soit homogène jusqu'au cœur 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.

[0013] 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.

[0014] La présente invention remédie à ces inconvénients.

[0015] L'invention porte sur une installation de séchage thermique de bois par séquestration CO₂ disposant d'au moins un module de séchage sous atmosphère CO₂ comprenant : une chambre de séchage comportant au moins un tube de séchage cylindrique ou quasi-cylindrique creux de diamètre et longueur appropriés pour le séchage de bois de dimensions choisies, -des moyens d'alimentation en CO₂ pour injecter à l'intérieur de la chambre de séchage, du CO₂ gazeux ;

- des moyens de chauffage pour réchauffer le CO₂ en circulation;
- des moyens de circulation gazeux permettant de forcer la circulation du CO₂ d'une extrémité à l'autre de la chambre de séchage selon un circuit fermé dans la direction de la longueur de la chambre avec une injection et une extraction positionnées aux extrémités de la chambre de séchage ainsi que le renouvellement de l'atmosphère à l'intérieur de la chambre de séchage;
- des moyens de recyclage du CO₂ configurés pour permettre la séparation de la vapeur d'eau et du CO₂ gazeux présent dans l'atmosphère extraite de la chambre durant le séchage ;
- des moyens métrologiques pour mesurer les variations de mesures physiques du module de séchage lors du chauffage ;
- des moyens d'alimentation en CO₂; et
- un système informatique de pilotage pour piloter les moyens d'alimentation en CO₂, les moyens de circulation, les moyens de réchauffage, et les moyens de recyclage, 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,.

[0016] Selon une définition générale de l'invention, les moyens de circulation gazeux du module de séchage sous atmosphère CO₂ comprennent en outre un module d'inversion de flux configuré pour permettre la circulation du CO₂ dans un premier sens de circulation dans la chambre de séchage entre un conduit d'entrée connectant les moyens de chauffage à la chambre de séchage, configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux

CO₂ dans la chambre de séchage et un conduit de sortie connectant une extrémité de sortie de la chambre de séchage auxdits moyens de chauffage, formant un conduit de circulation en boucle fermée du mélange gazeux CO₂, et dans un second sens de circulation inverse du premier sens, apte à uniformiser la répartition thermique dans ladite chambre de séchage.

[0017] En pratique, le conduit d'entrée comprend une électrovanne configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage, ainsi que des moyens de circulation gazeux comprenant au moins un ventilateur apte à fonctionner bilatéralement dans deux sens de circulation du mélange gazeux, soit vers la chambre de séchage, et depuis la chambre de séchage, et en ce que conduit de sortie comprend une électrovanne configurée pour contrôler l'évacuation du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage, ainsi que des moyens de circulation gazeux comprenant au moins un ventilateur apte à fonctionner bilatéralement dans deux sens de circulation du mélange gazeux, soit vers la chambre de séchage, et depuis la chambre de séchage les moyens de circulation gazeux étant configurés pour fonctionner simultanément dans le même sens de circulation.

[0018] Alternativement, le conduit d'entrée comprend une électrovanne configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage, ledit conduit d'entrée comprenant au moins deux conduits connectés à la chambre de séchage, chaque conduit comprenant au moins un ventilateur, chaque ventilateur étant configuré pour fonctionner dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur vers la chambre de séchage et un ventilateur depuis la chambre de séchage dans le conduit d'entrée, et en ce que le conduit de sortie comprend au moins deux conduits connectés à la chambre de séchage, chaque conduit comprenant au moins un ventilateur étant configuré pour fonctionner dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur vers la chambre de séchage et un ventilateur depuis la chambre de séchage vers les moyens de chauffage.

[0019] En pratique, le conduit de sortie comprend en outre des moyens métrologiques 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.

[0020] En outre, les moyens de recyclage du CO₂ comprennent un système de type échangeur à chaleur configuré pour refroidir le mélange gazeux circulant afin de provoquer la condensation de l'eau dudit mélange et permettre l'extraction de ladite eau condensée, et 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.

[0021] Selon un mode de réalisation conforme à l'invention, les moyens de recyclage du CO₂ sont de type échangeur de chaleur comprenant au moins une batterie

froide, configurée pour graduellement extraire l'eau du mélange gazeux, chaque batterie froide étant apte à extraire un pourcentage choisi de l'eau dudit mélange gazeux.

[0022] Selon un second mode de réalisation, l'échangeur de chaleur des moyens de recyclage 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.

[0023] A titre d'exemple non limitatif, les moyens d'alimentation en CO₂ appartiennent au groupe formé par système d'injection de CO₂ à partir de CO₂ en bouteille pressurisée, alimentation CO₂ d'évacuation d'installation de méthanisation, alimentation CO₂ de type chiminée d'industrie, et installation de séchage de bois par séquestration CO₂ annexe, ou une combinaison d'entre eux.

[0024] En pratique, le système informatique de pilotage est équipé d'une interface de programmation applicative API configurée pour :

- Acquérir des données métrologiques et paramètres du bois à sécher par mesure des moyens métrologiques ;
- Activer les moyens d'alimentation en CO₂ configurés pour saturer la chambre de séchage en CO₂ ;
- vérifier que la saturation en CO₂ dans le mélange gazeux circulant est suffisante pour démarrer un cycle de séchage par vérification des moyens de mesure CO₂/CH₄ du conduit d'évacuation ;
- Activer les 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 les 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;

- Désactiver 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 jusqu'à ce que la valeur d'hygrométrie mesurée du bois 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.

[0025] Avantageusement, l'installation 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%.

[0026] Le Demandeur a également observé que l'installation de séchage selon l'invention permet l'obtention d'un bois séché disposant d'une reprise d'humidité plus faible, d'une réduction de la coloration du bois séchée, ainsi que la limitation/absence d'apparition de fentes lors des séchages.

[0027] En outre, l'installation 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

[0028] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront à l'examen de la description et des dessins dans lesquels :

- **[Fig 1]** représente schématiquement l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 2]** représente une vue de face de l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 3]** représente schématiquement les étapes du procédé mis en œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;
- **[Fig 4]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de remplissage de la chambre/acquisition des données capteurs du procédé mis en œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;

- **[Fig 5]** schématiquement les sous-étapes de l'étape de saturation de la chambre en CO₂ du procédé mis en œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;

- **[Fig 6]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois du procédé mis en œuvre 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 œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ;

- **[Fig 8]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de maintien du bois à sécher du procédé mis en œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention ; et

- **[Fig 9]** représente schématiquement les sous-étapes de l'étape de refroidissement sous CO₂ du procédé mis en œuvre par l'installation de séchage conforme à l'invention.

[0029] En référence aux figures 1 et 2, l'installation de séchage selon l'invention comprend 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.

[0030] 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.

[0031] La chambre de séchage 1 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.

[0032] 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.

[0033] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comporte un tube fermé calorifugé avec recirculation atmosphérique interne.

[0034] Selon un mode de réalisation particulier de

l'invention, la chambre de séchage 1 comprend un volume minimum de 10m³ saturable en CO₂.

[0035] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 selon l'invention 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.

[0036] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 selon l'invention comprend au moins une sonde de mesure de la température et de l'hygrométrie dans la chambre de séchage 53.

[0037] 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.

[0038] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 selon l'invention comprend au moins une sonde de mesure de l'hygrométrie du bois à sécher 54.

[0039] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comprend deux sondes de mesure de l'hygrométrie du bois à sécher 54.

[0040] 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.

[0041] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 selon l'invention 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.

[0042] 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.

[0043] En pratique, la pression critique peut être de 1,5 bar.

[0044] La chambre de séchage 1 selon l'invention 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.

[0045] 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.

[0046] 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.

[0047] 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.

[0048] 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.

[0049] En pratique, une commande est envoyée à l'électrovanne 701, et déclenche son ouverture afin d'alimenter l'installation de séchage en CO₂.

[0050] 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.

[0051] 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 51 du mélange gazeux circulant.

[0052] 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.

[0053] 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.

[0054] 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.

[0055] 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.

[0056] 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.

[0057] 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.

[0058] En pratique, les moyens de chauffage 2 sont de type thermoplongeur et plus particulièrement de type « réchauffeur électrique en ligne ».

[0059] 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.

[0060] 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.

[0061] 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.

[0062] 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.

[0063] 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.

[0064] 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.

[0065] Les moyens de chauffage 2 sont également connectés à un conduit de sortie 206b connectant une extrémité de sortie de la chambre de séchage 1 aux dits moyens de chauffage 2, et formant un conduit de circulation en boucle fermée du mélange gazeux CO₂.

[0066] 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.

[0067] 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.

[0068] 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.

[0069] 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 as-

piration 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.

[0070] 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.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] 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 nœuds 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.

[0074] 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.

[0075] 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.

[0076] Avantageusement, 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.

[0077] 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 est immédiatement vidangé.

[0078] 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.

[0079] Selon un mode de réalisation, le conduit de sortie 206b comprend au moins une sonde de mesure de la température et du débit 51 du mélange gazeux circulant.

[0080] A titre d'exemple non limitatif, le conduit de sortie 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.

[0081] 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.

[0082] 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.

[0083] 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.

[0084] 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.

[0085] Le module de séchage C1 selon l'invention comprend en outre des moyens de recyclage 600 du CO₂ disposés au niveau du conduit de sortie 206b per-

mettant 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.

[0086] 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.

[0087] En pratique, chaque échangeur de chaleur comprend au moins un évaporateur EV et au moins un condensateur CO.

[0088] 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.

[0089] 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.

[0090] 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.

[0091] 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.

[0092] 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.

[0093] 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 débit-

mètre à eau 57.

[0094] Le débitmètre à eau 57 est configuré pour enregistrer le débit d'évacuation de l'eau à éliminer, et permet ainsi de corréler la quantité d'eau éliminée à la différence entre le taux d'hygrométrie initial et final du bois pour un cycle de séchage.

[0095] 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.

[0096] 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.

[0097] 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.

[0098] Avantagusement, 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 procédé 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 le CO₂ en provenance du module de recirculation 206c.

[0099] En pratique, le gaz CO₂ 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.

[0100] 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.

[0101] Le circuit d'évacuation comprend en outre des moyens de circulation 4 de type ventilateur 43, ainsi que 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 remplissage du module de séchage C1 en CO₂, et ainsi vérifier la saturation en CO₂ dans tout le circuit du module de séchage C1 lors dudit remplissage, et configurée pour permettre la vidange de la chambre de séchage 1.

[0102] Selon un mode de réalisation, le module de séchage C1 selon l'invention 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.

[0103] 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 CO₂ à transporter de -20°C à 250°C.

[0104] 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.

[0105] En pratique, le module de séchage C1 comprend en outre un compteur de consommation d'énergétique.

[0106] 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.

[0107] 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).

[0108] En pratique, le système informatique de pilotage 6 est équipé d'une interface de programmation applicative API apte à mettre en œuvre un procédé de séchage.

[0109] 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 CO₂ 3 de manière à injecter du CO₂ 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.

[0110] 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 CO₂ 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 l'hygrométrie initiale du bois.

[0111] En référence aux **figures 3 à 12**, l'installation de séchage thermique de bois par séquestration CO₂ ainsi décrite en référence aux **figures 1 et 2** met en œuvre un procédé de séchage et de séquestration de CO₂ dans le bois comportant une succession d'étapes.

[0112] 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.

[0113] En outre, la mesure des différentes données paramétriques est effectuée pour calibrer les valeurs consignées à appliquer.

[0114] En pratique, l'étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher S1 comprend les sous-étapes suivantes :

- Remplir de la chambre de séchage avec l'objet à sécher S11 ;
- Mesurer la température du bois en surface et à cœur 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.

[0115] A titre d'exemple, le bois à sécher est inséré dans la chambre de séchage 1, puis la chambre de séchage est scellée hermétiquement.

[0116] En pratique, la différence entre la température du bois en surface et à cœur doit être inférieure ou égale à 20°C pendant toute l'opération de séchage.

[0117] 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 œuvre du séchage et ainsi quantifier la quantité d'eau extraite en prenant en compte la quantité de CO₂ séquestrée.

[0118] A titre d'exemple non limitatif, la quantité de CO₂ séquestrée maximale est de 250kg/m³ de bois.

[0119] Selon une étape de saturation en CO₂ S2 de la chambre de séchage 1, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 sont activés.

[0120] 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.

[0121] En pratique, la vérification de la saturation en CO₂ S21 est mise en œuvre par mesure via les moyens de mesure CO₂/CH₄ 56 au niveau du conduit d'évacuation du module de séchage C1.

[0122] 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.

[0123] Selon un mode de réalisation alternatif, la vérification de la saturation en CO₂ S21 est mise en œuvre par mesure du pourcentage de CO₂ dans le mélange gazeux circulant.

[0124] Selon une étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S3, les 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

[0125] L'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S3 comprend les sous-étapes suivantes :

- Mesurer l'hygrométrie du bois en temps réel S31.

[0126] En pratique, si l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à 30%, chauffer selon une sous-étape 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 les moyens de circulation gazeux 4.

[0127] A titre d'exemple non limitatif, la première température de consigne T1 est comprise entre 50°C et 60°C.

[0128] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G1 est de 2°C/ heure.

[0129] Si l'hygrométrie du bois est inférieure ou égale à 30%, une étape de séchage S4 est mise en œuvre directement, et consiste à augmenter la température du mélange gazeux circulant avec une limite de température selon une seconde température de consigne T2, 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.

[0130] 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 les moyens de recyclage 600 et enclencher l'Activation/désactivation du module d'inversion de flux selon une fréquence F1 choisie, configurée pour inverser le sens du flux de CO₂ dans la chambre de séchage 1 ;
- 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.

[0131] 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.

[0132] Les températures de consignes T1 et T2 sont des limites de températures que chaque module de séchage C1 ne pourra dépasser durant ces phases.

[0133] En pratique, la température de consigne T2 est inférieure ou égale à 120°C.

[0134] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G2 est compris entre 1 et 3°C/ heure.

[0135] 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%.

[0136] 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 hysteresis 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 en cas de mesure d'hygrométrie fluctuant entre une valeur supérieure et inférieure à la **valeur intermédiaire Hi choisie**.

[0137] 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.

[0138] A titre d'exemple non limitatif, la pression mesurée dans la chambre de séchage est comprise entre 0,8 et 1 bar.

[0139] Selon une étape de maintien du bois à sécher S5, la température dans la chambre de séchage 1 est stabilisée.

[0140] L'étape de maintien du bois à sécher S5 est mis en œuvre 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 S51, 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.

[0141] 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 Hi+A% au départ soit stable et comprise dans une plage de valeurs inférieure à Hi%.

[0142] A titre d'exemple non limitatif, la troisième tem-

pérature de consigne T3 est comprise entre 60 et 100°C.

[0143] A titre d'exemple non limitatif, la plage de valeurs d'hygrométrie cible est comprise entre une valeur cible finale d'hygrométrie Hc, et une valeur cible finale d'hygrométrie Hi, soit la valeur d'hygrométrie du bois cible Hc + A%.

[0144] En pratique, la valeur A est comprise entre 1 et 2,5%.

[0145] En pratique, lorsque l'hygrométrie mesurée est stable et inférieure à Hi, 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.

[0146] A titre d'exemple non limitatif, la durée D est de 2 heures.

[0147] 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 permet un rééquilibrage hygroscopique du bois à sécher.

[0148] Selon une étape de refroidissement sous CO2 S6, la température dans la chambre de séchage 1 est réduite selon des conditions choisies.

[0149] En pratique, l'étape de diminution de la température selon une seconde phase S6 comprend une sous-étape de désactivation S61 du module d'inversion de flux et les moyens de recyclage 600.

[0150] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G3 est de 2°C/ heure.

[0151] En pratique, le gradient de température G3 est choisi identique, peu importe le profil de séchage spécifique du bois à sécher, et dynamique, de manière à être ajusté lorsque l'on se rapproche de la valeur cible finale Hc d'hygrométrie du bois choisie.

[0152] A titre d'exemple non limitatif, la valeur cible finale Hc est comprise entre 0% et 18%.

[0153] Le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'évacuation S7 de l'atmosphère de la chambre de séchage dont le CO2, configurée pour désaturer en CO2 la chambre de séchage et ainsi extraire le bois séché lorsque l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale Hc, et après stabilisation de la température pendant la durée choisie.

[0154] Toutes les étapes du procédé sont pilotées et effectuées via une succession de commandes complètement automatisées par le système informatique de pilotage 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.

[0155] Le profil de séchage est spécifique pour chaque type de bois, chaque type de bois disposant donc d'une courbe d'évolution hygrométrique au cœur 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 rétroajuste ces mêmes mesures à des valeurs consignées, ceci afin d'obtenir un séchage optimal et de manière industrielle du bois.

[0156] 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.

[0157] 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 moyens de métrologie 5.

[0158] L'enregistrement du pilotage des séquences de valeurs consignées 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 CO₂.

[0159] 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.

[0160] Le procédé ainsi décrit permet en outre d'obtenir un bois séché, aussi appelé matériau cellulosique séché.

[0161] Avantageusement, le matériau lignocellulosique séché est peu déformé lors du séchage sous CO₂ et dispose d'une stabilité dimensionnelle à l'état séché.

[0162] 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.

[0163] Le matériau cellulosique séché comprend un retrait tangentiel inférieur à 5 % et un retrait radial inférieur à 4 %.

[0164] 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.

[0165] Avantageusement, un retrait tangentiel et radial faible permet une économie de matière pouvant atteindre 20% lorsque le matériau lignocellulosique est utilisé.

[0166] 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.

[0167] 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.

[0168] L'instrumentation et le pilotage, qui sont 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, alors que tout séchage induit un retrait de matière non évitable. Ce retrait est minoré par le séchage sous atmosphère saturée en CO₂. En cas de mauvais contrôle, la qualité structurelle du bois séché ainsi obtenu peut donc être fortement impactée.

[0169] 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.

[0170] 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.

[0171] En outre tout exemple de moyens mis en œuvre 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 œuvre apporte le même effet technique.

Revendications

1. Installation de séchage thermique de bois par séquestration CO₂ disposant d'au moins un module de séchage sous atmosphère CO₂ (C1) lequel comprend :

- une chambre de séchage (1) comportant au moins un tube de séchage cylindrique ou quasi-cylindrique creux de diamètre et longueur appropriés pour le séchage de bois de dimensions choisies,
- des moyens d'alimentation en CO₂ (3) pour

- injecter à l'intérieur de la chambre de séchage (1), du CO₂ gazeux ;
 - des moyens de chauffage (2) pour réchauffer le CO₂ en circulation;
 - des moyens de circulation gazeux (4) permettant de forcer la circulation du CO₂ d'une extrémité à l'autre de la chambre de séchage (1) selon un circuit fermé dans la direction de la longueur de la chambre avec une injection et une extraction positionnées aux extrémités de la chambre de séchage (1) ainsi que le renouvellement de l'atmosphère à l'intérieur de la chambre de séchage (1);
 - des moyens de recyclage (600) du CO₂ configurés pour permettre la séparation de la vapeur d'eau et du CO₂ gazeux présent dans l'atmosphère extraite de la chambre (1) durant le séchage ;
 - des moyens métrologiques (5) pour mesurer les variations de mesures physiques du module de séchage lors du chauffage ; et
 - un système informatique de pilotage (6) pour piloter les moyens d'alimentation en CO₂ (3), les moyens de circulation (4), les moyens de chauffage (2), et les moyens 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, le module de séchage (C1) étant **caractérisé en ce que** les moyens de circulation gazeux (4) comprennent un module d'inversion de flux configuré pour permettre la circulation du CO₂ dans un premier sens de circulation dans la chambre de séchage (1) entre un conduit d'entrée (206a) connectant les moyens de chauffage (2) à la chambre de séchage (1), configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage (1) et un conduit de sortie (206b) connectant une extrémité de sortie de la chambre de séchage (1) auxdits moyens de chauffage (2), formant un conduit de circulation en boucle fermée du mélange gazeux CO₂, et dans un second sens de circulation inverse du premier sens, pour faire circuler longitudinalement le CO₂ dans la direction de la longueur de la chambre de séchage (1) avec une injection et une extraction positionnées aux extrémités de la chambre de séchage (1) et apte à uniformiser la répartition thermique dans ladite chambre de séchage (1).
2. Installation de séchage selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** 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 gazeux (4) comprenant 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), et **en ce que** 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) comprenant 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) les moyens de circulation gazeux (4) étant configurés pour fonctionner simultanément dans le même sens de circulation.
3. Installation de séchage selon la revendication 1, **caractérisée en ce que** le conduit d'entrée (206a) comprend une électrovanne (702) configurée pour contrôler l'injection du mélange gazeux CO₂ dans la chambre de séchage (1), ledit conduit d'entrée (206a) comprenant au moins deux conduits connectés à la chambre de séchage (1), chaque conduit comprenant au moins un ventilateur (41,44), chaque ventilateur (41,44) étant configuré pour fonctionner dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur (41) vers la chambre de séchage (1) et un ventilateur (41) depuis la chambre de séchage (1) dans le conduit d'entrée (206a), et **en ce que** le conduit de sortie (206b) comprend au moins deux conduits connectés à la chambre de séchage (1), chaque conduit comprenant au moins un ventilateur (42,43) étant configuré pour fonctionner dans un sens de circulation, soit au moins un ventilateur (42,43) vers la chambre de séchage (1) et un ventilateur (42) depuis la chambre de séchage (1) vers les moyens de chauffage (2).
4. Installation de séchage selon l'une des revendications 1 à 3, **caractérisée en ce que** 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.
5. Installation de séchage selon l'une des revendications 1 à 4, **caractérisée en ce que** les moyens de recyclage (600) du CO₂ comprennent un système de type échangeur à chaleur configuré pour refroidir le mélange gazeux circulant afin de provoquer la condensation de l'eau dudit mélange et permettre l'extraction de ladite eau condensée, et configuré pour réchauffer le mélange gazeux refroidi après extraction de l'eau jusqu'à un différentiel de tempé-

rature de 50°C avec la température du mélange gazeux circulant, pour réinjection dans la chambre de séchage (1).

6. Installation de séchage selon la revendication 5, **caractérisée en ce que** les moyens de recyclage (600) du CO₂ sont de type échangeur de chaleur comprenant au moins une batterie froide, configurée pour graduellement extraire l'eau du mélange gazeux, chaque batterie froide étant apte à extraire un pourcentage choisi de l'eau dudit mélange gazeux. 5
10
7. Installation de séchage selon l'une des revendications 5 ou 6, **caractérisée en ce que** 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. 15
20
8. Installation de séchage selon l'une des revendications 1 à 7, **caractérisée en ce que** les moyens d'alimentation en CO₂ (3) appartiennent au groupe formé par système d'injection de CO₂ à partir de CO₂ en bouteille pressurisée, alimentation CO₂ d'évacuation d'installation de méthanisation, alimentation CO₂ de type cheminée d'industrie, et installation de séchage de bois par séquestration CO₂ annexe, ou une combinaison d'entre eux. 25
30
9. Installation de séchage selon l'une des revendications 1 à 8, **caractérisée en ce que** le système informatique de pilotage (6) est équipé d'une interface de programmation applicative API configuré pour : 35
40
45
50
 - Acquérir des données métrologiques et paramètres du bois à sécher par mesure des moyens métrologiques (5) ;
 - Activer les moyens d'alimentation en CO₂ (3) configurés pour saturer la chambre de séchage (1) en CO₂ ;
 - vérifier que la saturation en CO₂ dans le mélange gazeux circulant est suffisante pour démarrer un cycle de séchage par vérification des moyens de mesure CO₂/CH₄ (56) du conduit d'évacuation ;
 - Activer les moyens de chauffage (2) 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 les moyens de circulation (4) ;
 - 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 (4) comprenant les sous-étapes suivantes :

- stabiliser la température du CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) selon une première phase lorsque une hygrométrie inférieure ou égale à 30% est mesurée, activer les moyens de recyclage (600) puis augmenter 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, 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;
- Désactiver les moyens de recyclage (600) et moduler 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, 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 jusqu'à ce que la valeur d'hygrométrie mesurée du bois supérieure à Hi+A% soit stable et comprise dans une plage de valeurs inférieure à Hi+A% ;
- Désactiver les moyens de chauffage (2), pour diminuer la température de la chambre de chauffage (1) selon une seconde phase, lorsque l'hygrométrie moyenne mesurée du bois atteint la valeur cible finale d'hygrométrie Hc.

Patentansprüche

1. Thermische Trocknungsanlage für Holz durch CO₂-Sequestrierung, ausgestattet mit mindestens einem Trocknungsmodul unter CO₂-Atmosphäre (C1), welches umfasst: 55

- Eine Trocknungskammer (1) mit mindestens einem hohlen, zylindrischen oder quasi-zylindrischen Trocknungsrohr mit geeignetem Durchmesser und Länge für die gewählte Holzdimensionen.
 - CO₂-Zufuhrsystem (3) zum Einspritzen von gasförmigem CO₂ in die Trocknungskammer.
 - Heizeinrichtungen (2) zur Erwärmung des zirkulierenden CO₂.
 - Gaszirkulationssystem (4) zur erzwungenen Zirkulation des CO₂ von einem Ende der Trocknungskammer (1) zum anderen in einem geschlossenen Kreislauf entlang der Länge der Kammer mit Einspritzungs- und Extraktionspunkten an den Enden sowie zur Erneuerung der Atmosphäre innerhalb der Kammer (1).
 - Recyclingsystem (600) zur Trennung von Wasserdampf und gasförmigem CO₂ aus der extrahierten Atmosphäre (1) während des Trocknungsprozesses.
 - Messtechnik (5) zur Erfassung physikalischer Veränderungen des Trocknungsmoduls während der Erwärmung.
 - Computergesteuertes System (6) zur Steuerung der CO₂-Zufuhr (3), der Gaszirkulation (4), der Heizeinrichtungen (2) und des Recyclings (600) anhand von programmierten Vorgaben, Sollwerten und Trocknungszeiten gemäß der gewünschten Holzqualität. Zudem ermöglicht es Messungen, Vergleiche und Anpassungen der Betriebsparameter bei Abweichungen. Das Trocknungsmodul (CI) ist **dadurch gekennzeichnet, dass** die gasförmigen Zirkulationsmittel (4) ein Flussumkehr-Modul umfassen, das konfiguriert ist, um die CO₂-Zirkulation in zwei Richtungen zu ermöglichen: Erste Zirkulationsrichtung: CO₂ strömt durch die Trocknungskammer (1) zwischen einem Einlasskanal (206a), der die Heizeinrichtungen (2) mit der Kammer verbindet und die Einspritzung des CO₂-Gasgemischs steuert, sowie einem Auslasskanal (206b), der das Austreten des Gasgemischs aus der Kammer reguliert und wieder den Heizeinrichtungen (2) zuführt. Dadurch entsteht ein geschlossenes Zirkulationssystem für das CO₂-Gasgemisch. Zweite Zirkulationsrichtung (entgegengesetzt zur ersten): CO₂ wird längs durch die gesamte Trocknungskammer (1) geführt, mit Einspritz- und Extraktionspunkten an beiden Enden der Kammer. Diese Zirkulationsweise ist darauf ausgelegt, eine gleichmäßige Wärmeverteilung in der Kammer zu gewährleisten.
2. Trocknungsanlage gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlasskanal (206a) ein Magnetventil (702) umfasst, das zur Steuerung der Einspritzung des gasförmigen CO₂-Gemischs in die Trocknungskammer (1) konfiguriert ist. Ebenso umfasst das Gaszirkulationssystem (4) mindestens einen Ventilator (41), der in beide Richtungen arbeiten kann, sowohl in Richtung der Trocknungskammer (1) als auch aus der Trocknungskammer (1) heraus. Der Auslasskanal (206b) enthält ebenfalls ein Magnetventil (706) zur Steuerung der Abfuhr des gasförmigen CO₂-Gemischs aus der Trocknungskammer (1). Das Gaszirkulationssystem (4) umfasst außerdem mindestens einen Ventilator (42), der ebenfalls in beide Richtungen arbeiten kann, sowohl in Richtung der Trocknungskammer (1) als auch aus der Trocknungskammer (1) heraus. Die Gaszirkulationsmittel (4) sind so konfiguriert, dass sie simultan in derselben Flussrichtung arbeiten können.
3. Trocknungsanlage gemäß Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Einlasskanal (206a) ein Magnetventil (702) umfasst, das konfiguriert ist, um die Einspritzung des Gasgemischs CO₂ in die Trocknungskammer (1) zu steuern. Der Einlasskanal (206a) umfasst mindestens zwei Leitungen, die mit der Trocknungskammer (1) verbunden sind. Jede Leitung enthält mindestens einen Ventilator (41, 44), wobei jeder Ventilator (41, 44) so konfiguriert ist, dass er in einer bestimmten Strömungsrichtung arbeitet. Mindestens ein Ventilator (41) führt das Gasgemisch in die Trocknungskammer (1), während ein Ventilator (41) das Gasgemisch aus der Trocknungskammer (1) in den Einlasskanal (206a) leitet. Der Auslasskanal (206b) umfasst mindestens zwei Leitungen, die mit der Trocknungskammer (1) verbunden sind. Jede Leitung enthält mindestens einen Ventilator (42, 43), die so konfiguriert sind, dass sie in einer bestimmten Strömungsrichtung arbeiten. Mindestens ein Ventilator (42, 43) führt das Gasgemisch in die Trocknungskammer (1), während ein Ventilator (42) das Gasgemisch aus der Trocknungskammer (1) zu den Heizeinrichtungen (2) leitet.
4. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Auslasskanal (206b) außerdem messtechnische Mittel (5) umfasst, die konfiguriert sind, um Parameter aus der folgenden Gruppe zu messen: Durchflussrate des zirkulierenden und eingespritzten CO₂-Gasgemischs, Temperatur des zirkulierenden und eingespritzten CO₂-Gasgemischs, Feuchtigkeitsgehalt (Hygrometrie) des zirkulierenden Gasgemischs.
5. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recyclingsysteme (600) für CO₂ ein Wärmetauscher-System umfassen, das so konfiguriert ist, dass es: Das zirkulierende Gasgemisch abkühlt, um die Kondensation des darin enthaltenen Wassers zu ermöglichen und die kondensierte Flüssigkeit zu extrahieren. Das gekühlte Gasgemisch nach der Wassere-

traktion wieder erwärmt, wobei eine Temperaturdifferenz von 50 °C zwischen der Ausgangstemperatur des zirkulierenden Gasgemischs und der erneuten Einspritzung in die Trocknungskammer (1) hergestellt wird.

6. Trocknungsanlage gemäß Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Recyclingsysteme (600) für CO₂ einen Wärmetauscher umfassen, der mindestens eine Kühlbatterie enthält. Diese Kühlbatterie ist so konfiguriert, dass sie das Wasser schrittweise aus dem Gasgemisch extrahiert. Jede Kühlbatterie ist in der Lage, einen festgelegten Prozentsatz des enthaltenen Wassers aus dem Gasgemisch zu entfernen.

7. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wärmetauscher des Recyclingsystems (600) für CO₂ ausschließlich während der Trocknungsphase aktiv ist. Die Aktivierung des Wärmetauschers erfolgt nur, wenn die gemessene Feuchtigkeit des zirkulierenden Gasgemischs innerhalb eines festgelegten maximalen und minimalen Schwellenwerts liegt.

8. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die CO₂-Zufuhrsysteme (3) zu einer der folgenden Gruppen gehören: Einspritzsystem für CO₂ aus Druckgasflaschen, CO₂-Zufuhr aus der Abgasführung einer Biogasanlage, CO₂-Zufuhr aus Industrieabgasen (Schornsteinanlagen), CO₂-Zufuhr aus angegliederter Holz Trocknungsanlage mit CO₂-Sequestrierung, oder eine Kombination dieser Systeme.

9. Trocknungsanlage gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das computergesteuerte Steuerungssystem (6) mit einer Anwendungsprogrammierschnittstelle (API) ausgestattet ist, die konfiguriert ist für::

- Erfassung messtechnischer Daten und Parameter des zu trocknenden Holzes durch Messung messtechnischer Mittel (5) •
- Aktivierung der CO₂-Zufuhrsysteme (3), um die Trocknungskammer (1) mit CO₂ zu sättigen •
- Überprüfung, ob die CO₂-Sättigung im zirkulierenden Gasgemisch ausreichend ist, um einen Trocknungszyklus zu starten, durch Kontrolle mittels der Messeinrichtung CO₂/CH₄ (56) im Abflusskanal .
- Aktivierung der Heizeinrichtungen (2), um die Holzfeuchtigkeit durch Erwärmung zu regulieren, sobald die gemessene CO₂-Sättigung ausreichend ist.
- Falls die gemessene Holzfeuchtigkeit über 30 % liegt: Erwärmung mit einer Temperaturbe-

grenzung gemäß einer ersten Solltemperatur T1, mit einem gewählten Temperaturgradienten G1, um das freie Wasser aus dem Holz zu extrahieren und die Zirkulationsmittel (4) zu aktivieren. (4);

- Falls die gemessene Holzfeuchtigkeit unter 30 % liegt: Erwärmung mit einer Temperaturbegrenzung gemäß einer zweiten Solltemperatur T2, mit einem gewählten Temperaturgradienten G2, um das gebundene Wasser aus dem Holz zu extrahieren und die Zirkulationsmittel (4) zu aktivieren.

Unterteilung in folgende Schritte::

- Stabilisierung der Temperatur des zirkulierenden CO₂ in der Trocknungskammer (1) in einer ersten Phase, wenn eine gemessene Feuchtigkeit von ≤30 % erreicht wird. Aktivierung der Recyclingsysteme (600), dann schrittweise Erhöhung der CO₂-Temperatur in der Kammer in einer zweiten Phase, bis eine gewählte Zwischenzielwert-Feuchtigkeit Hi des Holzes erreicht wird. Die Heizeinrichtungen (2) werden so aktiviert, dass die Erwärmung mit einer maximalen Temperatur erfolgt, die durch eine zweite Solltemperatur T2 von 120 °C mit einem gewählten Temperaturgradienten G2 definiert ist - abhängig vom spezifischen Trocknungsprofil des Holzes, um das gebundene Wasser zu extrahieren.

- Deaktivierung der Recyclingsysteme (600) und Modulation der Heizeinrichtungen (2), um die Temperatur der Heizkammer (1) in einer ersten Phase zu senken, bis eine dritte Solltemperatur T3 zur Stabilisierung erreicht wird, gemäß einem gewählten Temperaturgradienten G3. Diese Absenkung erfolgt, wenn die durch die Messeinrichtung zur Bestimmung der Holzfeuchtigkeit (54) erfasste durchschnittliche Holzfeuchtigkeit den gewählten Zwischenzielwert Hi erreicht - es sei denn, eine der gemessenen Feuchtigkeitswerte liegt über Hi + A%, wobei A ein gewählter Wert ist. In diesem Fall wird die Solltemperatur T3 für eine festgelegte Zeit aufrechterhalten, bis die über Hi + A% liegende Feuchtigkeitswerte stabil sind und innerhalb eines Bereichs unterhalb von Hi + A% bleiben.;

- Deaktivierung der Heizeinrichtungen (2), um die Temperatur der Trocknungskammer (1) in einer zweiten Phase weiter zu senken, sobald die endgültige Zielwert-Feuchtigkeit HC des Holzes erreicht ist.

Claims

1. Installation for the thermal drying of wood by CO₂

sequestration having at least one drying module under CO₂ atmosphere (C1) which comprises:

- a drying chamber (1) comprising at least one hollow cylindrical or quasi-cylindrical drying tube of suitable diameter and length for drying wood of selected dimensions,
 - CO₂ supply means (3) for injecting gaseous CO₂ into the drying chamber (1);
 - heating means (2) for heating the circulating CO₂;
 - gas circulation means (4) enabling CO₂ to be forced to circulate from one end of the drying chamber (1) to the other in a closed circuit in the direction of the length of the chamber, with injection and extraction positioned at the ends of the drying chamber (1), and the atmosphere inside the drying chamber (1) to be renewed;
 - CO₂ recycling means (600) configured to allow the separation of water vapour and gaseous CO₂ present in the atmosphere extracted from the chamber (1) during drying
 - metrological means (5) for measuring variations in the physical measurements of the drying module during heating, and
 - a computer control system (6) for controlling the CO₂ supply means (3), the circulation means (4), the heating means (2), and the recycling means (600), according to programmes, set values and drying times appropriate as a function of the quality of the dried wood sought, and processing means for measuring, compare and readjust the operating parameters to the set values in the event of deviation, the drying module (C1) being **characterised in that** the gas circulation means (4) comprise a flow reversal module configured to allow the circulation of CO₂ in a first direction of circulation in the drying chamber (1) between an inlet duct (206a) connecting the heating means (2) to the drying chamber (1), configured to control the injection of the CO₂ gas mixture into the drying chamber (1) and an outlet duct (206b) connecting an outlet end of the drying chamber (1) to said heating means (2), forming a closed-loop circulation duct for the CO₂ gas mixture, and in a second direction of circulation opposite to the first direction, to circulate the CO₂ longitudinally in the direction of the length of the drying chamber (1) with an injection and an extraction positioned at the ends of the drying chamber (1) and capable of making the thermal distribution uniform in the said drying chamber (1).
2. Drying installation according to claim 1, **characterized in that** the inlet duct (206a) comprises a solenoid valve (702) configured to control the injection of the CO₂ gas mixture into the drying chamber (1), as

well as gas circulation means (4) comprising at least one fan (41) capable of operating bilaterally in two directions of circulation of the gas mixture, either towards the drying chamber (1), and from the drying chamber (1), and **in that** the outlet duct (206b) comprises a solenoid valve (706) configured to control the discharge of the CO₂ gas mixture into the drying chamber (1), as well as gas circulation means (4) comprising at least one fan (42) capable of operating bilaterally in two directions of circulation of the gas mixture, either towards the drying chamber (1), and from the drying chamber (1), the gas circulation means (4) being configured to operate simultaneously in the same direction of circulation.

3. Drying installation according to claim 1, **characterised in that** the inlet duct (206a) comprises a solenoid valve (702) configured to control the injection of the CO₂ gas mixture into the drying chamber (1), said inlet duct (206a) comprising at least two ducts connected to the drying chamber (1), each duct comprising at least one fan (41, 44), each fan (41, 44) being configured to operate in a direction of circulation, at least one fan (41) to the drying chamber (1) and one fan (41) from the drying chamber (1) in the inlet duct (206a), and **in that** the outlet duct (206b) comprises at least two ducts connected to the drying chamber (1), each duct comprising at least one fan (42, 43) being configured to operate in a direction of circulation, namely at least one fan (42, 43) towards the drying chamber (1) and one fan (42) from the drying chamber (1) towards the heating means (2).
4. Drying installation according to one of claims 1 to 3, **characterized in that** the outlet duct (206b) further comprises metrological means (5) configured to measure parameters belonging to the group formed by flow rate of the injected circulating CO₂ gas mixture, temperature of the injected circulating CO₂ gas mixture, and hygrometry of the circulating gas mixture.
5. Drying installation according to one of claims 1 to 4, **characterized in that** the means (600) for recycling the CO₂ comprise a heat exchanger-type system configured to cool the circulating gas mixture in order to cause condensation of the water in the said mixture and to allow the said condensed water to be extracted, and configured to reheat the cooled gas mixture after extraction of the water to a temperature differential of 50°C with the temperature of the circulating gas mixture, for reinjection into the drying chamber (1).
6. Drying installation according to claim 5, **characterized in that** the means (600) for recycling the CO₂ are of the heat exchanger type comprising at least

one cold battery, configured so as gradually to extract the water from the gas mixture, each cold battery being capable of extracting a chosen percentage of the water from the said gas mixture.

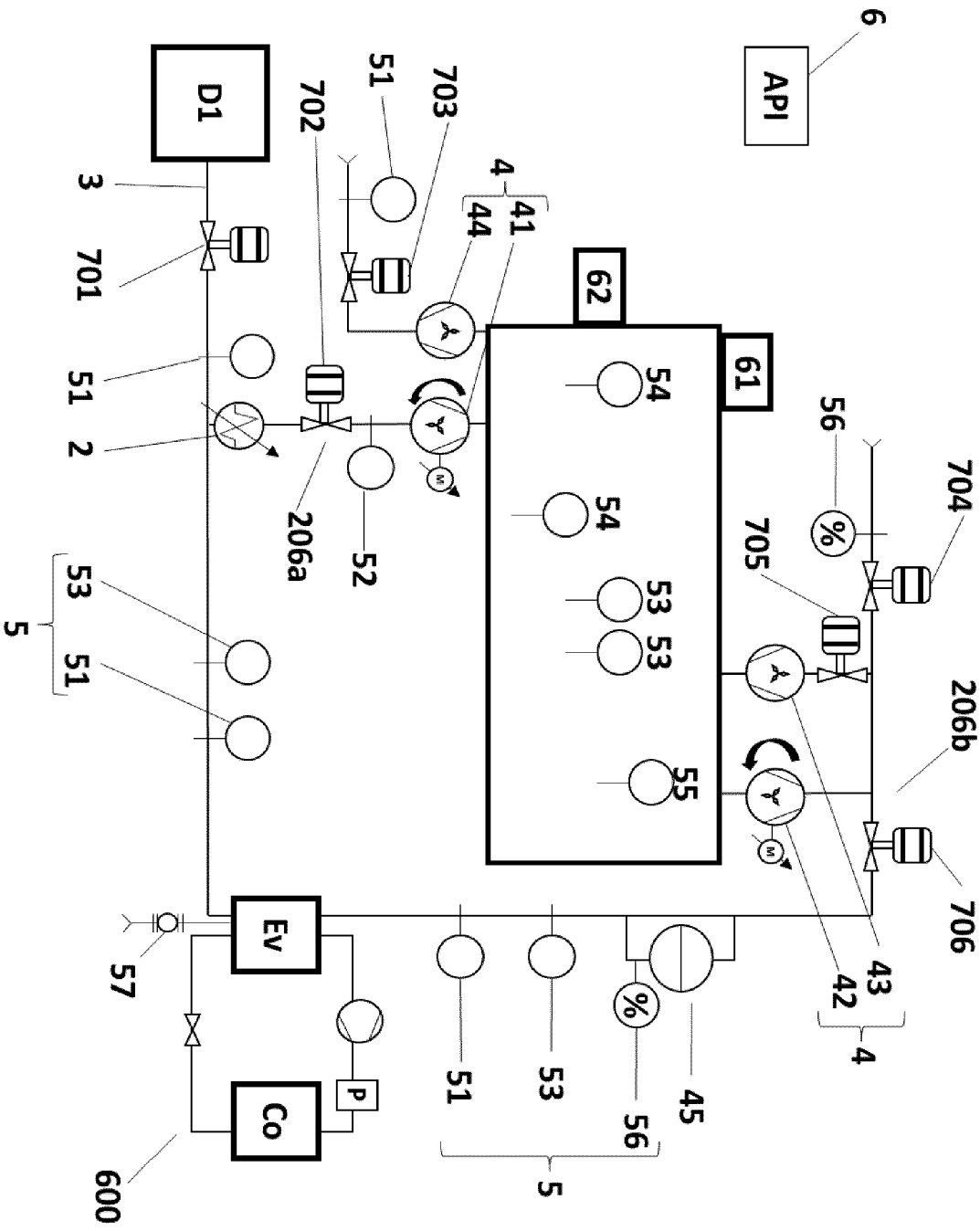
7. Drying installation according to one of claims 5 or 6, **characterized in that** the heat exchanger of the CO₂ recycling means (600) is only active during the drying phase, and when the measured hygrometry of the circulating gas mixture is between a maximum threshold value and a minimum threshold value. 5
8. Drying installation according to one of claims 1 to 7, **characterized in that** the CO₂ supply means (3) belong to the group formed by a system for injecting CO₂ from CO₂ in a pressurized bottle, a CO₂ supply for evacuating a methanization plant, a CO₂ supply of the industrial chimney type, and a plant for drying wood by annexed CO₂ sequestration, or a combination of them. 10
9. Drying installation according to one of claims 1 to 8, **characterized in that** the control computer system (6) is equipped with an API application programming interface configured for: 15
 - Acquiring metrological data and parameters for the wood to be dried by measuring metrological equipment (5) 20
 - Activating the CO₂ supply means (3) configured to saturate the drying chamber (1) with CO₂
 - Checking that the CO₂ saturation in the circulating gas mixture is sufficient to start a drying cycle by checking the CO₂/CH₄ measuring means (56) in the exhaust duct 25
 - Activating the heating means (2) to adjust the humidity of the wood by heating when a sufficient measured CO₂ saturation is reached. 30
 - If the moisture content of the wood is greater than 30%, heat with a temperature limit according to a first set temperature T₁, according to a selected temperature gradient G₁ in order to extract the free water from the wood to be dried and activate the circulation means (4) 35
 - If the hygrometry of the wood is less than 30%, heat with a temperature limit according to a first set temperature T₂, according to a selected temperature gradient G₂ in order to extract the bound water from the wood to be dried and activate the circulation means (4) comprising the following sub-steps 40
 - stabilising the temperature of the CO₂ circulating in the drying chamber (1) in a first phase when a moisture content of less than or equal to 30% is measured, activating the recycling means (600) and then increasing the temperature of the CO₂ circulating in the drying chamber 45

(1) in a second phase until the measured moisture content of the wood reaches a chosen intermediate target value H_i, the heating means (2) being activated so that reheating is carried out with a limit temperature defined by a second set temperature T₂ of 120°C according to a selected temperature gradient G₂, and as a function of the specific drying profile of the wood to be dried enabling the bound water to be extracted from the wood to be dried;

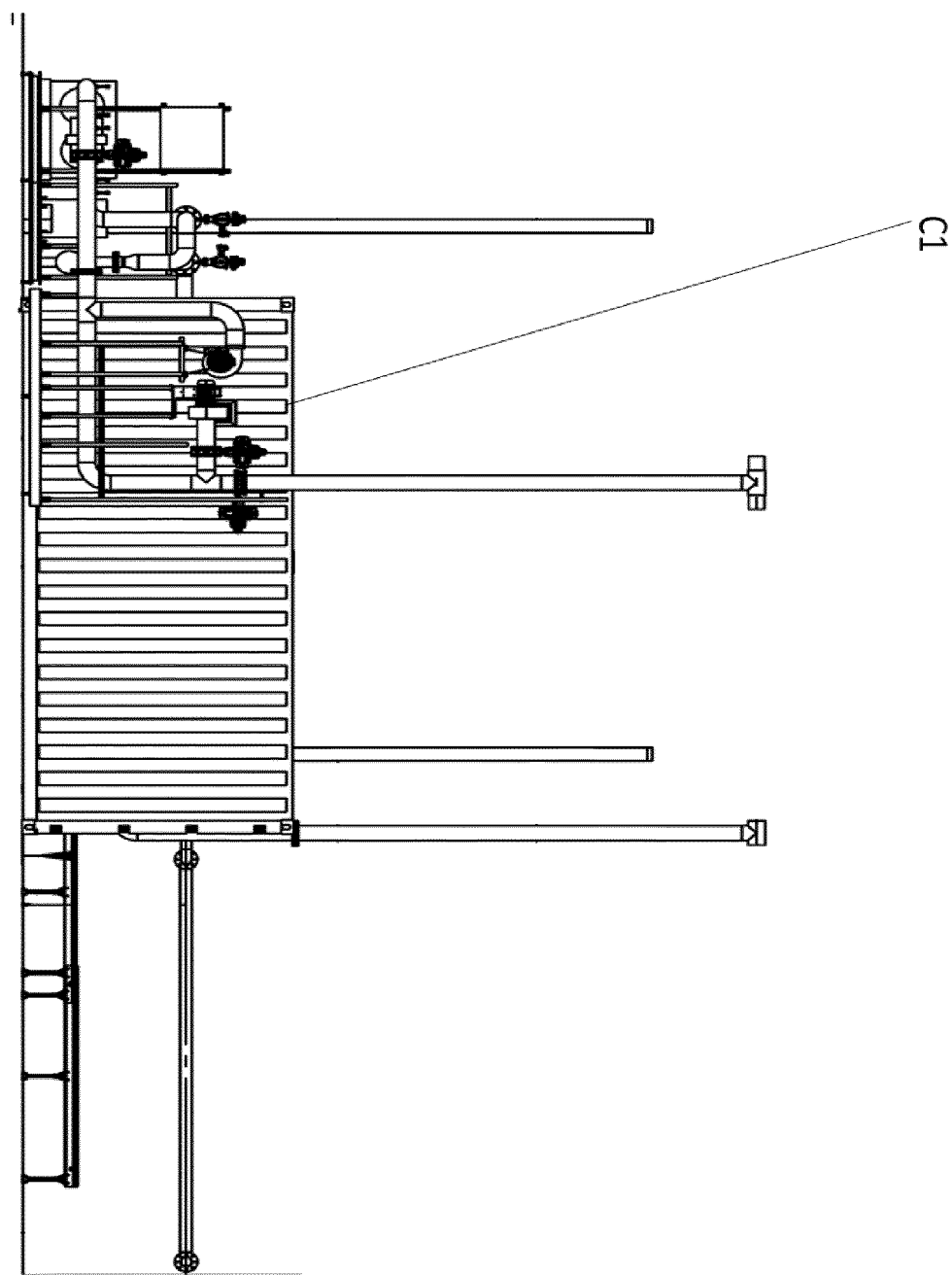
- Deactivating the recycling means (600) and modulating the activity of the heating means (2) to reduce the temperature of the heating chamber (1) in a first phase, up to a third stabilisation setpoint temperature T₃ chosen according to a temperature gradient G₃, when the average measured hygrometry of the wood via the wood hygrometry measuring means (54) reaches the chosen intermediate target value H_i, unless one of the measured hygrometry values of the wood is greater than H_i+A%, A being a selected value, said setpoint temperature T₃ being maintained for a selected period of time until the measured hygrometry value of the wood greater than H_i+A% is stable and within a range of values less than H_i+A% 50

- Deactivate the heating means (2), to reduce the temperature of the heating chamber (1) in a second phase, when the measured average humidity of the wood reaches the final target humidity value H_c. 55

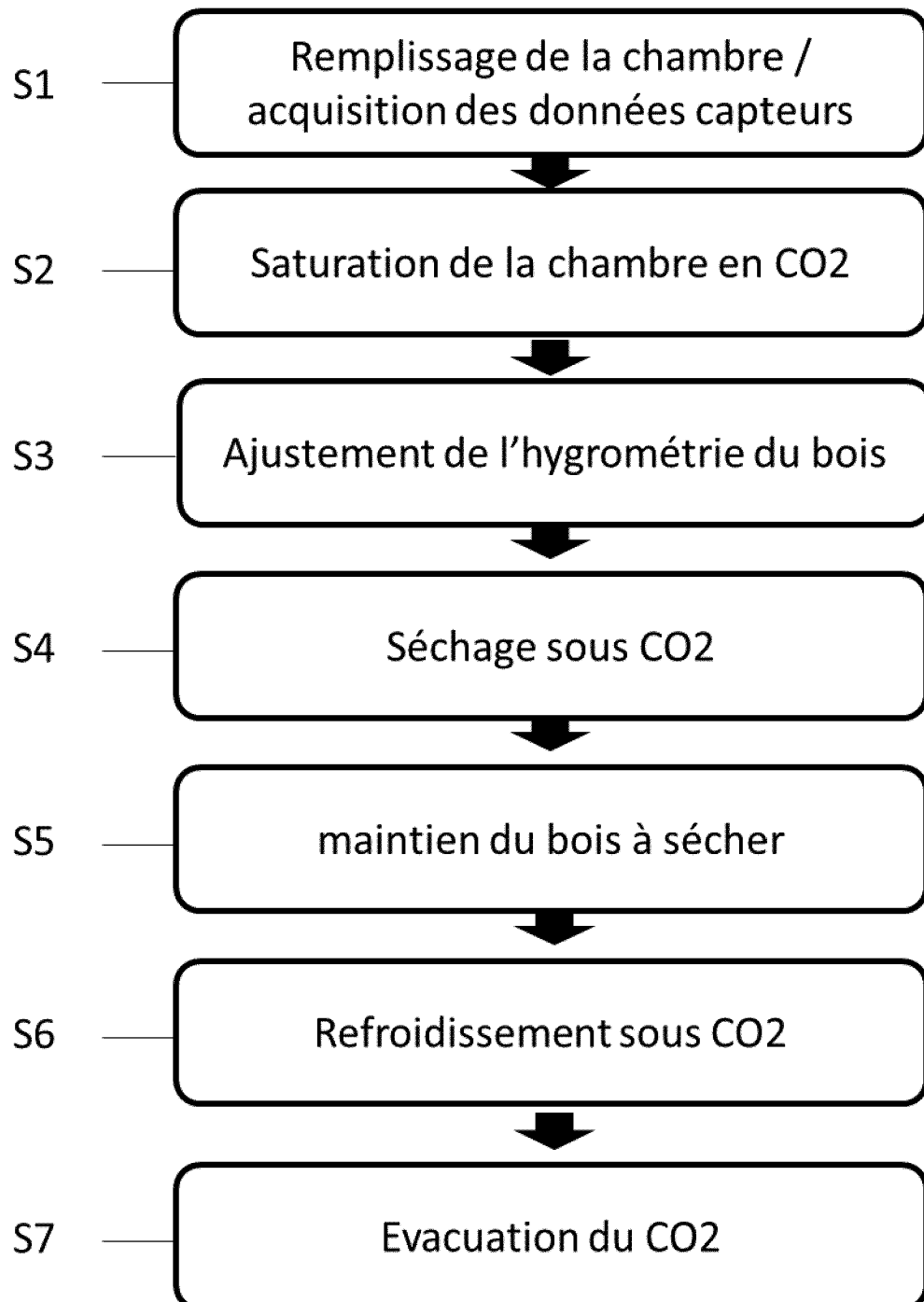
[Fig. 1]



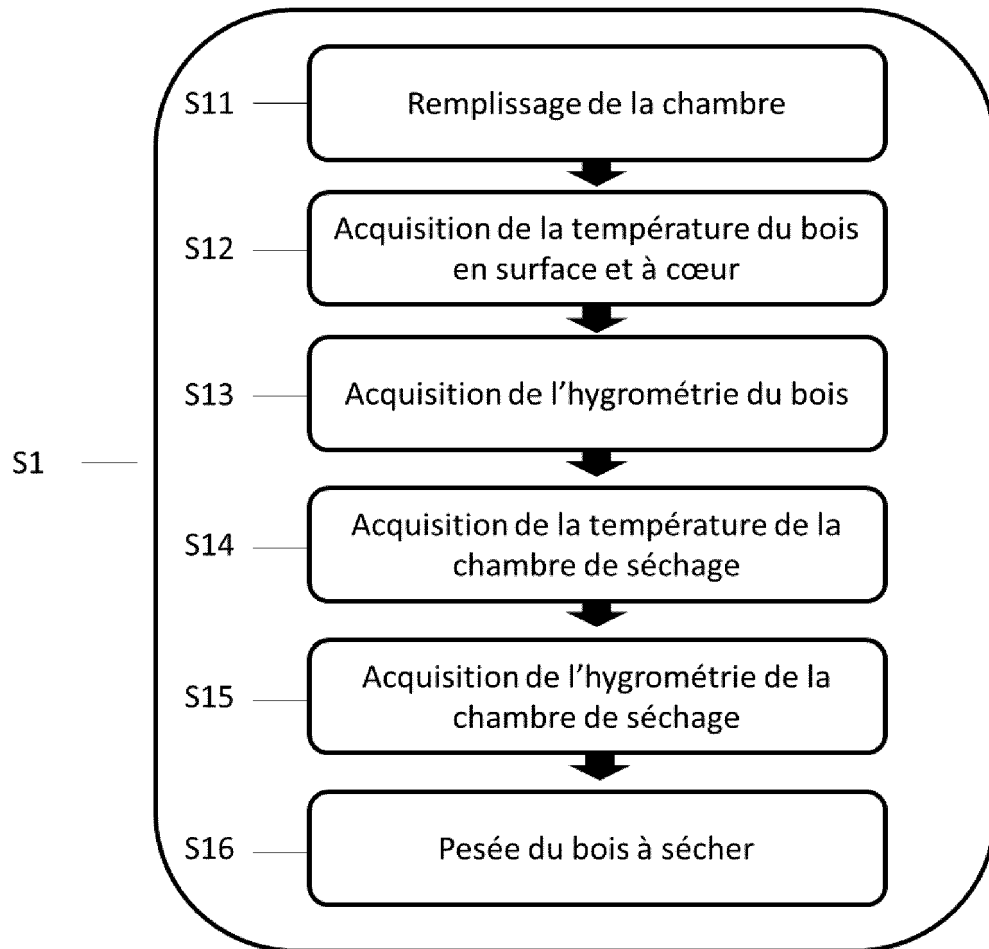
[Fig. 2]



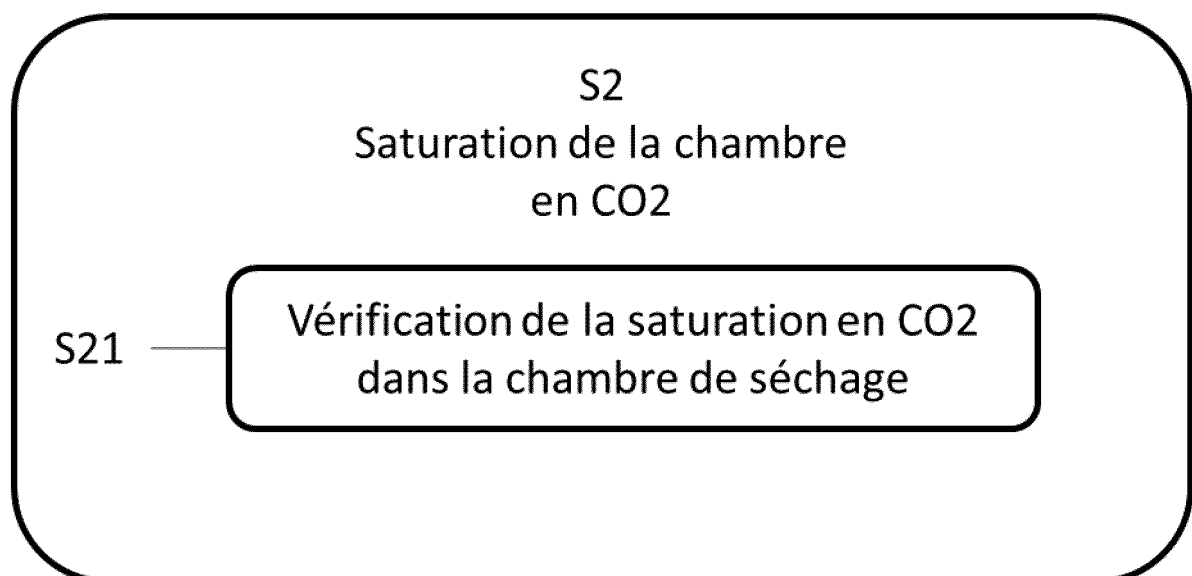
[Fig. 3]



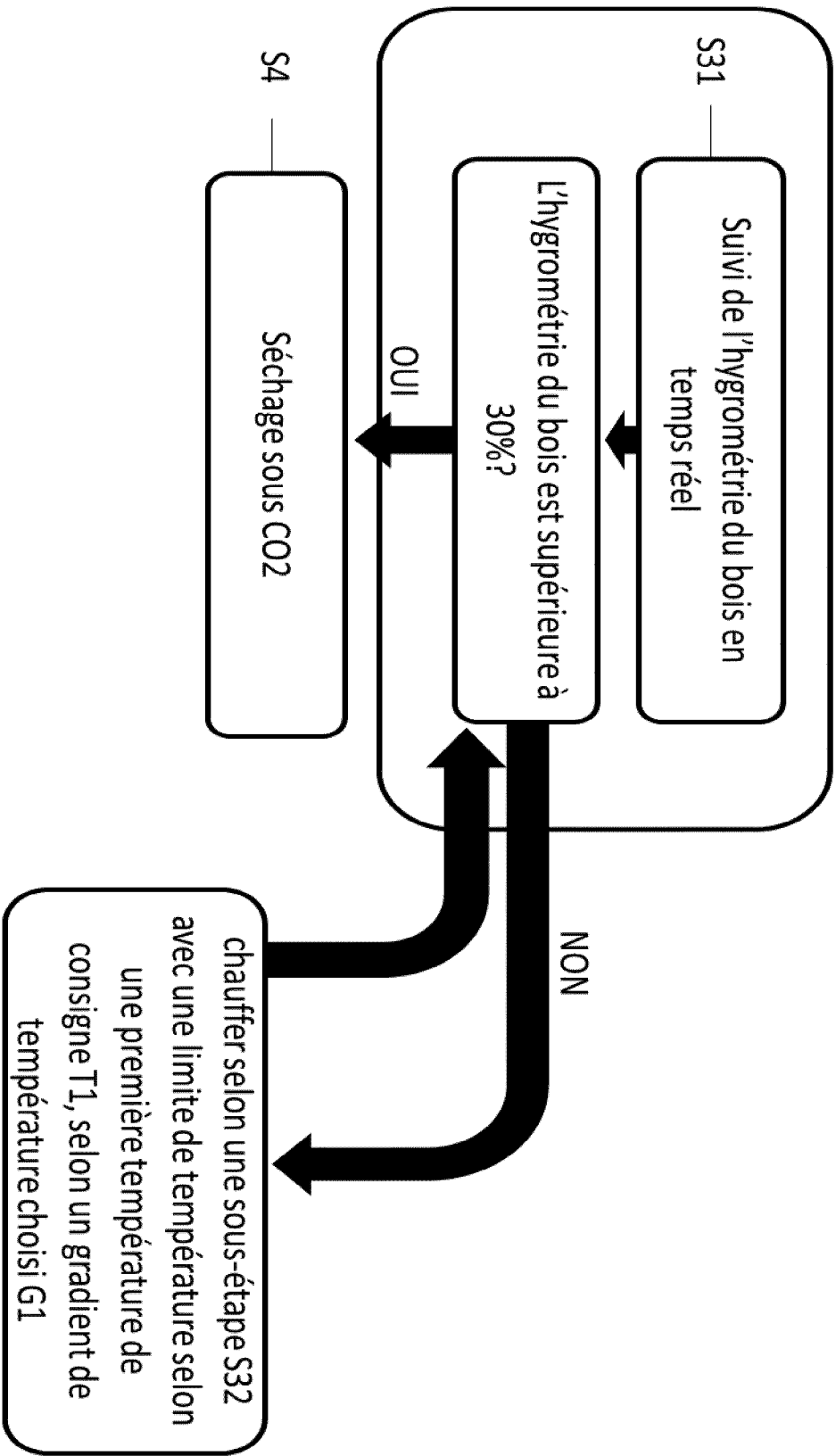
[Fig. 4]

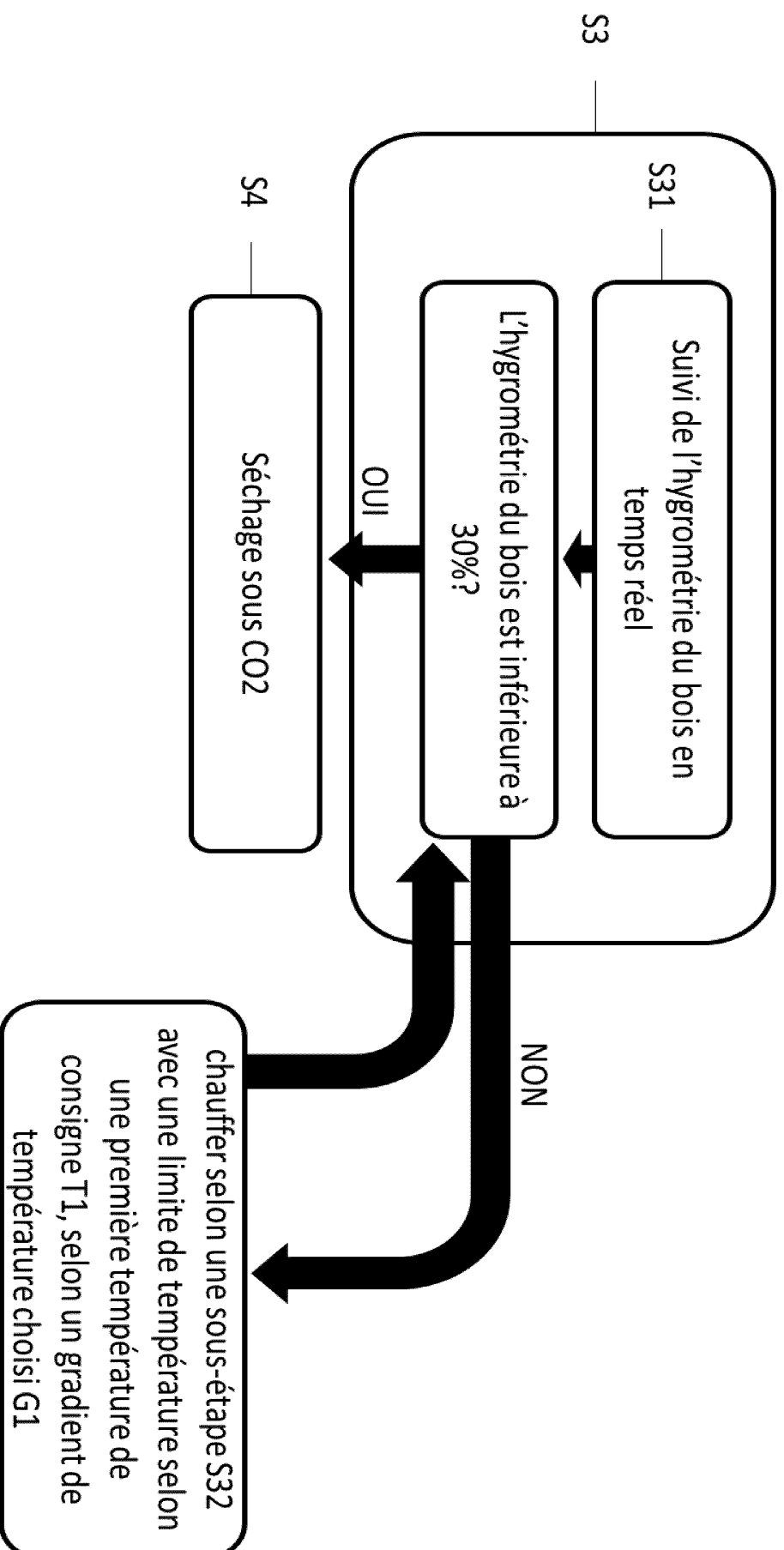


[Fig. 5]

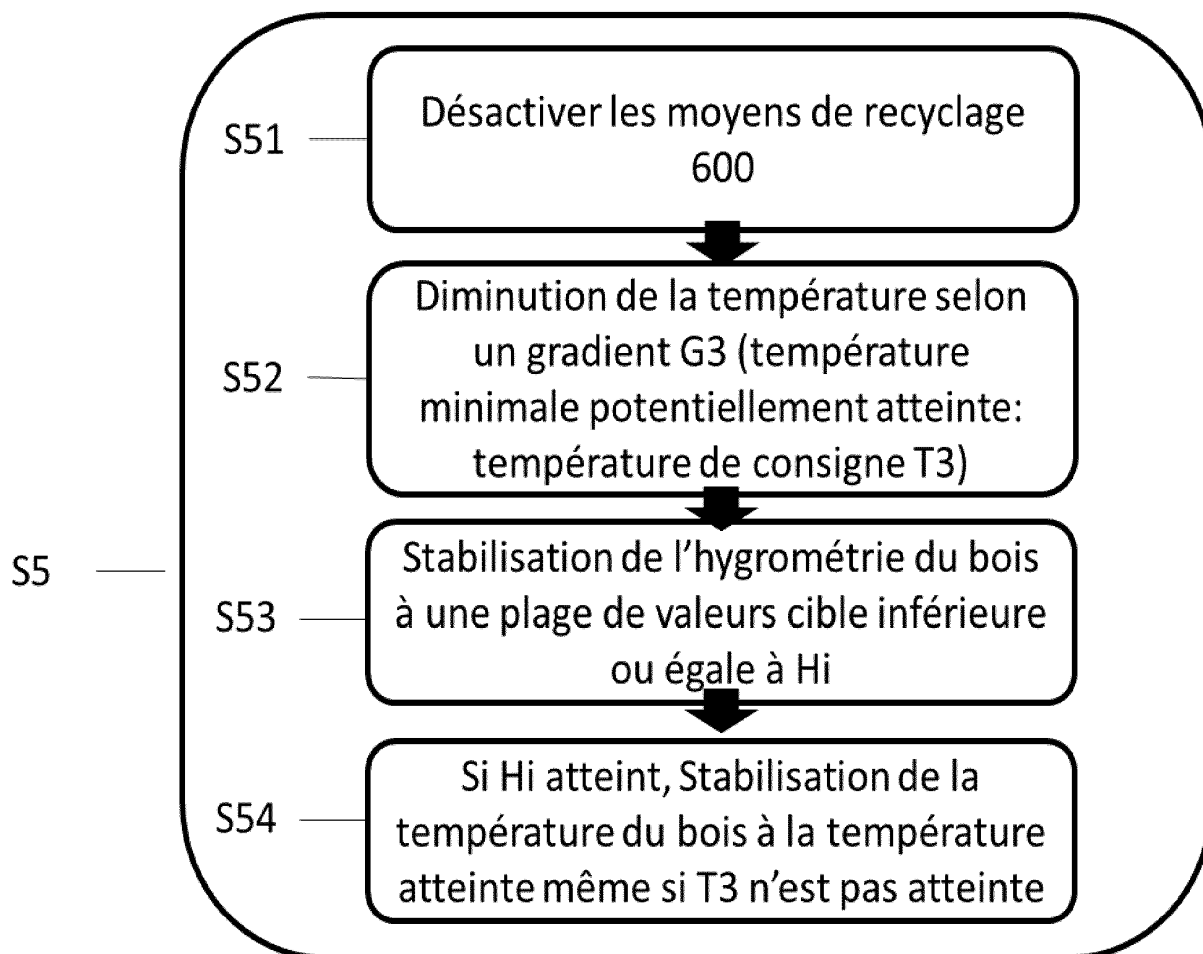


[Fig. 6]

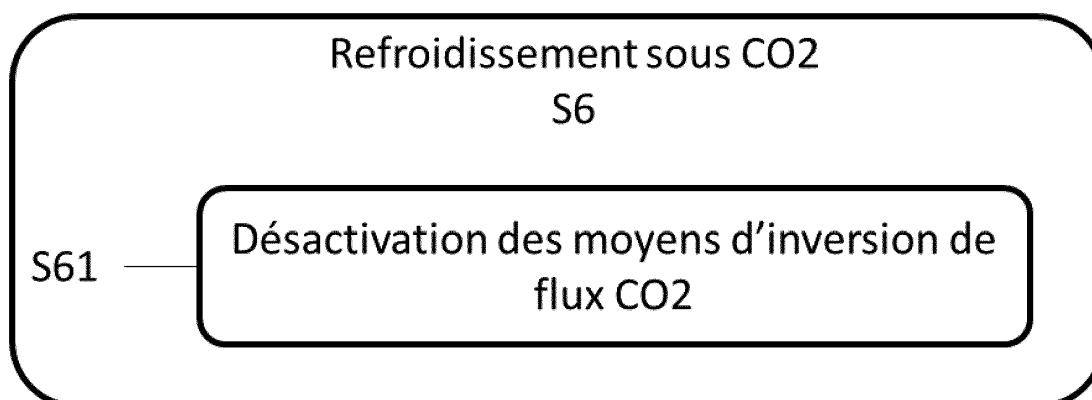




[Fig. 8]



[Fig. 9]



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 2010127026 A [0005]
- FR 3090835 A1 [0005]
- GB 849613 A [0008]