

⑫ **BREVET D'INVENTION** **B1**

⑤④ Procédé de séchage thermique de bois sous atmosphère CO₂.

②② Date de dépôt : 05.01.23.

③③ Priorité :

⑥⑥ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : WAYS SAS — FR.

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 12.07.24 Bulletin 24/28.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 31.01.25 Bulletin 25/05.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑦② Inventeur(s) : RAOULT Yann et CARMASSI
Guillaume.

⑦③ Titulaire(s) : WAYS SAS.

⑦④ Mandataire(s) : CABINET IPON GLOBAL.



Description

Titre de l'invention : [Procédé de séchage thermique de bois sous atmosphère CO₂]

- [0001] La présente invention concerne un procédé de séchage thermique de bois sous atmosphère CO₂, en particulier mais non limitativement pour le séchage industriel du bois d'œuvre, bois rond et/ou en grumes. Elle concerne également une installation pour la mise en œuvre dudit procédé de séchage et le produit obtenu.
- [0002] On entend ici par « bois d'œuvre, bois rond et bois en grumes » 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] 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, en raison du problème de consommer un minimum d'énergie tout en obtenant un bois comportant un pourcentage d'eau faible.
- [0004] Un autre inconvénient des solutions existantes est la durée du procédé de séchage, qui représente souvent une durée importante de plusieurs jours, voire plusieurs semaines, facteur limitant une utilisation efficace pour un usage industriel.
- [0005] De plus, les procédés actuels 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 humidité résiduelle faible du bois séché et en garantissant l'intégrité de la structure interne du bois pendant et après le séchage.
- [0006] Les procédés et installation de séchage actuels présentent également l'inconvénient de ne séquestrer qu'une très faible quantité de CO₂ dans le bois à sécher.
- [0007] La présente invention remédie à ces inconvénients.
- [0008] Elle porte sur un procédé de séchage thermique de bois mis en œuvre à l'aide d'une installation de séchage comprenant au moins une chambre de séchage.
- [0009] Selon une définition générale de l'invention, le procédé de séchage comprend les étapes suivantes :
- Acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher ;
 - Ajuster l'hygrométrie du bois par chauffage jusqu'à une première température de consigne T1 selon un gradient de température choisi G1 si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher ;
 - Si l'hygrométrie du bois mesurée est inférieure ou égale à 30%, saturer la chambre de séchage en CO₂ même si la température consigne T1 n'est pas atteinte ;

-réchauffer le CO₂ circulant dans la chambre de séchage jusqu'à la température de consigne T1 dans la chambre de séchage selon une première phase, puis réchauffer selon une seconde phase le CO₂ circulant dans la chambre de séchage jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée du bois atteigne une valeur cible intermédiaire Hi choisie, le réchauffage étant effectué jusqu'à une seconde température de consigne T2 limite de 10 à 120°C selon un gradient de température choisi G2 en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée spécifique du bois à sécher;

-Diminuer selon une première phase la température de la chambre de chauffage jusqu'à une troisième température consigne T3 choisie de stabilisation, lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, ladite température de consigne T3 étant maintenue pendant une durée de temps choisie jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit stable et comprise dans une plage de valeurs HX choisie ;

et

-Diminuer selon une seconde phase la température de la chambre de chauffage jusqu'à la température de consigne T1 tant que l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, maintenir la température mesurée égale pendant une durée de stabilisation choisie.

[0010] A titre d'exemple non limitatif, le bois appartient au groupe formé par bois rond, grume, bois d'œuvre, bois conformé en planches.

[0011] En pratique, l'étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher comprend les sous-étapes suivantes :

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

[0012] L'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois comprend les sous-étapes suivantes :

- Mesurer l'hygrométrie du bois en temps réel ;
 - Si l'hygrométrie mesurée est supérieure à 30% augmenter la température du tube de séchage de la température ambiante jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit inférieure ou égale à 30%, l'augmentation de température étant effectué selon un gradient de température choisi G1, et limitée à une première température consigne T1 ;
- et
- Si l'hygrométrie mesurée est inférieure ou égale à 30%, saturer la chambre de séchage de CO₂.

[0013] l'étape de saturation en CO₂ comprend les sous-étapes suivantes :

- Vérifier que la température de consigne T1 est atteinte dans la chambre de séchage ;
- Injecter le CO₂ en provenance de moyens d'alimentation en CO₂ ;
- Mesurer à l'aide de moyens de mesure , disposés en sortie des moyens d'alimentation en CO₂ et au niveau de la sortie de l'installation la pression partielle en CO₂ ;
- Comparer pression partielle en CO₂ en entrée et en sortie ; et
- Arrêter l'injection de CO₂ et activer des moyens de recyclage du CO₂ lorsque le ratio pression partielle CO₂ en entrée/ en sortie supérieur ou égal à une valeur R cible choisie.

[0014] l'étape de réchauffage comprend les sous-étapes suivantes :

- Augmenter la température de la chambre de séchage selon un gradient de température G2 choisi, avec pour température limite, une température de consigne T2 ;
- Enclencher l'Activation/désactivation de moyens d'inversion de flux CO₂ selon une fréquence F1 choisie configurer pour inverser le sens du flux de CO₂ dans la chambre de séchage ;
- Activer des moyens de déshumidification de la chambre de séchage ;
- Mesurer en temps réel l'hygrométrie du bois ; et
- si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à une valeur d'hygrométrie intermédiaire Hi du bois, stabiliser la température de la chambre de séchage même si la température de consigne T2 n'est pas atteinte.

[0015] l'étape de diminution de la température selon une première phase comprend les sous-étapes suivantes :

- lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, diminuer la température dans la chambre de séchage jusqu'à une température de consigne T3 choisie de stabilisation ;
- Stabiliser l'hygrométrie mesurée du bois à sécher dans une plage de valeurs d'hygrométrie cible HX ; et
- lorsque la plage de valeurs d'hygrométrie cible HX est atteinte, stabiliser la température du bois atteinte pendant une durée D choisie, même si la température de consigne T3 n'est pas atteinte.

[0016] l'étape de diminution de la température selon une seconde phase comprend les sous-étapes suivantes :

- Désactiver les moyens d'inversion de flux CO₂ et les moyens de recyclage CO₂ ;
- si l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale Hc, diminuer la température de la chambre de séchage jusqu'à la température de consigne T1 selon un gradient choisi G3 par désactivation progressive de moyens de chauffage ;
- si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale Hc, stabiliser la température mesurée dans la chambre de séchage même si la température de consigne T1 n'est pas atteinte.

- [0017] Le procédé selon l'invention comprend en outre comprend en outre une étape d'évacuation du CO₂, configurée pour désaturer en CO₂ la chambre de séchage pour extraire le bois séché.
- [0018] Ainsi, le procédé de séchage permet d'obtenir un séchage rapide du bois, avec un taux de déformation faible, énergétiquement moins demandeur, tout en permettant une adaptabilité à tout type de bois grâce aux étapes de surveillance, de contrôle et de rétro ajustement.
- [0019] Le procédé de séchage utilise une génération de flux gazeux caloporteur de CO₂ injecté dans la chambre de séchage de la charge de bois à pression atmosphérique, suivi d'un chauffage en boucle fermée, avec un système de surveillance de nombreuses mesures physiques parmi lesquelles l'enregistrement de la pression, l'hygrométrie, la température, la masse de la chambre de séchage en différents points et reliés à une boucle de rétroaction permettant l'ajustement du fonctionnement de l'installation pour obtenir les conditions optimales de séchage du bois.
- [0020] Un tel procédé de séchage a l'avantage d'être court sur le plan temporel, reproductible à grande échelle pour son usage industriel, énergétiquement efficient et permet d'obtenir une hygrométrie finale du bois séché compris entre 0% et 22 %
- [0021] Avantageusement, le procédé/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 de 10 à 15%.
- [0022] Le Demandeur a également observé que le procédé/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.
- [0023] D'autres avantages et caractéristiques de l'invention apparaitront à l'examen de la description et des dessins dans lesquels :
- [0024] [Fig.1] représente schématiquement une installation de séchage de bois conforme à l'invention ;
- [0025] [Fig.2] représente isolément deux modes de réalisation des moyens d'alimentation en CO₂ de l'installation conforme à l'invention ;
- [0026] [Fig.3] représente la chambre de séchage de l'installation conforme à l'invention ;
- [0027] [Fig.4] représente un module thermoplongeur interne du système de chauffage conforme à l'invention ;
- [0028] [Fig.5] représente un ventilateur à simple aspiration du système de chauffage conforme à l'invention ;
- [0029] [Fig.6] représente schématiquement les étapes générales du procédé de séchage conforme à l'invention ;
- [0030] [Fig.7] représente schématiquement les sous-étapes permettant Remplissage de la

chambre / acquisition des données capteurs ;

[0031] [Fig.8] représente schématiquement les sous-étapes permettant l'élimination de l'eau libre du bois à sécher conformément à l'invention ;

[0032] [Fig.9] représente schématiquement les sous-étapes permettant l'injection du CO₂ la saturation de la chambre de séchage conforme à l'invention ;

[0033] [Fig.10] représente schématiquement les sous-étapes relatives à l'étape de séchage sous CO₂ conforme à l'invention ;

[0034] [Fig.11] représente schématiquement les sous-étapes relatives à l'étape de refroidissement sous CO₂ conforme à l'invention ; et

[0035] [Fig.12] représente schématiquement les sous-étapes relatives à l'étape d'évacuation du CO₂ de la chambre de séchage conforme à l'invention.

[0036] En référence aux **figures 1 à 5**, l'installation de séchage conforme à l'invention comprend 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 permettent le renouvellement de l'atmosphère à l'intérieur de la chambre de séchage 1, et d'extraire de la chambre de séchage et recycler le fluide gazeux caloporteur comprenant du CO₂ et de l'eau sous forme de vapeur, plusieurs unités de mesure de métrologie formant moyens de métrologie 5, et enfin un système informatique de pilotage 6 équipé d'une interface de programmation applicative API.

[0037] L'installation possède une chambre de séchage 1 composée d'un ou plusieurs tubes de séchage cylindrique creux permettant l'introduction du bois rond à sécher.

[0038] A titre d'exemple non limitatif, la chambre de séchage 1 comporte un tube fermé de 2.000 litres calorifugé avec recirculation atmosphérique interne. Par exemple, le réacteur est constitué par :

- un tube d'acier de 5,5 mètres de longueur, fermé par deux plaques en acier (non représentées) de 700 mm de diamètre et 3 mm d'épaisseur, l'une boulonnée sur brides comportant 1 piquage de visite fermé par un plaque acier de 220 mm de diamètre boulonnée sur bride, et l'autre équipée en porte articulée boulonnée sur bride sur gougeons articulés, comportant un piquage de visite, et enfin fermé par un robinet/vanne ;
- un chemin de fer à rouleau (non représenté) composé d'une série de dix rouleaux de 4 cm de diamètre et de 15 cm de longueur espacés tous les 70 cm et fixés par plaque boulonnée ; et
- une extrémité filetée fermée par boulon-capuchon, pour la mise en place des capteurs, aux extrémités et au centre, fixé sur l'axe de la génératrice supérieure de la chambre.

- [0039] Selon un mode de réalisation, la chambre de séchage 1 selon l'invention comprend une soupape de sécurité 103 est disposée en position médiale de la 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.
- [0040] En pratique, la pression critique au niveau de la soupape peut être de 1,5 bar.
- [0041] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la chambre de séchage dispose d'une inclinaison de 1%, disposant d'une électrovanne de vidange avec un col de cygne, laquelle permet l'évacuation de l'eau sous forme liquide lors du séchage.
- [0042] L'installation de séchage comprend en outre un système de chauffage 2, équipé d'un conduit comprenant une entrée de circulation de gaz en provenance de moyens d'alimentation en CO₂ 3, le conduit amenant ensuite à des premiers moyens de circulation ou ventilateur de recirculation comportant une gaine 203a, une turbine 203b, ainsi qu'une entrée 203c et une sortie 203d permettant la circulation du mélange gazeux vers la chambre 1 selon un sens F dans le système de chauffage 2, depuis un réchauffeur 205 ou cellule de réchauffage, lesdits ventilateur de recirculation permettant l'évacuation de l'atmosphère ainsi chauffée vers un module d'injection (206a) donnant dans la chambre de séchage 1.
- [0043] Selon un premier mode de réalisation alternatif, la chambre de séchage 1 est constituée d'une pluralité de tubes de séchage, connectés à un système de chauffage 2 commun aux tubes de séchage.
- [0044] Selon un second mode de réalisation alternatif, la chambre de séchage 1 est constituée d'une pluralité de tubes de séchage, connectés à une pluralité de systèmes de chauffage 2.
- [0045] En pratique, le réchauffeur 205 est de type thermoplongeur vendu sous la référence « réchauffeur électrique 237537 à tube plongeur » par la société VULCANIC© d'une puissance de 7 W et comporte une entrée 206 par laquelle les gaz à chauffer entrent dans le réchauffeur 205, un conduit 208 cylindrique ouvert en acier, dans lequel un thermoplongeur 209 est inséré et fixé sur l'une des ouvertures, et enfin une seconde ouverture de sortie 207 des gaz ainsi chauffés. En aval du conduit 208 avant l'orifice de sortie 207 sont disposés un thermostat 210 permettant la régulation de la température du thermoplongeur 209 ainsi qu'une sonde de mesure de la température 211.
- [0046] A titre d'exemple non limitatif, le système de chauffage 2 comporte un circuit en gaine spiralée, en tôle d'acier galvanisé d'environ 8 m de longueur, alimentant une caisse d'extraction réchauffage équipé d'un ventilateur 203 de type hélicoïde à moteur déporté basse pression de 9,5 Nm³/mn, ainsi qu'un réchauffeur 205 de 2 x 3,5 kW thermostaté, l'ensemble calorifugé par une enveloppe de laine de verre de 20 cm d'épaisseur.
- [0047] La chambre de séchage comprend en outre des moyens de métrologie 5, permettant

la mesure de diverses caractéristiques physiques. Les instruments compris au niveau de la chambre de séchage 1 sont par exemple :

- [0048] - au moins deux pesons individualisés 503a/503b/ 503c/ 503d, répartis sous la chambre et permettant le suivi de la masse du tube de séchage, et ainsi connaître la masse de la charge de bois en cours de séchage, indiquant l'état d'avancement du séchage ;
- [0049] - au moins deux transmetteurs de température individualisés et placés sur le bois, disposés au centre de la grume 501a/501b/501c ainsi qu'à la périphérie de celle-ci 502a/502b/502c, permettant donc le suivi précis en temps réel de la température en plusieurs points de la chambre 1, ainsi que dans la charge de bois, afin d'éviter d'endommager la grume lors du séchage et optimiser le séchage par régulation fine ;
- [0050] - trois ensembles hygromètre/thermomètre individualisés disposés en amont 504a, au centre 504b, et en aval 504c dans la chambre de séchage 1 ;
- [0051] - un ensemble transmetteur de pression 506a et manomètre 506b permettant l'enregistrement de la pression à l'intérieur de la chambre de séchage 1.
- [0052] Chaque mesure métrologique comporte une valeur consigne ou un groupe de valeurs consignes à respecter, spécifique à chaque type de bois.
- [0053] L'installation de chauffage selon l'invention comprend ensuite un circuit de circulation de mélange gazeux disposant de moyens de circulation 213a, 213b pour forcer la circulation du mélange gazeux selon un circuit fermé, à travers la chambre de séchage 1.
- [0054] A titre d'exemple non limitatif, les moyens de circulation 213a, 213b, comprennent un premier ventilateur 213a permettant la circulation du mélange gazeux vers la chambre de séchage 1, et un second ventilateur 213b permettant la circulation du mélange gazeux en dehors de la chambre de séchage 1 vers le circuit de circulation de mélange gazeux.
- [0055] En pratique, premiers moyens de circulation 213a peuvent être de type ventilateur centrifuge moyenne pression et à simple aspiration avec gaine 203b et turbine 203a en tôle d'acier, ledit ventilateur comportant une turbine 203a à aubes inclinées vers l'avant en tôle d'acier galvanisé, le ventilateur 203 étant capable de supporter une température maximale de l'air à transporter de -20°C à 250°C.
- [0056] Le premier ventilateur 213a est intégré dans un module d'injection 206a, et disposé en sortie des moyens de chauffage 2.
- [0057] Le module d'injection 206a est configuré pour injecter le mélange gazeux dans la chambre de séchage 1, et est connecté à des moyens d'alimentation en CO₂ 3 et aux moyens de chauffage 2.
- [0058] Ledit module d'injection 206a comprend le premier ventilateur 213a, un conduit de circulation 204 connecté à la première entrée 201 de la chambre de séchage 1 et à la

seconde entrée 202 de la chambre de séchage 1, chaque entrée 201, 202 comprenant respectivement une électrovanne EV3, EV4 configurées pour alternativement permettre la circulation du CO₂ dans la chambre de séchage 1, lorsqu'une électrovanne EV3, EV4 est en position fermée, l'autre électrovanne EV3, EV4 est en position ouverte, permettant ainsi l'injection du mélange gazeux au niveau de chaque extrémité de la chambre de séchage 1.

- [0059] Le second ventilateur 213b est intégré dans un module d'évacuation 206a, et disposé en sortie des moyens de chauffage 2.
- [0060] Le module d'évacuation 206b est disposé en sortie de la chambre de chauffage 1, et connecté à la première sortie 204 et à la seconde sortie 205 de la chambre de séchage 1, chaque sortie 204, 205 comprenant respectivement une électrovanne EV2, EV1 configurées pour alternativement permettre la circulation du CO₂ vers le second ventilateur 203b connecté à une sortie 701 de l'installation de séchage, et configuré pour permettre la circulation du mélange gazeux en sortie de la chambre de séchage 1 de sorte que lorsqu'une électrovanne EV2, EV1 est en position fermée, l'autre électrovanne EV2, EV1 est en position ouverte, la circulation du mélange gazeux s'effectuant alors alternativement au niveau de chaque extrémité de la chambre de séchage 1 selon une fréquence choisie lors du séchage du bois.
- [0061] Le module d'injection 206a et le module d'évacuation 206b forment un module d'inversion de flux 206 configuré pour permettre la circulation du CO₂ dans un premier sens de circulation dans la chambre de séchage 1 entre une première entrée 201 de la chambre de séchage 1 et une première sortie 204 de la chambre de séchage 1, et dans un second sens de circulation entre une seconde entrée 202 de la chambre de séchage 1 et une seconde sortie 205 de la chambre de séchage 1, et apte à uniformiser la répartition thermique dans la chambre de séchage 1.
- [0062] En effet, les électrovannes EV1, EV2, EV3, EV4 du module d'injection 206a et du module d'évacuation 206b sont configurées pour passer d'une position ouverte à une position fermée de manière alternative, de sorte que lorsqu'une électrovanne EV3, EV4 est en position ouverte dans le module d'injection 206a, l'électrovanne EV1, EV2 du module d'évacuation 206b en position ouverte est disposée au niveau de l'autre extrémité de la chambre de séchage 1.
- [0063] Avantagusement, la circulation alternative du CO₂ dans le module d'injection 206a et le module d'évacuation 206b permet de maintenir une uniformité de la température du mélange gazeux dans la chambre de séchage 1 et ainsi permettre un séchage du bois et une séquestration uniforme du CO₂ dans le bois.
- [0064] Le Demandeur a observé que l'utilisation du module d'inversion de flux 206 permet en outre 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 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.

[0065] En outre, une telle uniformité de séchage permet d'obtenir un retrait inférieur à 5 % contrairement un retrait standard de 10 à 15% avec des moyens de séchages conventionnels.

[0066] Selon un mode de réalisation particulier, l'installation de séchage conforme à l'invention comprend en outre un module de recirculation 206c, disposé entre le module d'évacuation 206b, des moyens de recyclage 600, et les moyens de chauffage 2, et comprenant une électrovanne EV5 configurée pour permettre/empêcher la recirculation du mélange gazeux déshumidifié vers la chambre de séchage 1.

[0067] Le module de recirculation 206c est configuré pour permettre la réinjection d'un mélange gazeux dans le module d'injection 206a, ou l'envoi du mélange gazeux vers une sortie 701 de l'installation de séchage.

[0068] En outre, les moyens de recyclage 600 du CO₂ permettent 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.

[0069] 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, laquelle est ensuite récupérée par gravité sous forme liquide et éliminée.

[0070] Par exemple, les moyens de recyclage 600 permettent la dessiccation de l'atmosphère interne extraite de la chambre de séchage 1 via une installation de condensation thermique de la vapeur d'eau par refroidissement, sur paroi froide équipée d'un échangeur de chaleur. Le système permet donc la réinjection de l'atmosphère déshydratée dans la chambre de séchage 3.

[0071] 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.

[0072] 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.

[0073] En pratique, l'échangeur à chaleur des moyens de recyclage 600 permettre en outre de réchauffer le mélange gazeux déshydraté avant réinjection via le module d'injection 206a.

[0074] 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 une température de 50°C pour réinjection dans la chambre de séchage 1.

- [0075] Avantageusement, les moyens de recyclage 600 permettent de contrôler l'hygrométrie du mélange gazeux et ainsi minimiser les variations environnementales du bois à sécher optimisant ainsi le séchage du bois et la séquestration du CO₂, tout en limitant la dépense énergétique pour maintenir un écart de température faible entre le CO₂ sortant des moyens de chauffage 2 et en provenance du module de recirculation 206c.
- [0076] En pratique, le gaz CO₂ récupéré par les moyens de recyclage 600 peut être stocké, ou directement être réinjecté dans la chambre de séchage 1.
- [0077] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, la chambre de séchage 1 comporte une entrée, laquelle est suivie d'un conduit dit de « respiration » comportant un clapet anti-retour suivi d'une électrovanne de respiration 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.
- [0078] L'installation de séchage selon l'invention comprend en outre une sortie 701 connecté au module d'évacuation 206b.
- [0079] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, la sortie 701 est connectée à une seconde installation de séchage, et dispose d'une électrovanne 700a configurée pour permettre/empêcher la circulation du mélange gazeux en sortie, électrovanne 700a étant équipée d'un dispositif de comptage constitué d'un ensemble manomètre/thermomètre 302 et volumètre/débitmètre 303 configuré pour mesurer la quantité de CO₂ en sortie d'installation.
- [0080] Selon un second mode de réalisation de l'invention, la sortie 701 est connectée à une installation de stockage du CO₂ recyclé, et dispose d'une électrovanne 700b configurée pour permettre/empêcher la circulation du mélange gazeux en sortie, électrovanne 700b étant équipée d'un dispositif de comptage constitué d'un ensemble manomètre/thermomètre 302 et volumètre/débitmètre 303 configuré pour mesurer la quantité de CO₂ en sortie d'installation.
- [0081] Selon un troisième mode de réalisation de l'invention, la sortie 701 est connectée à une seconde installation de séchage, et dispose d'une électrovanne 700a configurée pour permettre/empêcher la circulation du mélange gazeux en sortie, électrovanne 700a étant équipée d'un dispositif de comptage constitué d'un ensemble manomètre/thermomètre 302 et volumètre/débitmètre 303 configuré pour mesurer la quantité de CO₂ en sortie d'installation, et connectée à une installation de stockage du CO₂ recyclé, et dispose d'une électrovanne 700b configurée pour permettre/empêcher la circulation du mélange gazeux en sortie, électrovanne 700b étant équipée d'un dispositif de comptage constitué d'un ensemble manomètre/thermomètre 302 et volumètre/dé-

bitmètre 303 configuré pour mesurer la quantité de CO₂ en sortie 701 d'installation.

[0082] En pratique, le module de comptage comprend en outre des moyens de mesure de la pression partielle en CO₂ 700b, disposés au niveau de la sortie (701) de l'installation, et configurés pour enregistrer et transmettre la pression partielle en CO₂ mesurée dans l'installation à un système informatique de pilotage (6) de l'installation de séchage.

[0083] 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 biogénique, CO₂ d'origine fossile.

[0084] Selon un premier mode de réalisation de l'invention, les moyens d'alimentation 3 en CO₂ disposent d'au moins une centrale d'approvisionnement en CO₂ 301 comprenant deux emplacements pour des obus standards type "Air-Liquide", contenant chacun 34 kg de CO₂ liquide comprimé à 50 bar, et le(s) dispositif(s) de détente correspondants, soit un dispositif de détente du CO₂ gazeux constitué d'un détendeur primaire (non représenté) permettant le passage de la pression de 70 bar à 3 bar (0,5 m³/h), d'un détendeur-régulateur de débit secondaire permettant le passage de la pression de 3 bar à 0,3 bar (5 m³/h). Les moyens d'alimentation 3 disposent ensuite d'une électrovanne 304 de coupure précédée d'un dispositif de comptage 302/303 atmosphérique du CO₂, l'électrovanne contrôlant l'alimentation vers une canalisation atmosphérique 306 fixe.

[0085] Les moyens d'alimentation 3 en CO₂ comporte ensuite un dispositif de mise en circulation 307 du gaz permettant de pulser de l'air à température ambiante vers le système de chauffage 2. Le dispositif de circulation 307 comprend un compresseur d'air 308 éjectant de l'air sous pression vers une canalisation se divisant en deux, et dont la première division permet la circulation de l'air comprimé vers un détendeur 309 lequel permet ensuite la circulation d'air à pression réduite vers les électrovannes 101b et 102a, respectivement présentes à l'entrée 101 et sortie 102 de la chambre de séchage 1. Une seconde division de la canalisation permet la circulation de l'air comprimé vers un détendeur 310 lequel réduit la pression de l'air injecté vers une électrovanne 311 permettant le contrôle de la quantité d'air introduit dans le circuit, lequel comporte ensuite un clapet anti-retour 312 et débouchant dans la canalisation de mise en circulation atmosphérique 306 laquelle rejoint le conduit 204 du système de chauffage 2 en amont des moyens de circulation 213a.

[0086] Selon un mode alternatif de réalisation de l'invention, la canalisation de mise en circulation atmosphérique 306 rejoint directement au moins un module d'injection 206a connecté à la chambre de séchage 1.

[0087] Selon un autre mode de réalisation alternatif, les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent au moins un module d'alimentation en CO₂ dit « neuf », et un module d'alimentation en CO₂ dit « recyclé », connecté à l'installation de séchage par un système de connexion (30,31) à une source de CO₂ comprenant au moins une élec-

trovanne (EVC1, EVC2) configurée pour permettre l'injection/l'arrêt de l'injection du CO₂ dans l'installation de séchage.

[0088] On entend par CO₂neuf, du CO₂ en bouteille pressurisée (301).

[0089] On entend par CO₂recyclé, du CO₂ provenant d'une alimentation CO₂d'évacuation d'installation de méthanisation, alimentation CO₂de type cheminée d'industrie, et installation de séchage de bois par séquestration CO₂annexe

[0090] Selon un exemple non limitatif, les moyens d'alimentation en CO₂ (3) appartiennent au groupe formé par système d'injection de CO₂ à partir de CO₂ en bouteille pressurisée (301), alimentation CO₂d'évacuation d'installation de méthanisation, alimentation CO₂de type cheminée d'industrie, et installation de séchage de bois par séquestration CO₂annexe, ou une combinaison d'entre eux.

[0091] Les moyens d'alimentation en CO₂ 3 comprennent un dispositif de comptage étant quant à lui constitué d'un ensemble manomètre/thermomètre 302 et volumètre/débitmètre 303. Le conduit d'alimentation du CO₂ injecté et décomprimé comporte ensuite un clapet anti-retour et rejoint enfin une canalisation de mise en circulation atmosphérique 306 vers les moyens de chauffage 3.

[0092] Le module de comptage comprend en outre des moyens de mesure de la pression partielle en CO₂ 700a, disposés en sortie des moyens d'alimentation en CO₂ (3) et au niveau de la sortie (701) de l'installation, et configurés pour enregistrer et transmettre la pression partielle en CO₂mesurée dans l'installation à un système informatique de pilotage (6) de l'installation de séchage.

[0093] A titre d'exemple, les moyens de mesure de la pression partielle en CO₂700a,700b comprennent un dispositif de type chromatographe en phase gazeuse 700a, disposé en sortie des moyens d'alimentation en CO₂, et configuré pour analyser la composition du mélange gazeux en sortie desdits moyens d'alimentation en CO₂ et ainsi mesurer la quantité de CO₂ en entrée d'installation.

[0094] Avantagusement, en comparant la quantité de CO₂ en entrée d'installation et en sortie 701, il est possible de mesurer le taux de saturation en CO₂ circulant dans ladite installation et ainsi garantir un taux de saturation minimal pour optimiser l'environnement de séchage dans la chambre de séchage 1.

[0095] L'installation de séchage 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 de métrologie 5, afin d'ajuster les consignes envoyées aux composants de l'installation.

[0096] Le système de pilotage informatique 6 est configuré pour piloter les moyens d'alimentation 3, de circulation 213a, 213b, de réchauffage 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.

[0097] En pratique, le système informatique de pilotage 6 équipé d'une interface de programmation applicative API est configuré pour :

- Acquérir des données métrologiques et paramètres du bois à sécher par mesure des moyens métrologiques 5 ;

- Activer les moyens de chauffage 2 pour ajuster l'hygrométrie du bois par chauffage jusqu'à une première température de consigne T1 selon un gradient de température choisi G1 si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher et activer les moyens circulateurs 203a, 203b ;

- Si l'hygrométrie du bois mesurée est inférieure ou égale à 30%, activer les moyens d'alimentation en CO₂ 3 configurés pour saturer la chambre de séchage 1 en CO₂ même si la température consigne T1 n'est pas atteinte ;

- stabiliser la température du CO₂circulant dans la chambre de séchage 1 selon une première phase jusqu'à la température de consigne T1, activer les moyens de recyclage 600 puis augmenter selon une seconde phase la température du CO₂circulant 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 jusqu'à une seconde température de consigne T2 limite 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 séchage 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, lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, ladite température de consigne T3 étant maintenue pendant une durée de temps choisie jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit stable et comprise dans une plage de valeurs HX choisie ; et

- Désactiver les moyens de chauffage 2, pour diminuer la température de la chambre de chauffage 1 selon une seconde phase, jusqu'à la température de consigne T1 tant que l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, réactiver les moyens de chauffage 2 de manière à maintenir la température mesurée stable pendant une durée de stabilisation choisie.

[0098] En référence aux **figures 6 à 12**, l'installation de séchage et de séquestration de CO₂

ainsi décrite en référence aux **figures 1 à 5** met en œuvre un procédé de séchage et de séquestration de CO₂ dans le bois comportant une succession d'étapes selon la séquence suivante :

- [0099] Selon une première étape d'acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher S1, mesurer les différentes données paramétriques pour calibrer les valeurs consignées à appliquer, via des moyens de métrologie 5.
- [0100] 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.
- [0101] A titre d'exemple, le bois à sécher est inséré dans la chambre de séchage 1, puis la chambre de séchage est scellée hermétiquement.
- [0102] En pratique, la différence entre la température du bois en surface et à cœur doit être inférieure ou égale à 20°C.
- [0103] 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.
- [0104] A titre d'exemple non limitatif, la quantité de CO₂ séquestrée maximale est de 250kg/m³ de bois.
- [0105] Selon une seconde étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S2, apte à éliminer l'eau libre du bois, si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, la chambre de séchage 1 est chauffée jusqu'à une première température de consigne T1 selon un gradient de température choisi G1.
- [0106] En pratique, si l'hygrométrie du bois est inférieure ou égale à 30%, une troisième étape de saturation en CO₂ S3 est mise en œuvre, même si la température consigne T1 n'est pas encore atteinte.
- [0107] L'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois S2 comprend les sous-étapes suivantes :
 - Mesurer l'hygrométrie du bois en temps réel S21 ;
- [0108] - Si l'hygrométrie mesurée est supérieure à 30% augmenter la température du tube de séchage de la température ambiante S22 jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit inférieure ou égale à 30%, l'augmentation de température étant effectué selon un gradient de température choisi G1, et limitée à une première température consigne T1 ;
et

- [0109] -Si l'hygrométrie mesurée est inférieure ou égale à 30%, saturer la chambre de séchage 1 de CO₂ S3.
- [0110] A titre d'exemple non limitatif, la première température de consigne T1 est comprise entre 50°C et 60°C.
- [0111] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G1 est de 2°C/heure.
- [0112] Selon une troisième étape de saturation S3 de la chambre de séchage en CO₂, les moyens d'alimentation 3 en CO₂ injectent du CO₂ dans la chambre de séchage 1 jusqu'à ce que la saturation en CO₂ atteigne une valeur choisie.
- [0113] L'étape de saturation en CO₂ S3 comprend les sous-étapes suivantes :
- Vérifier que la température de consigne T1 est atteinte dans la chambre de séchage S31 ;
 - Injecter S32 le CO₂ en provenance des moyens d'alimentation en CO₂ 3 ;
 - Mesurer à l'aide de moyens de mesure 700a, 700b, disposés en sortie des moyens d'alimentation en CO₂ 3 et au niveau de la sortie 701 de l'installation la pression partielle en CO₂ S33 ;
 - Comparer pression partielle en CO₂ en entrée et en sortie S34 ; et
 - Arrêter l'injection de CO₂ et activer des moyens de recyclage du CO₂ lorsque le ratio pression partielle CO₂ en entrée/ en sortie supérieur ou égal à une valeur R cible choisie S35.
- [0114] En pratique, l'injection est mise en œuvre via un module d'injection 206a.
- [0115] A titre d'exemple, la saturation de CO₂ dans la chambre de séchage 1 est mesurée par chromatographie en phase gazeuse, par ponctions effectuées via des moyens de métrologie 5 disposés en entrée et en sortie de la chambre de séchage 1.
- [0116] A titre d'exemple non limitatif, lorsque le ratio $R = P[\text{CO}_2] \text{ entrée} / P[\text{CO}_2] \text{ sortie}$ est compris entre 0,8 et 1, la saturation en CO₂ est suffisante, l'injection de CO₂ est stoppée.
- [0117] Selon une quatrième étape de séchage S4, réchauffer S4 le CO₂ circulant dans la chambre de séchage 1 jusqu'à la température de consigne T1 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, le réchauffage étant effectué jusqu'à une seconde température de consigne T2 limite de 120°C selon un gradient de température choisi G2 en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée spécifique du bois à sécher
- [0118] L'étape de réchauffage S4 comprend les sous-étapes suivantes :
- Augmenter la température de la chambre de séchage 1 selon un gradient de température G2 choisi, avec pour température limite, une température de consigne T2 S41

- ;
- Enclencher l'Activation/désactivation de moyens d'inversion de flux CO₂ selon un fréquence F1 choisie S42 configurer pour inverser le sens du flux de CO₂ dans la chambre de séchage 1 ;
- Activer des moyens de déshumidification S43 de la chambre de séchage 1 ;
- Mesurer en temps réel l'hygrométrie du bois S44 ; et
- si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à une valeur d'hygrométrie intermédiaire Hi du bois, stabiliser S45 la température de la chambre de séchage 1 même si la température de consigne T2 n'est pas atteinte.

[0119] En outre, l'augmentation de température S41 est effectuée en deux phases.

[0120] Une première phase consiste à réchauffer le CO₂ circulant dans la chambre de séchage 1 jusqu'à la température de consigne T1 dans la chambre de séchage 1.

[0121] Une seconde phase consiste à 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, le réchauffage étant effectué jusqu'à une seconde température de consigne T2 limite selon un gradient de température choisi G2 en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée spécifique du bois à sécher.

[0122] A titre d'exemple non limitatif, la seconde température de consigne T2 est comprise entre 100 et 120°C.

[0123] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G2 est compris entre 1 et 7°C/ heure.

[0124] 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%.

[0125] 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.

[0126] A titre d'exemple non limitatif, la pression mesurée dans la chambre de séchage est comprise entre 0,8 et 1 bar.

[0127] Selon une cinquième étape de diminution de la température selon une première phase S5 de la chambre de séchage 1, la température de la chambre de chauffage (1) est diminuée jusqu'à ce que le bois à sécher atteigne une hygrométrie mesurée comprise dans une plage de valeurs d'hygrométrie cible HX choisie, la diminution de température disposant d'une valeur limite minimale définie comme une troisième température consigne T3 de stabilisation.

[0128] En pratique, l'étape de diminution de la température selon une première phase S5 comprend les sous-étapes suivantes :

- lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire H_i choisie, diminuer la température dans la chambre de séchage 1 jusqu'à une température de consigne T_3 choisie de stabilisation S_{51} ;
- Stabiliser l'hygrométrie mesurée du bois à sécher dans une plage de valeurs d'hygrométrie cible H_X S_{52} ; et
- lorsque la plage de valeurs d'hygrométrie cible H_X est atteinte, stabiliser la température du bois atteinte pendant une durée D choisie, même si la température de consigne T_3 n'est pas atteinte S_{53} .

[0129] A titre d'exemple non limitatif, la troisième température de consigne T_3 est comprise entre 60 et 100°C.

[0130] A titre d'exemple non limitatif, la plage de valeurs d'hygrométrie cible H_X est comprise entre une valeur cible finale d'hygrométrie H_c , et une valeur cible finale d'hygrométrie $1,1 H_c$ (Soit 110% de H_c).

[0131] Lors de cette étape de diminution de la température selon une première phase S_5 , lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire H_i choisie, ladite température de la chambre de séchage est diminuée jusqu'à une température limite de consigne T_3 .

[0132] En pratique, lorsque l'hygrométrie mesurée est stable et comprise dans une plage de valeurs H_X choisie, la température de la chambre de séchage est stabilisée, et maintenue pendant une durée de temps choisie D , et ce même si la température de consigne T_3 n'est pas atteinte.

[0133] A titre d'exemple non limitatif, la durée D est de 2 heures.

[0134] 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 H_X choisie permet un rééquilibrage hygroscopique du bois à sécher.

[0135] Selon une sixième étape l'étape de diminution de la température selon une seconde phase S_6 , la température de la chambre de chauffage 1 est diminuée jusqu'à la température de consigne T_1 (T_1 inférieur à T_3) tant que l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale d'hygrométrie H_c , si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale d'hygrométrie H_c , maintenir la température mesurée égale pendant une durée de stabilisation choisie.

[0136] En pratique, l'étape de diminution de la température selon une seconde phase S_6 comprend les sous-étapes suivantes :

- Désactiver les moyens d'inversion de flux CO_2 et les moyens de recyclage CO_2 S_{61} ;
- si l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale H_c , diminuer la température S_{62} de la chambre de séchage 1 jusqu'à la température de consigne T_1

selon un gradient choisi G3 par désactivation progressive de moyens de chauffage 2 ;
-si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale Hc, stabiliser la température mesurée dans la chambre de séchage 1 pendant une durée choisie, même si la température de consigne T1 n'est pas atteinte S63.

- [0137] A titre d'exemple non limitatif, le gradient de température choisi G3 est de 2°C/heure.
- [0138] 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.
- [0139] A titre d'exemple non limitatif, la valeur cible finale Hc est comprise entre 0% et 18%.
- [0140] Le procédé selon l'invention comprend en outre une étape d'évacuation S7 du CO₂, configurée pour désaturer en CO₂ la chambre de séchage pour 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.
- [0141] Toutes les étapes du procédé sont pilotées et effectuées via une succession de commandes complètement automatisées par le système de pilotage informatique 6 comprenant une 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 instruments de métrologie 5 de l'installation de séchage, lesquelles permettent d'ajuster les composants de contrôle afin d'optimiser le séchage en cas d'écart avec les valeurs consignes.
- [0142] 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 de pilotage 6 rétro ajuste ces mêmes mesures à des valeurs consignes, ceci afin d'obtenir un séchage optimal et de manière industrielle de la charge de bois. Durant chacune des phases d'augmentation S2, S4 et de diminution S5, S6 de la température, le thermostat 210 du réchauffeur 205 ainsi que les systèmes d'enregistrement de mesures de métrologie en temps réels, permettent l'ajustement de la puissance du réchauffeur 205 par effet de rétroaction du thermostat 210 sur le réchauffeur 205 ainsi que la modulation des systèmes de circulation du CO₂.
- [0143] En pratique gradients de températures G1, G2, G3 de la première phase 901 et de la seconde phase 902 de séchage sont modulés par les moyens de pilotage 6, de manière à maîtriser l'évolution de l'hygrométrie dans le duramen de la pièce de bois en cours de

séchage.

- [0144] En pratique, l'hygrométrie étant variable dans le bois à sécher, sont surveillées par mesures de métrologie : l'hygrométrie d'ambiance, l'hygrométrie moyenne, l'hygrométrie minimale, et l'hygrométrie maximale par exemple.
- [0145] 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 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 macro-moléculaire du bois séché avec une substitution de l'eau liée par du CO₂.
- [0146] A titre d'exemple non limitatif, les rétro ajustements effectués par les moyens de pilotage 6 sont obtenus par modification du fonctionnement du réchauffeur 205, des moyens de circulation 213a, 213b du mélange gazeux. Ces réajustements permettent d'une part le maintien d'un delta maximal de température de 20°C entre la température enregistrée au cœur du bois et la température de l'atmosphère de la chambre de séchage 1, et d'autre part, d'adapter le séchage d'une essence de bois à un profil spécifique.
- [0147] Le procédé selon l'invention permet en outre l'optimisation de la substitution du CO₂ à H₂O liée à la cellulose du bois à sécher. Cette substitution CO₂/H₂O permet de garantir l'intégrité moléculaire « structurelle » du « feuillete de cellulose, de l'hémicellulose et de la lignite », et ainsi du bois séché. Un pilotage multi paramètres fin et précis de l'environnement de séchage, de l'hygrométrie du bois à sécher et de la température dans la chambre de séchage 1 est donc nécessaire.
- [0148] 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 CO₂ substitué. En cas de mauvais contrôle, la qualité structurelle du bois séché ainsi obtenu peut en être fortement impactée.
- [0149] 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.
- [0150] 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.

Revendications

[Revendication 1]

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

- Acquisition des données métrologiques et paramètres du bois à sécher (S1) ;
- Ajuster l'hygrométrie du bois (S2) par chauffage jusqu'à une première température de consigne T1 selon un gradient de température choisi G1 si l'hygrométrie du bois est supérieure à 30%, afin d'extraire l'eau libre du bois à sécher ;
- Si l'hygrométrie du bois mesurée est inférieure ou égale à 30%, saturer (S3) la chambre de séchage (1) en CO₂ même si la température consigne T1 n'est pas atteinte ;
- réchauffer (S4) le CO₂ circulant dans la chambre de séchage (1) jusqu'à la température de consigne T1 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, le réchauffage étant effectué jusqu'à une seconde température de consigne T2 limite de 100 à 120°C selon un gradient de température choisi G2 en fonction du profil de séchage spécifique du bois à sécher permettant d'extraire l'eau liée spécifique du bois à sécher;
- Diminuer selon une première phase (S5) la température de la chambre de chauffage (1) jusqu'à une troisième température consigne T3 choisie de stabilisation, lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, ladite température de consigne T3 étant maintenue pendant une durée de temps choisie jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit stable et comprise dans une plage de valeurs HX choisie ; et
- Diminuer selon une seconde phase (S6) la température de la chambre de chauffage (1) jusqu'à la température de consigne T1 tant que l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale d'hygrométrie Hc, maintenir la température mesurée égale pendant une durée de stabilisation choisie.

[Revendication 2]

Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que le bois appartient au groupe formé par bois rond, grume, bois d'œuvre, bois conformé en

planches.

[Revendication 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 avec le bois 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).

[Revendication 4]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que l'étape d'ajustement de l'hygrométrie du bois (S2) comprend les sous-étapes suivantes :

- Mesurer l'hygrométrie du bois en temps réel (S21) ;
- Si l'hygrométrie mesurée est supérieure à 30% augmenter la température du tube de séchage de la température ambiante (S22) jusqu'à ce que l'hygrométrie mesurée soit inférieure ou égale à 30%, l'augmentation de température étant effectué selon un gradient de température choisi G1, et limitée à une première température consigne T1 ; et
- Si l'hygrométrie mesurée est inférieure ou égale à 30%, saturer la chambre de séchage (1) de CO₂(S3).

[Revendication 5]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'étape de saturation en CO₂ (S3) comprend les sous-étapes suivantes :

- vérifier si l'hygrométrie mesurée est inférieure ou égale à 30%;
- Injecter (S32) le CO₂ en provenance de moyens d'alimentation en CO₂ (3) ;
- Mesurer à l'aide de moyens de mesure (700a,700b), disposés en sortie des moyens d'alimentation en CO₂ (3) et au niveau de la sortie (701) de l'installation la pression partielle en CO₂ (S33) ;
- Comparer pression partielle en CO₂ en entrée et en sortie (S34) ; et
- Arrêter l'injection de CO₂ et activer des moyens de recyclage du CO₂ lorsque le ratio pression partielle CO₂ en entrée/ en sortie supérieur ou égal à une valeur R cible choisie (S35).

[Revendication 6]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'étape de réchauffage (S4) comprend les sous-étapes suivantes :

- Augmenter la température de la chambre de séchage (1) selon un

gradient de température G2 choisi, avec pour température limite, une température de consigne T2 (S41) ;

- Enclencher l'Activation/désactivation de moyens d'inversion de flux CO₂ selon une fréquence F1 choisie (S42) configurer pour inverser le sens du flux de CO₂ dans la chambre de séchage (1) ;

- Activer des moyens de déshumidification (S43) de la chambre de séchage (1) ;

- Mesurer en temps réel l'hygrométrie du bois (S44) ; et

- si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à une valeur d'hygrométrie intermédiaire Hi du bois, stabiliser (S45) la température de la chambre de séchage (1) même si la température de consigne T2 n'est pas atteinte.

[Revendication 7]

Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que l'étape de diminution de la température selon une première phase (S5) comprend les sous-étapes suivantes :

- lorsque l'hygrométrie mesurée du bois atteint la valeur cible intermédiaire Hi choisie, diminuer la température dans la chambre de séchage (1) jusqu'à une température de consigne T3 choisie de stabilisation (S51) ;

- Stabiliser l'hygrométrie mesurée du bois à sécher dans une plage de valeurs d'hygrométrie cible HX (S52) ; et

- lorsque la plage de valeurs d'hygrométrie cible HX est atteinte, stabiliser la température du bois atteinte pendant une durée D choisie, même si la température de consigne T3 n'est pas atteinte (S53).

[Revendication 8]

Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que l'étape de diminution de la température selon une seconde phase (S6) comprend les sous-étapes suivantes :

- Désactiver les moyens d'inversion de flux CO₂ et les moyens de recyclage CO₂ (S61) ;

- si l'hygrométrie mesurée du bois est supérieure à la valeur cible finale Hc, diminuer la température (S62) de la chambre de séchage (1) jusqu'à la température de consigne T1 selon un gradient choisi G3 par désactivation progressive de moyens de chauffage (2) ;

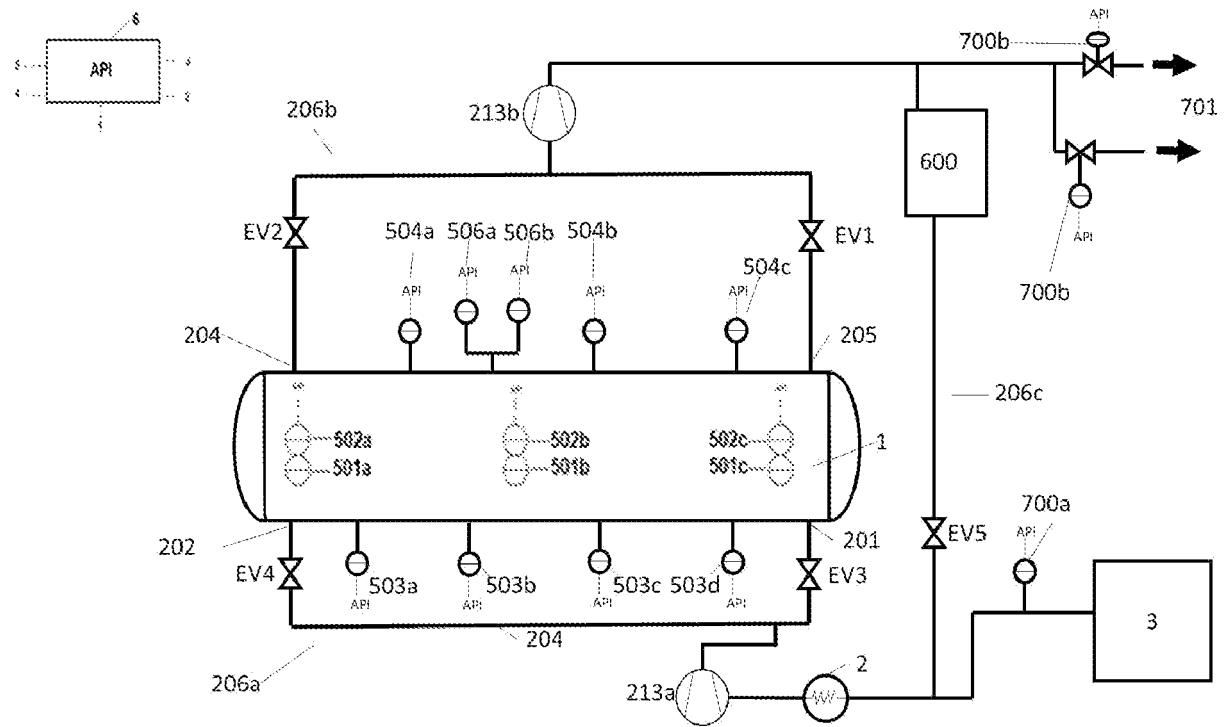
- si l'hygrométrie mesurée du bois est inférieure ou égale à la valeur cible finale Hc, stabiliser la température mesurée dans la chambre de séchage (1) même si la température de consigne T1 n'est pas atteinte (S63).

[Revendication 9]

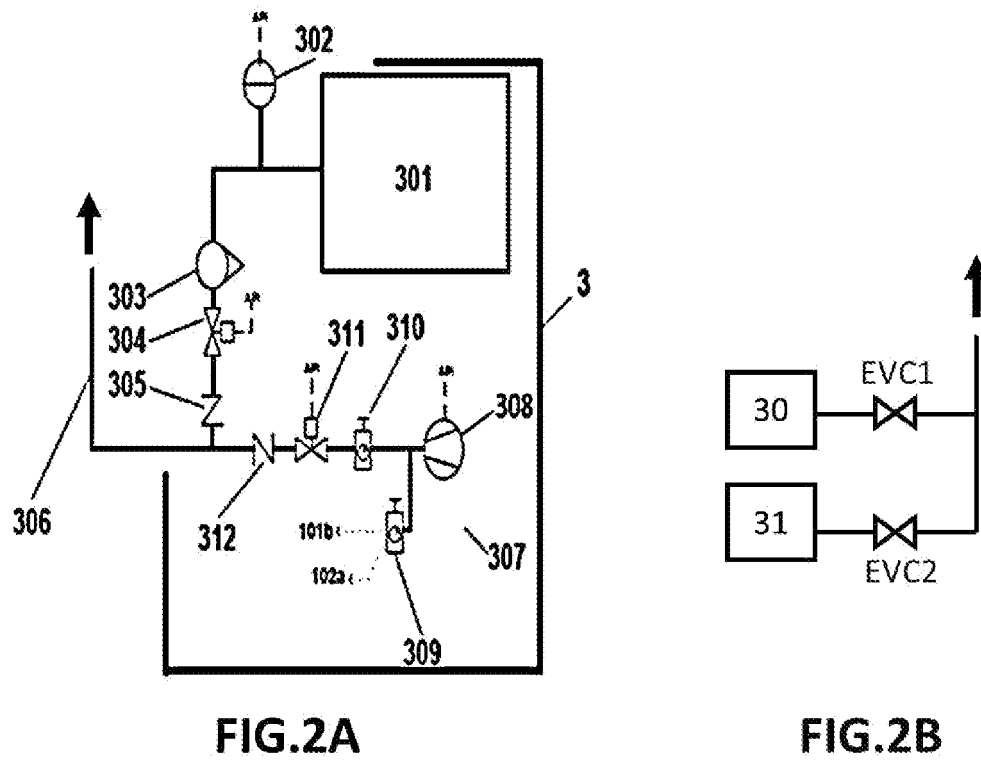
Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en

ce qu'il comprend en outre une étape d'évacuation (S7) du CO₂, configurée pour désaturer en CO₂ la chambre de séchage pour extraire le bois séché.

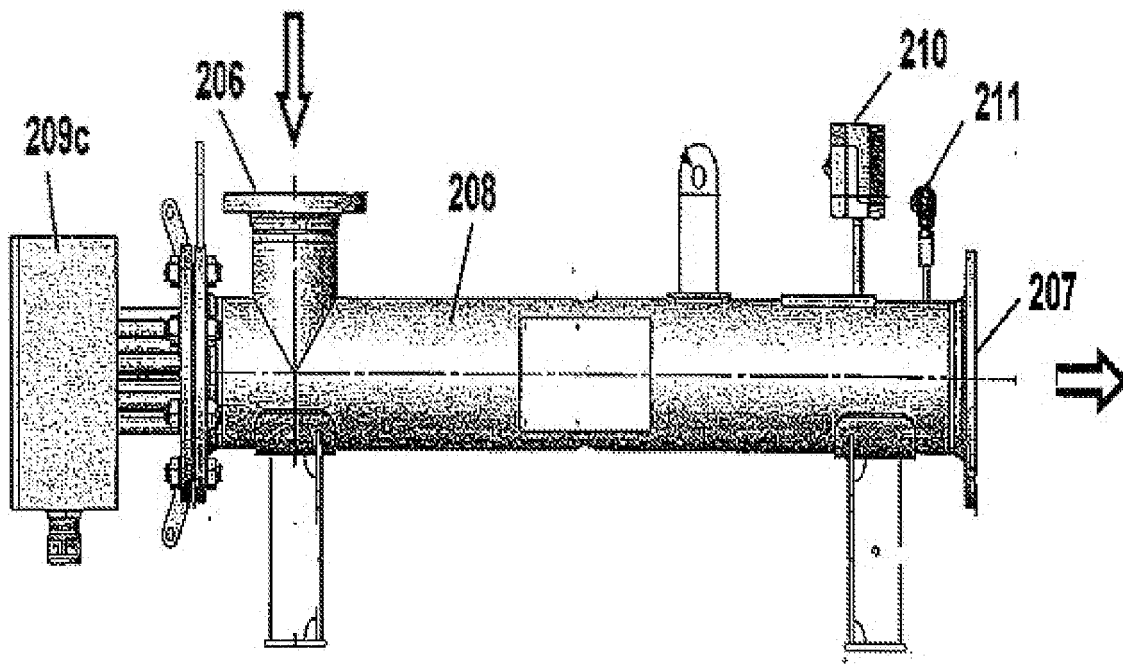
[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]

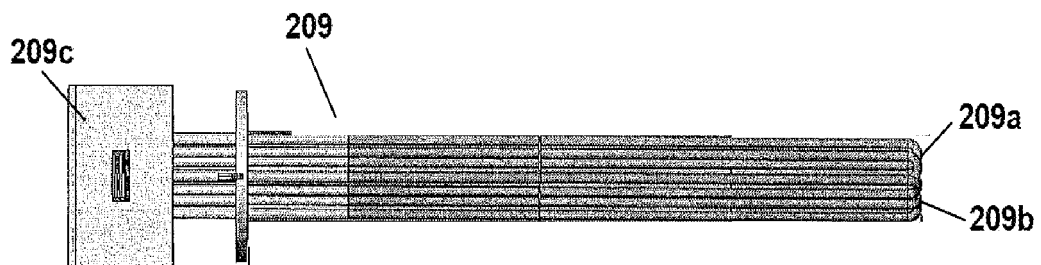


FIG.3

[Fig. 5]

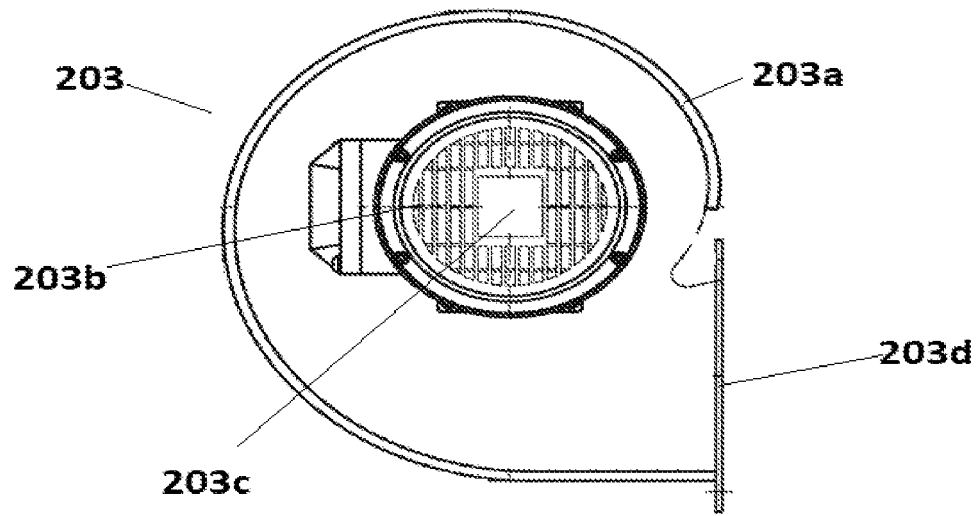
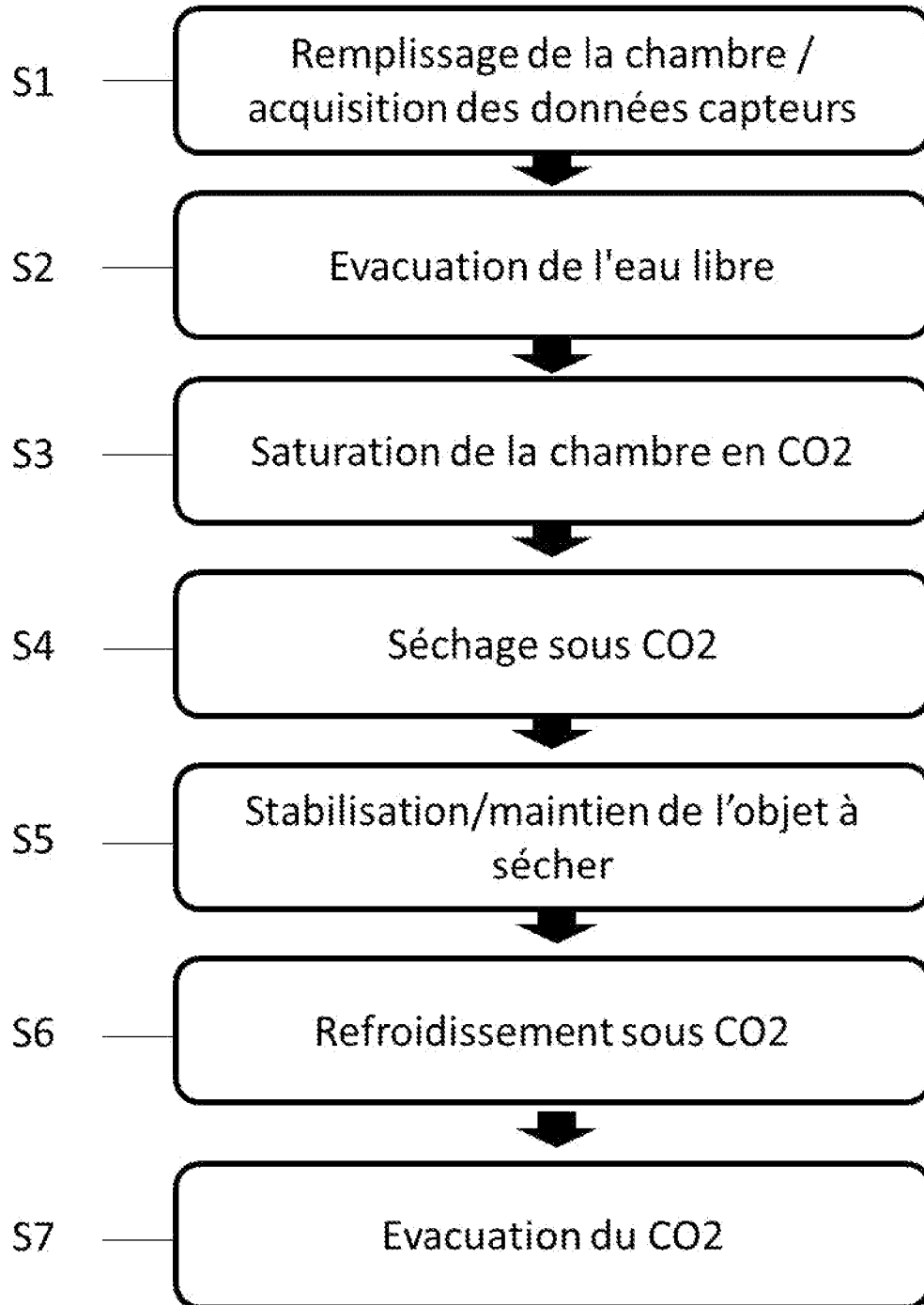
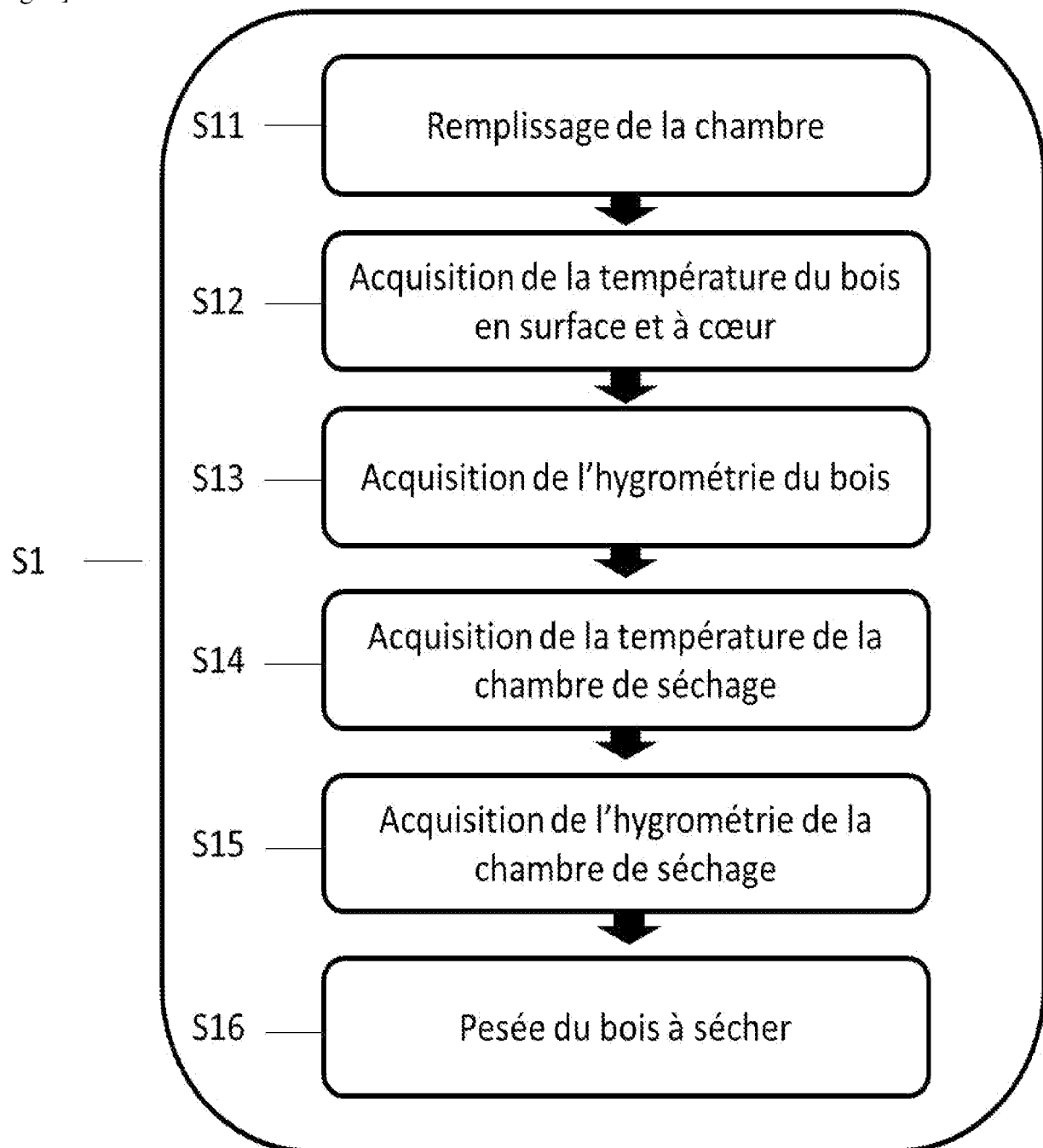


FIG. 4

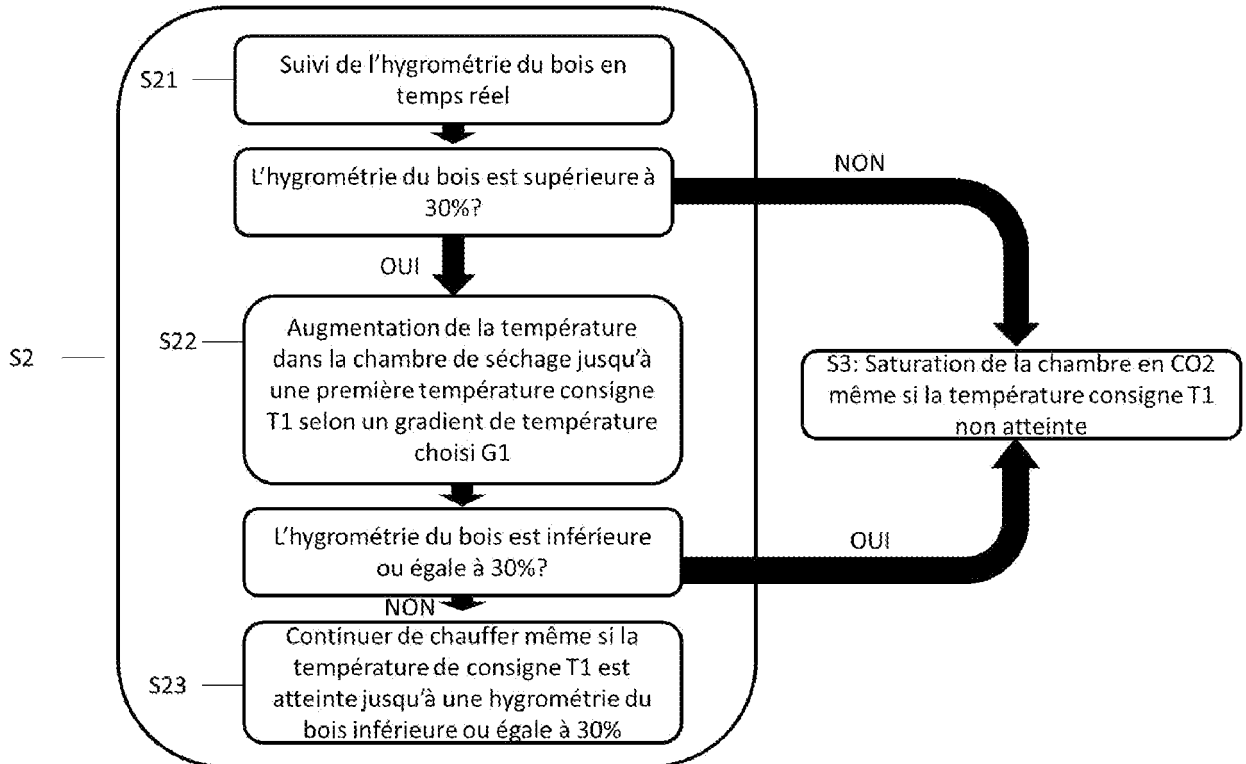
[Fig. 6]



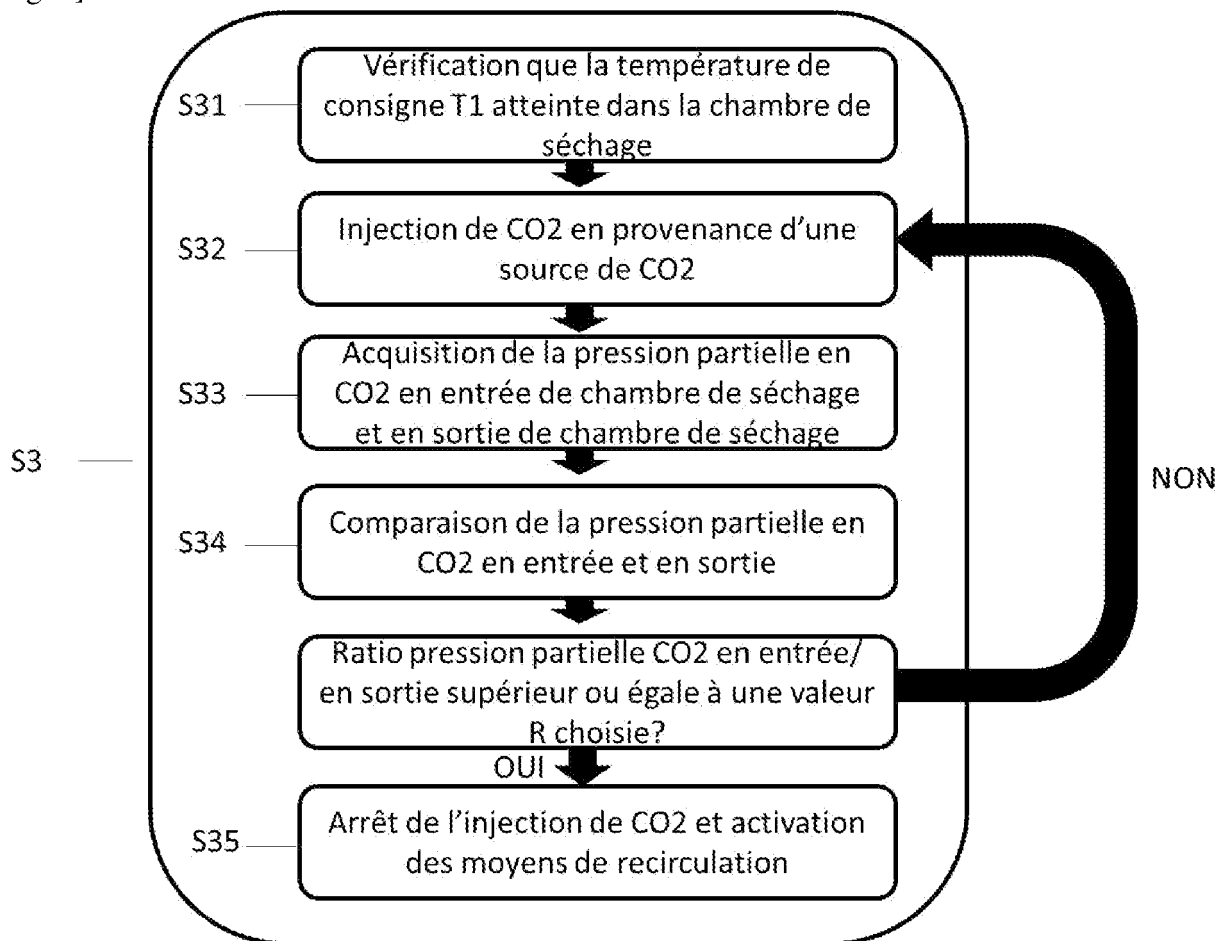
[Fig. 7]



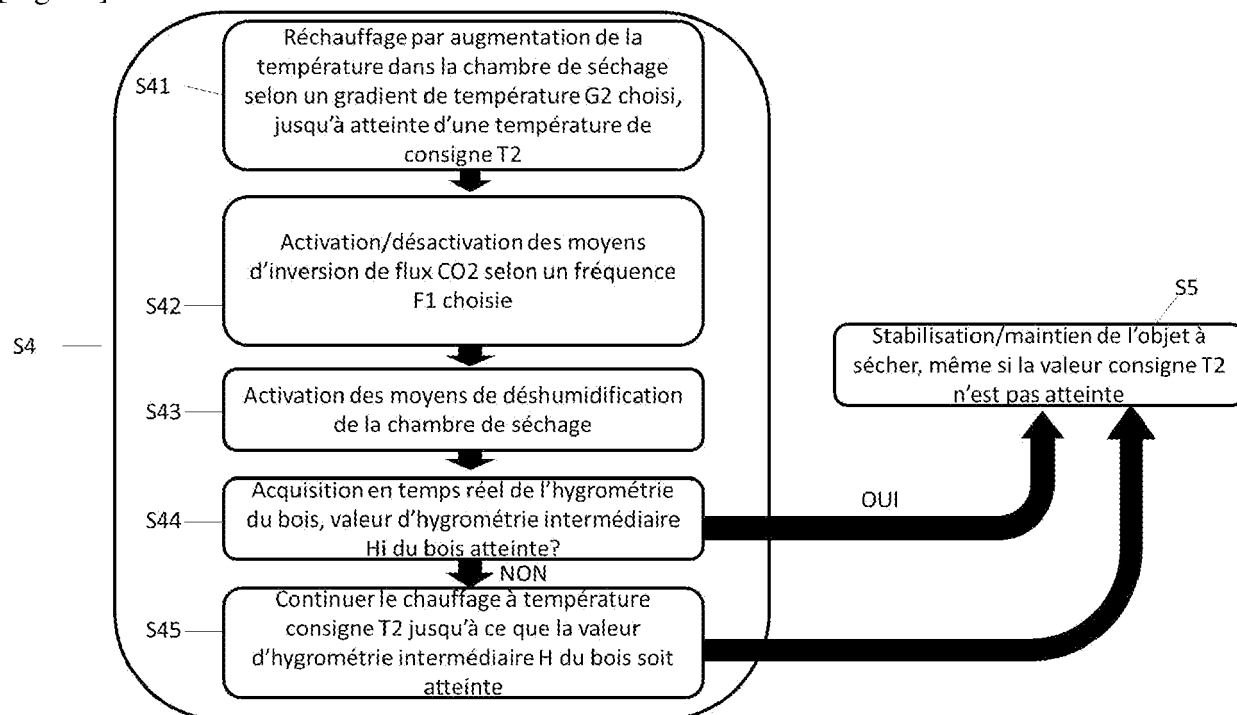
[Fig. 8]



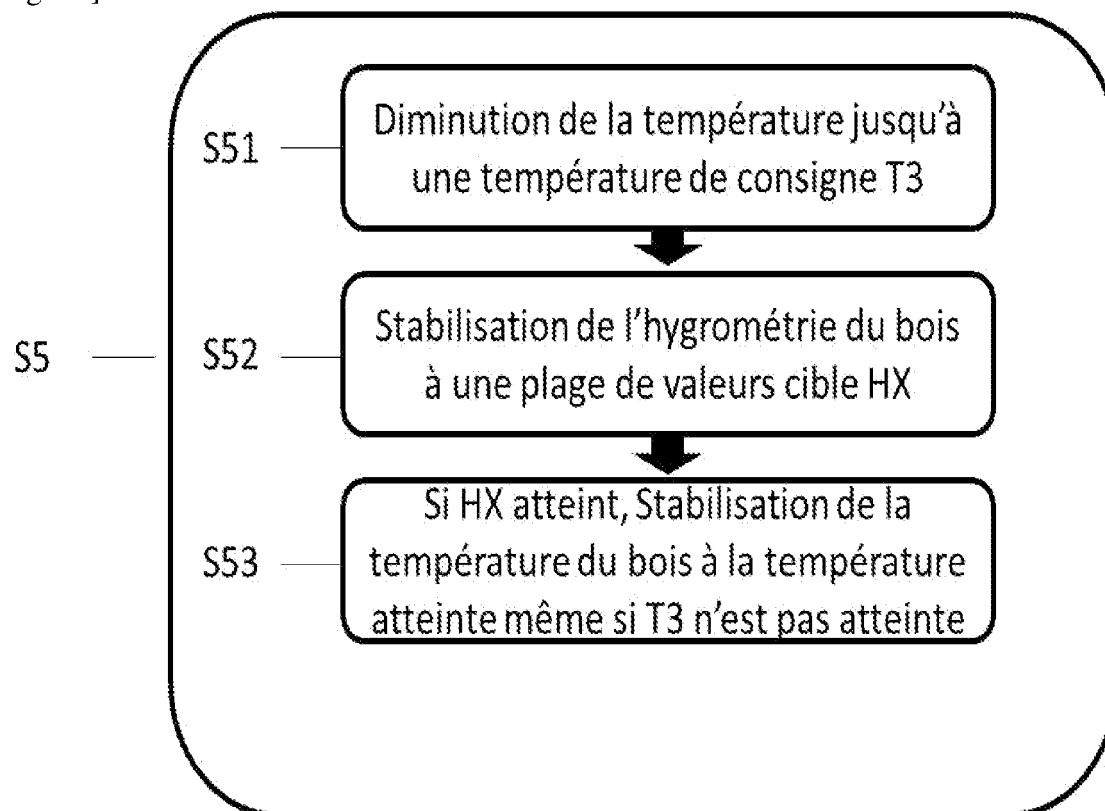
[Fig. 9]



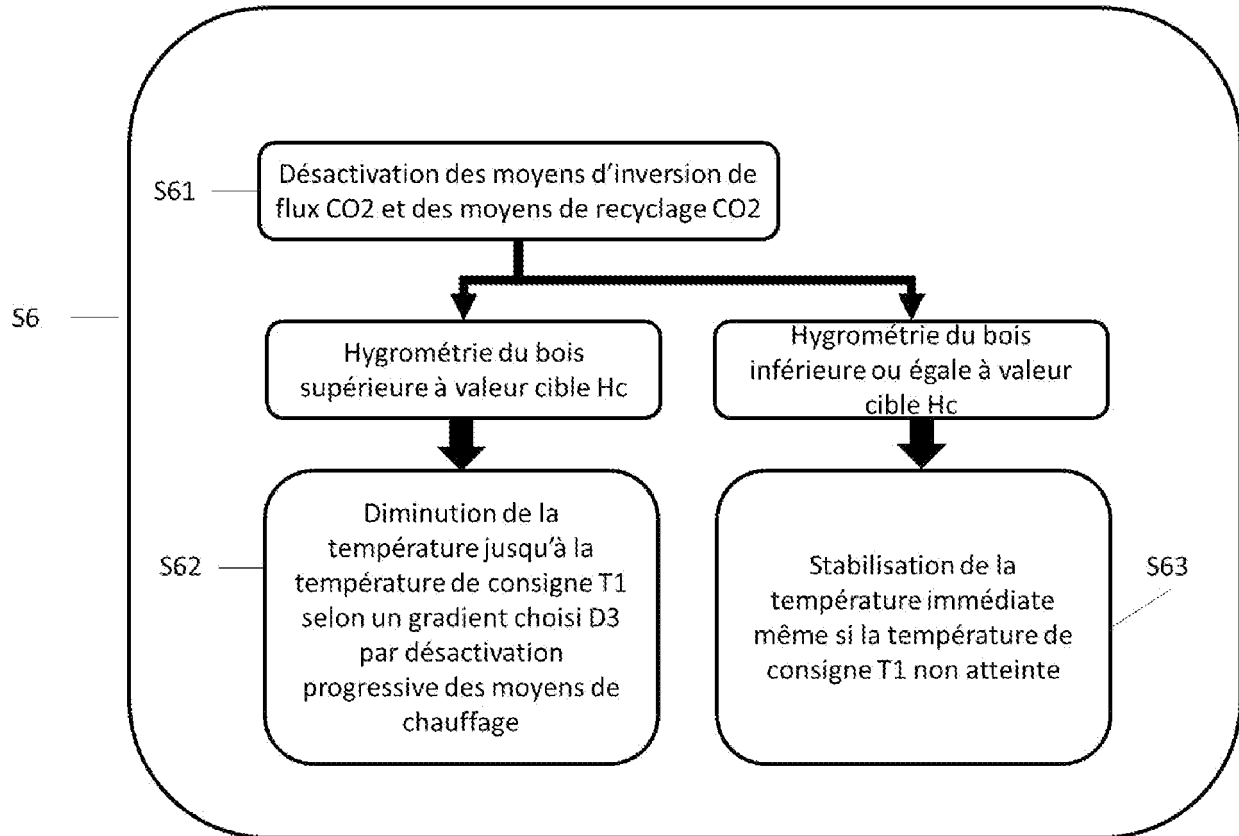
[Fig. 10]



[Fig. 11]



[Fig. 12]



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

☐ Le demandeur a maintenu les revendications.

☒ Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

☐ Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

FR 3 090 835 A1 (WAYS [FR])
26 juin 2020 (2020-06-26)

CN 109 163 547 A (HUZHOU NANXUN SANYA
FURNITURE CO LTD)
8 janvier 2019 (2019-01-08)

CN 107 178 966 A (FUNAN MINGYU WICKER-WOOD
CRAFTS CO LTD)
19 septembre 2017 (2017-09-19)

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

NEANT

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

NEANT