(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 108 388***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **20 02660**

(51) Int Cl[8] : ***F 23 M 11/00*** *(2019.12)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 18.03.20.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 24.09.21 Bulletin 21/38.

(56) **Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire :** *Se reporter à la fin du présent fascicule*

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

◯ **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *CNIM Environnement & Energie Services Société par actions simplifiée à associé unique* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** ASSILO Michel, RICCI Louis, TABARIES Frank, TABARIES Alaric et FOURQUIN Benoît.

(73) **Titulaire(s) :** CNIM Environnement & Energie Services Société par actions simplifiée à associé unique.

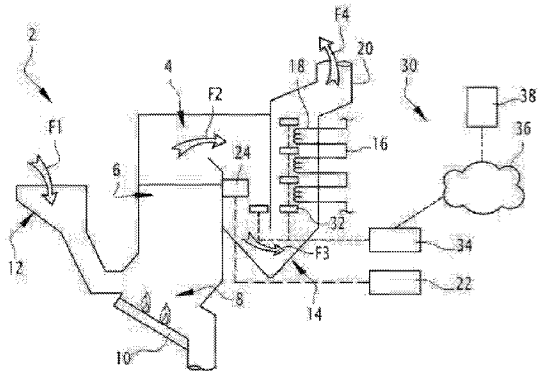
(74) **Mandataire(s) :** Lavoix.

(54) Procédés pour optimiser le fonctionnement d'une chaudière, dispositifs et chaudières correspondantes.

(57) Procédés pour optimiser le fonctionnement d'une chaudière, dispositifs et chaudières correspondantes

Ce procédé comporte des étapes consistant à : - mesurer des valeurs de température de fumées issues d'une combustion dans la chaudière, ces mesures étant réalisées par au moins un capteur de température (32) installé dans la chaudière, ledit au moins un capteur étant associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller ; - construire automatiquement, au moyen d'un système de surveillance (30) associé à la chaudière (4), un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;- identifier automatiquement, par le système de surveillance et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

Figure pour l'abrégé : Figure 1



FR 3 108 388 - A1

Description

Titre de l'invention : Procédés pour optimiser le fonctionnement d'une chaudière, dispositifs et chaudières correspondantes

[0001] La présente invention concerne des procédés pour optimiser le fonctionnement d'une chaudière, ainsi que des dispositifs et des chaudières correspondants.

[0002] L'invention est particulièrement applicable au domaine des chaudières utilisées dans les incinérateurs d'ordures ménagères, bien que cet exemple ne soit pas limitatif et que cette invention puisse s'appliquer sur d'autres types de chaudière utilisant des combustibles encrassants, comme la biomasse.

[0003] Dans des installations de combustion, telles que des incinérateurs industriels, notamment ceux destinés à brûler des combustibles contenant une fraction minérale, tels que les ordures ménagères, il est fréquent que les chaudières s'encrassent ou subissent des dégradations au fil du temps notamment par corrosion, ou incompatibilité des matériaux avec les niveaux de température générés (réfractaires, aciers…). Tout cela aboutit à une diminution :

[0004]
- de la performance énergétique des chaudières, cette performance étant caractérisée par la quantité d'énergie produite par masse de déchet ;
- de leur disponibilité, caractérisée par la masse de déchet traitable dans une durée donnée (par exemple une année) ;
- de la durée de vie de l'installation, caractérisée par le nombre d'année avant remplacement d'équipements principaux.

[0005] Il est par conséquent nécessaire, pour maintenir les performances attendues, de procéder au nettoyage des chaudières, notamment pour nettoyer les surfaces de leurs échangeurs thermiques. Il est aussi nécessaire d'opérer la chaudière dans des plages de fonctionnement où le risque de corrosion est plus faible et/ou où il n'y a pas d'incompatibilité thermique entre la température et les matériaux utilisés.

[0006] Le remplacement d'éléments corrodés ou affectés génère des couts d'arrêt et de maintenance importants et les opérations de nettoyage nécessitent typiquement d'arrêter l'installation, ce qui induit une perte de disponibilité de l'installation et peut, dans certaines circonstances, engendrer un coût économique important pour l'exploitant. De plus, la remise en service de l'installation après un arrêt complet est susceptible d'engendrer des sollicitations mécaniques importantes qui peuvent causer une usure prématurée de certains composants de l'installation.

[0007] En ce qui concerne le nettoyage, certaines méthodes peuvent certes être mises en œuvre lorsque la chaudière est en fonctionnement, sans qu'il ne soit nécessaire d'arrêter complètement l'installation ni, éventuellement, de réduire sa charge.

Cependant, ces méthodes de nettoyage sont généralement discontinues et énergivores, comme le nettoyage par ramonage vapeur, ce qui se traduit par une perte de performance entre deux nettoyages ou lors du nettoyage et donc leur l'emploi répété peut avoir un impact négatif sur l'efficacité et sur les performances de l'installation, voire même causer une usure ou des dégradations mécaniques prématurées de certains composants de l'installation, ce qui induit également un coût économique pour l'exploitant de l'installation.

[0008] Certaines conditions opératoires génèrent également sur certains échangeurs des niveaux de températures favorables aux dépôts d'oxydes ou de sels fondus très corrosifs ou très collants dont les effets sont soit des dommages irréversibles sur les matériaux et surfaces d'échanges, soit l'accroche de dépôts non amovibles par les systèmes de nettoyage chaudière en service. Ces conditions opératoires vont, de ce fait, affecter la disponibilité et/ou la durée de vie de l'installation

[0009] Il existe donc un besoin pour des procédés et des dispositifs permettant de limiter l'encrassement des chaudières et d'éviter les problèmes précités.

[0010] Selon un aspect, l'invention concerne un procédé pour optimiser le fonctionnement d'une installation de combustion comportant une chaudière, dans lequel le procédé comporte des étapes consistant à :

[0011] - mesurer des valeurs de température de fumées issues d'une combustion dans la chaudière, ces mesures étant réalisées par au moins un capteur de température installé dans la chaudière, ledit au moins un capteur étant associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller ;

[0012] - construire automatiquement, au moyen d'un système de surveillance associé à la chaudière, un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;

[0013] - identifier automatiquement, par le système de surveillance et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

[0014] Selon des aspects avantageux mais non obligatoires, un tel procédé peut incorporer une ou plusieurs des caractéristiques suivantes, prises isolément ou suivant toute combinaison techniquement admissible :

[0015] - Le procédé comporte, suite à l'identification de la condition de criticité, une étape consistant à actionner automatiquement un système de nettoyage intégré à la chaudière pour nettoyer la zone d'intérêt sans interrompre le fonctionnement de l'installation de combustion et/ou de commander un système d'injection de réactif et/ou de modifier les conditions opératoires de fonctionnement de la chaudière.

[0016] - Le procédé comporte, suite à l'identification de la condition de criticité, une étape consistant à envoyer une alerte sur une interface homme machine d'un terminal utilisateur couplé au système de surveillance.

[0017] - Une condition de criticité est identifiée si la température ou une valeur représentative de la température reste dans un intervalle prédéfini pendant une durée supérieure à une durée seuil prédéfinie, l'intervalle prédéfini étant défini à partir de ladite valeur limite de température.

[0018] - La valeur limite de température est défini par les points de fusion des cendres, et notamment par les points de fusion des sels, oxydes et éventuellement imbrulés carbonés.

[0019] - Des capteurs de température sont installés immédiatement en amont et en aval de la zone d'intérêt, et dans lequel la valeur représentative de température est une différence entre les valeurs de température mesurées par les capteurs placés en amont et en aval.

[0020] - Les capteurs de température sont des pyromètres.

[0021] - Le système de surveillance est distinct d'un système de contrôle-commande intégré à l'installation de combustion.

[0022] - Ladite limite prédéfinie est déterminée préalablement par apprentissage.

[0023] - La zone d'intérêt est une surface d'un échangeur de chaleur de la chaudière.

[0024] Selon un autre aspect, l'invention concerne une installation de combustion, comportant une chaudière, un dispositif de surveillance et au moins un capteur de température installé dans la chaudière et associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller, ladite installation étant configurée pour mettre en œuvre des étapes consistant à :

[0025] - mesurer des valeurs de température de fumées issues d'une combustion dans la chaudière, ces mesures étant réalisées par ledit au moins un capteur de température ;

[0026] - construire automatiquement, au moyen du système de surveillance, un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;

[0027] - identifier automatiquement, par le système de surveillance et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

[0028] L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages de celle-ci apparaîtront plus clairement à la lumière de la description qui va suivre d'un mode de réalisation d'un procédé de fonctionnement d'une chaudière, donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

[0029] [fig.1] la figure 1 est une représentation schématique d'une installation de combustion comportant une chaudière et un dispositif d'analyse selon des modes de mise en œuvre de l'invention ;

[0030] [fig.2] la figure 2 est un schéma synoptique d'une portion de la chaudière de la figure 1, à laquelle sont associés des capteurs de température ;

[0031] [fig.3] la figure 3 est un graphique montrant un historique de valeurs de température mesurées par un capteur de température ;

[0032] [fig.4] la figure 4 est un graphique montrant un historique d'une valeur composite

calculée à partir de valeurs de température mesurées par un capteur de température ;

[0033] [fig.5] la figure 5 est un diagramme montrant la mise en œuvre d'un procédé de pilotage de l'installation de la figure 1 selon un mode de réalisation ;

[0034] [fig.6] la figure 6 est un diagramme montrant la mise en œuvre d'un procédé de définition de limites générant l'occurrence d'une condition de criticité au cours de la mise en œuvre du procédé de la figure 1.

[0035] La figure 1 représente une installation 2 conçue pour brûler des combustibles, telle qu'un incinérateur d'ordures ménagères.

[0036] Cet exemple n'est pas limitatif et l'invention est utilisable à d'autres types d'installations, notamment pour toute installation industrielle comportant une chaudière destinée à brûler un combustible.

[0037] Dans des modes de réalisation, l'installation 2 comporte une chaudière 4 comprenant un four 6 incluant une chambre de combustion 8 équipée de brûleurs 10 et alimentée par un conduit 12 d'entrée de combustible.

[0038] Par exemple, les combustibles brûlés sont des déchets, notamment des ordures ménagères.

[0039] La structure de la chambre de combustion 8 est conventionnelle et n'est pas décrite plus en détail. Lors de la combustion des matériaux combustibles, des fumées s'échappent de la chambre 8 et circulent en direction d'échangeurs de chaleur décrits ci-après et disposés en aval de la chambre 8.

[0040] Comme illustré sur la figure 1, la partie de la chaudière 4 située en aval de la chambre de combustion comporte une voûte qui surplombe le four 6, une première partie coudée par rapport à la voûte, une partie basse 14 (ou pied), puis une deuxième partie qui remonte parallèlement à la première partie.

[0041] La chaudière 6 comporte aussi un circuit 16 d'échange thermique comprenant un ou plusieurs échangeurs de chaleur 18 installés à l'intérieur de la chaudière, de préférence dans la deuxième partie, de manière à être en contact avec les fumées.

[0042] La deuxième partie se termine par une ouverture de sortie 20 par laquelle les fumées sortent de la chaudière 4.

[0043] En aval de la sortie 20 peuvent être installés des systèmes de filtrage et de dépollution des fumées, permettant de dépolluer les fumées avant leur rejet à l'extérieur de l'installation 2 par une cheminée.

[0044] La forme particulière de la partie de la chaudière 4 située en aval de la chambre 8 permet de canaliser les fumées vers les échangeurs 18 puis en direction de la sortie 20.

[0045] Au sens de la présente description, les termes « amont » et « aval » sont par exemple définis en fonction du sens de circulation des fumées issues de la combustion lors d'un fonctionnement normal de l'installation 2.

[0046] Sur la figure 1, la flèche F1 représente le flux de combustible fourni à la chaudière 4.

Les flèches F2, F3 et F4 illustrent successivement le cheminement des fumées depuis la chambre 8 vers la sortie 20.

[0047] De façon connue, l'installation 2 comporte un système de contrôle-commande 22, par exemple réalisé par des moyens électroniques et/ou électromécaniques, qui permet à l'exploitant de piloter l'installation 2.

[0048] Par exemple, le système de contrôle-commande 22 permet à l'exploitant d'actionner à distance des éléments de l'installation 2 tels que des pompes, des vannes, des injecteurs, des brûleurs, des ventilateurs, des convoyeurs de combustible, et ainsi de suite, en fonction de conditions de fonctionnement de l'installation 2.

[0049] De préférence, l'installation 2 comporte également un ou plusieurs systèmes auxiliaires 24 de nettoyage, installés dans la chaudière 4, et qui permettent de nettoyer localement la chaudière 4 pendant que l'installation 2 est en fonctionnement. En d'autres termes, le ou les systèmes auxiliaires 24 de nettoyage sont intégrés à la chaudière 4.

[0050] Par exemple, les systèmes de nettoyage 24 peuvent être configurés pour éliminer des résidus (tels que des cendres contenant des mélanges de sels fondus et d'oxydes) déposés sur des surfaces internes à la chaudière. Ces systèmes , peuvent être un ou plusieurs des systèmes suivants : des systèmes de ramonage par vapeur ou par air comprimé, ou des douches injectant de l'eau pour créer localement un choc thermique, ou des marteaux pneumatiques configurés pour générer une onde de choc visant à décrocher mécaniquement des résidus déposés sur des surfaces, ou des systèmes de grenaillage configurés pour injecter des billes métalliques aptes à décoller par micro-choc des résidus déposés en surface, ou des systèmes permettant d'injecter et de faire exploser des poches de gaz pour décoller localement des résidus déposés sur des surfaces, ou toute combinaison possible de ces systèmes.

[0051] Les systèmes 24 peuvent aussi inclure un système d'injection d'un réactif visant à modifier à la hausse ou à la baisse les températures de fusion des mélanges de sels et d'oxydes contenus dans les cendres pour empêcher le dépôt et la cristallisation de ces résidus corrosifs ou collants dans des zones critiques de la chaudière. Un exemple de tels systèmes d'injection est décrit dans la demande de brevet FR-3053445-A1.

[0052] Par exemple, le ou les systèmes de nettoyage 24 sont pilotés par le système de contrôle-commande 22.

[0053] Conformément à des modes de réalisation de l'invention, l'installation 2 comporte également un système de diagnostic 30 comprenant un ou plusieurs capteurs de température 32 et un dispositif électronique de commande 34 apte à utiliser une liaison de télécommunications 36 pour échanger des données avec un serveur informatique distant 38.

[0054] De préférence, le système de diagnostic 30 est distinct du système de contrôle

commande 22.

[0055] Chacun des capteurs de température 32 est configuré pour mesurer, à un emplacement prédéterminé de l'intérieur de la chaudière 4, la température des fumées issues de la combustion.

[0056] Les capteurs de température 32 sont préférentiellement placés à des emplacements particuliers, notamment associés à des surfaces susceptibles d'être encrassées, comme les surfaces des échangeurs 18. Leur positon peut être basée sur l'analyse thermique de la chaudière, des retours d'expériences sur les zones critiques et/ou par des calculs numériques du profil thermique de la chaudière

[0057] De préférence, les capteurs de température 32 sont des pyromètres, tels que des pyromètres à infrarouge, ou des pyromètres monochromatiques ou bi-chromatiques.

[0058] Dans l'exemple de la figure 1, cinq capteurs 32 sont illustrés: un situé dans la première partie, et les quatre autres situés dans la deuxième partie, en étant placés de sorte à ce que chaque paire de capteurs encadre l'un des trois échangeurs 18.

[0059] On comprend toutefois que cet exemple n'est donné qu'à titre d'illustration et qu'en pratique, de nombreuses autres configurations peuvent être retenues.

[0060] Selon des exemples avantageux, les capteurs 32 sont placés de manière à pouvoir mesurer la température immédiatement en amont et en aval de zones d'intérêt, de manière à pouvoir ensuite calculer une différence de température associée à une telle zone d'intérêt, ces zones d'intérêt pouvant être des surfaces susceptibles de s'encrasser, telles que les surfaces d'échange thermique des échangeurs 18.

[0061] Selon des exemples, le dispositif de commande 34 comporte un processeur (tel qu'un microprocesseur ou un microcontrôleur) et une mémoire informatique formant un support d'enregistrement lisible par ordinateur.

[0062] Dans un mode de réalisation, le procédé de l'invention est mis en œuvre par des modules d'instructions de code exécutable enregistrées dans la mémoire. La mémoire est, par exemple, un disque optique, un disque magnéto-optique, une mémoire ROM, une mémoire RAM, une mémoire non volatile (de technologie EPROM, ou EEPROM, ou Flash, ou NVRAM, ou équivalent), ou une carte magnétique ou optique ou toute autre technologie ou combinaison de technologies appropriées.

[0063] En variante, ledit procédé est mis en œuvre par un composant logique programmable tel qu'un FPGA (Field Programmable Gate Array), ou encore par un circuit intégré spécialisé tel qu'un ASIC (Application Specific Integrated Circuit).

[0064] En pratique, le dispositif de commande 34 est en communication avec les capteurs 32, par exemple au moyen de liaisons filaires, ou d'une liaison sans fil, telle qu'une liaison radio de courte portée. Le dispositif de communication 34 comporte par exemple une interface d'acquisition de données.

[0065] Selon des exemples, la liaison de télécommunication 36 est une liaison radio, par

exemple de type WiFi, ou GSM, ou LTE, ou analogue, ou une liaison utilisant un réseau local (LAN) ou un réseau internet.

[0066] Le serveur distant 38 peut être un serveur informatique comportant un processeur et une ou plusieurs mémoires. Le processeur peut par exemple être programmé pour mettre en œuvre des traitement prédéfinis sur des données de mesure (mesurées par les capteurs 32) reçues depuis le dispositif de commande 34 et/ou pour stocker des données de mesure reçues depuis le dispositif de commande 34.

[0067] Le système 30 peut en outre comporter un terminal client, tel qu'un ordinateur ou un dispositif de communication mobile, par exemple un téléphone portable ou une tablette, ce terminal client comportant un écran apte à afficher des informations au moyen d'une interface homme machine. Le terminal client peut être en communication avec le serveur distant 38 et/ou avec le dispositif de commande 32.

[0068] De façon générale, le système 30 et configuré pour mettre en œuvre des étapes consistant à :

[0069] - mesurer, de façon répétée ou continue, des valeurs de température de fumées issues de la combustion dans la chaudière 4, ces mesures étant réalisées par au moins un des capteurs de température 32 installé dans la chaudière 4, ledit au moins un capteur étant associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller ;

[0070] - construire automatiquement, au moyen du système de surveillance 30, un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;

[0071] - identifier automatiquement, par le système de surveillance 30 et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

[0072] Dans ce qui suit, par « condition de criticité », ou « condition critique », on désigne une condition critique susceptible d'endommager la zone d'intérêt, telle qu'une condition propice à l'encrassement ou à la corrosion de la zone d'intérêt.

[0073] Par exemple, une telle condition est atteinte lorsque la température qui règne au niveau de la surface, ou en un emplacement de la chaudière, dépasse une limite prédéfinie de température, ce dépassement étant susceptible de conduire à l'endommagement de la zone d'intérêt.

[0074] Selon des exemples, suite à l'identification de la condition de criticité, le système 30 peut actionner automatiquement le système de nettoyage 24 pour nettoyer la zone d'intérêt sans interrompre le fonctionnement de l'installation 2.

[0075] L'actionnement du système de nettoyage 24 peut être piloté par le système 30 par l'intermédiaire du système de contrôle commande 22.

[0076] De préférence, l'intensité du nettoyage opéré par le système de nettoyage 24 (telle que la quantité de liquide ou de matière injectée, ou l'intensité d'une action mécanique) peut être dosée automatiquement par le système 30, en fonction du degré

d'encrassement identifié.

[0077] En variante, suite à l'identification de la condition de criticité, le système 30 peut envoyer une alerte sur une interface homme machine du terminal utilisateur, par exemple pour qu'un opérateur actionne manuellement le système de nettoyage 24.

[0078] Dans des modes de réalisation, une condition de criticité est identifiée si la température ou une valeur représentative de la température reste dans un intervalle prédéfini, aussi nommé « zone critique », pendant une durée supérieure à une durée seuil prédéfinie, l'intervalle prédéfini étant défini à partir de ladite valeur limite de température. Une ou plusieurs valeurs limite de température peuvent ainsi être définies pour chaque zone critique. La ou les valeurs limite de température peuvent être enregistrées en mémoire du dispositif 32 et/ou du serveur 38.

[0079] De façon générale, les étapes visant à construire l'historique et à identifier la condition de criticité peuvent être implémentées par le dispositif de commande 34 et/ou par le serveur 38.

[0080] En pratique, la limite de température prédéfinie peut être déterminée préalablement par un processus apprentissage, ou par calibration. Un tel processus consiste généralement à connaitre une ou plusieurs des informations suivantes :

[0081]
- les températures des gaz, mesurées en continu,
- les températures de peau des échangeurs, connues par calcul et
- les propriétés physico-chimiques des cendres déposées sur les surfaces (les zones d'intérêt à surveiller) pour identifier notamment les températures de fusion des mélanges de sels et d'oxydes contenus dans les cendres,

[0082] de manière à établir un lien entre la nature et la quantité de la matière déposée sur la surface, la nature du combustible (ordures, biomasse,….) et la température effective des fumées circulant dans ladite zone.

[0083] Ces températures de fusion et donc la ou les valeurs de température limites peuvent être typiquement déterminées en laboratoire par des analyses thermiques différentielles et/ou par analyses thermogravimétiques réalisées sur la base d'échantillons de cendres et dépôts représentatifs prélevés sur l'installation.

[0084] La ou les valeurs limites de température peuvent être définies avantageusement pour éviter d'opérer certains échangeurs à des températures proches des températures critiques de fusion des cendres.

[0085] De préférence, ces échangeurs sont alors opérés :

[0086]
- soit en les opérant volontairement à des températures supérieures ou inférieures, grâce aux actions de nettoyage sur les échangeurs amont, ou en adaptant la nature et/ou les fréquences de nettoyages du dispositif 24 dudit échangeur, ou en modifiant les conditions opératoires de la chaudière (charge et excès d'air de combustion) qui vont modifier le profil thermique dans la

chaudière ;

- soit, quand il n'est pas possible de modifier les températures de fonctionnement des échangeurs, d'empêcher le dépôt et la cristallisation de ces résidus en modifiant leurs températures de fusions des cendres (sels fondus et/ou oxydes), au moyen d'un système d'injection de réactif.

[0087] Ce type d'analyse, en plus de donner des informations sur les points de fusions des cendres (sels et oxydes), peut également donner des informations sur la formation des imbrulés et leur nature. En effet, cela permet de déterminer s'il s'agit d'imbrulés provenant d'imbrulés carbonés, notamment de chaines carbonées longues formés à basse température de décomposition thermique, ou d'imbrulés provenant de carbone pyrolyse formés à plus haute température de décomposition thermique.

[0088] Cette analyse peut donc, couplée aux températures relevées en zone de combustion, également donner des limites opératoires concernant la combustion et notamment les ratios d'air recommandés pour une combustion optimale.

[0089] Dans des modes de réalisation, lorsque des capteurs de température 32 sont installés immédiatement en amont et en aval de la zone d'intérêt, la valeur représentative de température peut être une différence entre les valeurs de température mesurées par les capteurs placés en amont et en aval.

[0090] Selon des variantes, la valeur représentative de température peut être une grandeur statistique calculée à partir de l'historique des valeurs de températures mesurées, tel qu'une moyenne, notamment une moyenne mobile, ou une médiane, ou une distribution de température (par exemple, un ou plusieurs pourcentages d'une valeur de maximum ou de minimum, ou une valeur de quartile ou de décile), ou toute grandeur appropriée en fonction de la nature de la surface à surveiller.

[0091] Par exemple, un historique de la valeur représentative de température peut être construit et mémorisé en fonction des valeurs de température mesurées.

[0092] L'historique peut être construit en temps réel, par exemple sur plusieurs heures ou jours, voire plus longtemps, au fur et à mesure de la réception des valeurs de température mesurées par les capteurs 32.

[0093] Grâce à l'invention, il est possible de détecter un encrassement anormal de certaines zones à l'intérieur de la chaudière, notamment des surfaces d'échangeurs de chaleur, et ainsi d'intervenir localement pour nettoyer la ou les zones concernées avant qu'elles ne s'encrassent au point d'altérer le fonctionnement de l'installation 2 et de devoir opérer un nettoyage susceptible de réduire les performances de l'installation.

[0094] Avantageusement, cela permet d'actionner le système de nettoyage 24 de manière à ne pas nettoyer plus que nécessaire, notamment pour ne pas nettoyer des surfaces qui n'ont pas besoin de l'être.

[0095] Dans un autre exemple, l'invention permet d'optimiser le mode de fonctionnement

du système de nettoyage 24 et/ou les conditions opératoires de la chaudière de manière à ajuster les températures opératoires des échangeurs pour éviter que ceux-ci ne fonctionnent durablement dans une zone critique où l'accumulation de cendres et/ou le risque accru de corrosion est avéré par les analyses effectuées. Il peut aussi commander le dispositif d'injection d'un réactif modifiant les températures critiques comme indiqué précédemment.

[0096] Par exemple, si le système de nettoyage 24 comporte des éléments actionnables indépendamment les uns des autres pour agir indépendamment sur différentes zones de la chaudière, alors seuls le ou les éléments qui ont un effet sur la surface à nettoyer sont actionnés, les autres éléments n'étant pas actionnés.

[0097] Au final, le système 30 permet une surveillance et un nettoyage préventif plus précis et plus personnalisable que lorsque seuls les systèmes de contrôle-commande propres à l'installation sont utilisés.

[0098] Avantageusement, d'autres anomalies peuvent être détectées, tel qu'un dysfonctionnement d'un capteur 32, ou une erreur de mesure. Des actions correctrices appropriées peuvent alors être prises.

[0099] Selon des modes de réalisation, le système de surveillance 30 est distinct du système de contrôle-commande intégré à l'installation 2.

[0100] En pratique, le système de contrôle-commande 22 est généralement incorporé à l'installation 2 et ne peut pas toujours faire l'objet de modifications ou d'altérations de la part de l'exploitant, afin de garantir son intégrité et sa fiabilité.

[0101] Utiliser un système 30 distinct pour collecter des données de température permet de s'affranchir de limitations techniques et règlementaires qui sont imposées au système de contrôle-commande 22.

[0102] La figure 2 représente un exemple d'un tableau synoptique 40 montrant des valeurs de température mesurées par des capteurs de température 32 associés à une portion 41 de la chaudière 4.

[0103] Les indicateurs associés aux capteurs de température 32 et affichant les valeurs mesurées correspondantes portent ici les références 42-1, 42-2, 42-3, 42-4, 42-5, 42-6 et 42-7.

[0104] En outre, peuvent être affichées les différences de température entre deux capteurs de température 32 consécutifs (plus proches voisins l'un de l'autre). Les indicateurs affichant ces différences de température portent ici les références 44-1, 44-2, 44-3, 44-4, 44-5 et 44-6.

[0105] Un tel tableau synoptique peut être affiché sur l'écran ou sur l'interface homme-machine du terminal client.

[0106] La figure 3 représente un graphique 50 illustrant une portion d'un d'historique de valeurs de température mesurées par un capteur 32 au cours du temps, mettant en

évidence des fluctuations de la température mesurée au cours du temps.

[0107] Sur ce graphique 50, donné uniquement à des fins d'illustration, les températures sont indiquées sur l'axe des ordonnées et exprimées en degrés Celsius, et l'axe des abscisses indique le temps, exprimé par tranches de douze heures.

[0108] La courbe centrale 52 correspond à une valeur moyenne (moyenne mobile) des températures au cours du temps. Les courbes supérieure et inférieure correspondent, respectivement, à la valeur minimale et à la valeur maximale de température.

[0109] Le seuil 54 correspond à une limite de température prédéfinie. Dans cet exemple, on considère qu'il y a une situation anormale pour le capteur 32 dont sont issues les mesures lorsque la température moyenne (courbe 52) reste inférieure à la valeur limite 54 pendant une durée supérieure à un seuil de durée prédéfini (par exemple, une heure, cet exemple n'étant pas limitatif).

[0110] La figure 4 représente un graphique 60 illustrant une portion d'un d'historique de valeurs d'une différence de température entre les valeurs des températures mesurées par deux capteurs 32 au cours du temps.

[0111] Sur ce graphique 50, donné uniquement à des fins d'illustration, les températures sont indiquées sur l'axe des ordonnées et exprimées en degrés Celsius, et l'axe des abscisses indique le temps, exprimé en unités arbitraires (par exemple en journées).

[0112] La courbe centrale 62 correspond à la différence des températures au cours du temps. La courbe 64 correspond à une valeur moyenne de la différence des températures au cours du temps.

[0113] Le seuil 66 correspond à une limite de température prédéfinie. Dans cet exemple, on considère qu'il y a une situation anormale pour la zone associée aux capteurs 32 à partir desquels la différence de température est calculée lorsque la différence moyenne de température (courbe 64) reste inférieure à la valeur limite 66 pendant une durée supérieure à un seuil de durée prédéfini (par exemple, une heure, cet exemple n'étant pas limitatif).

[0114] La figure 5 représente un exemple de mise en œuvre d'un procédé de fonctionnement du système 30.

[0115] Le procédé débute à l'étape 100, par exemple avec la mise en service du système 30 après que l'installation 2 soit démarrée.

[0116] Lors de l'étape 102, les capteurs 32 mesurent la température des fumées, par exemple à intervalles réguliers et/ou de manière continue, avec une période de mesure prédéfinie.

[0117] Lors de l'étape 104, les données mesurées par les capteurs 32 sont collectées par l'unité 34 et, par exemple, sont envoyés automatiquement vers le serveur 38 par l'intermédiaire de la liaison 36.

[0118] Lors de l'étape 106, le serveur 38 calcule automatiquement l'historique des tem-

pératures, pour chaque capteur, et/ou calcule une ou plusieurs grandeurs statistiques représentatives des températures collectées.

[0119] Les étapes 102, 104 et 106 peuvent être répétées au cours du temps et réalisées en continu au cours du déroulement du procédé, par exemple tant que l'installation 2 est en marche.

[0120] Lors de l'étape 108, le système de surveillance identifie automatiquement, en fonction de l'historique des valeurs de température et/ou de l'historique de la ou des grandeurs statistiques calculées et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition critique de la zone d'intérêt.

[0121] La figure 6 illustre des étapes 200, 201 et 202 qui s'effectuent en parallèle des étapes 100 à 108 et qui consistent à définir, ou mettre à jour, les limites prédéfinies générant l'occurrence d'une condition critique nécessaire au déclenchement de l'étape 110.

[0122] L'étape 200 consiste à définir les limites en température imposées par la conception de la chaudière et des échangeurs (limites des caractéristiques mécaniques et thermique des matériaux en fonction des températures opératoires, identification des zones à risque de corrosion en fonction des températures des gaz).

[0123] L'étape 201 consiste à restreindre ces limites en températures sur la base de l'expérience opératoire de la chaudière et aux historiques réalisés.

[0124] L'étape 202 consiste à adapter ces limites en températures en fonction des analyses effectuées sur les propriétés physico-chimiques des cendres effectivement prélevées sur site et notamment leurs points de fusion. Ces limites peuvent être revue par des analyses périodiques des dépôts par exemple lors des arrêts annuels ou biannuels des unités.

[0125] Selon des exemples, les étapes 200, 201 et 202 sont mises en œuvre par le dispositif de commande 34 et/ou par le serveur distant 38. Les valeurs des limites en température ainsi définies sont stockées en mémoire du dispositif de commande 34 et/ou en mémoire du serveur distant 38.

[0126] Lors de l'étape 110, si une condition critique a été identifiée lors de l'étape 108, alors le système 30 actionne automatiquement le système de nettoyage 24 (y compris potentiellement le système d'injection de réactif) et/ou envoie une alerte circonstanciée sur une interface homme machine du terminal utilisateur, par exemple en utilisant la liaison 36. Cette alerte peut être soit être gérée par l'exploitant lui-même si celui-ci en a la compétence ou partagée avec un prestataire expert dans le domaine de la corrosion et l'encrassement des chaudières pour établir un plan d'action dans des délais compatibles avec les vitesses du phénomène constaté. L'alerte peut également proposer une modification des conditions opératoires de la chaudière.

[0127] Selon des modes de réalisation, si une condition critique a été identifiée lors de l'étape 108, alors le système 30 peut commander le système d'injection de réactif et/ou

modifier les conditions opératoires de la chaudière, ceci en parallèle ou à la place de l'actionnement du système de nettoyage 24.

[0128] De manière générale, les actions du système 24 et/ou les alertes génères sont programmées préalablement dans l'étape 110 pour optimiser le fonctionnement de la chaudière hors des zones critiques et/ou son nettoyage et ainsi définir un optimal d'efficacité, de capacité et de durée de vie de la chaudière

[0129] Ce procédé donné à titre d'exemple n'est pas limitatif et d'autres étapes peuvent être mises en œuvre. Certaines des étapes décrites peuvent être réalisées dans un ordre différent, voire être modifiées, ou même être omises.

[0130] Toute caractéristique de l'un des modes de réalisation ou variante décrite ci-dessus, peut être mise en œuvre dans les autres modes de réalisation et variantes décrits.

Revendications

[Revendication 1] Procédé pour optimiser le fonctionnement d'une installation de combustion (2) comportant une chaudière (4), dans lequel le procédé comporte des étapes consistant à :
- mesurer (102) des valeurs de température de fumées issues d'une combustion dans la chaudière, ces mesures étant réalisées par au moins un capteur de température (32) installé dans la chaudière, ledit au moins un capteur étant associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller ;
- construire (104) automatiquement, au moyen d'un système de surveillance (30) associé à la chaudière (4), un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;
- identifier (108) automatiquement, par le système de surveillance et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

[Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le procédé comporte, suite à l'identification de la condition de criticité, une étape (110) consistant à actionner automatiquement un système de nettoyage (24) intégré à la chaudière pour nettoyer la zone d'intérêt sans interrompre le fonctionnement de l'installation de combustion et/ou de commander un système d'injection de réactif (24) et/ou de modifier les conditions opératoires de la chaudière.

[Revendication 3] Procédé selon la revendication 1 ou la revendication 2, dans lequel le procédé comporte, suite à l'identification de la condition de criticité, une étape consistant à envoyer une alerte (110) sur une interface homme machine d'un terminal utilisateur couplé au système de surveillance.

[Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, une condition de criticité est identifiée (108) si la température ou une valeur représentative de la température reste dans un intervalle prédéfini pendant une durée supérieure à une durée seuil prédéfinie, l'intervalle prédéfini étant défini à partir de ladite valeur limite de température.

[Revendication 5] Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la valeur limite de température est défini par les points de fusion des cendres (202), et notamment par les points de fusion des sels, oxydes et éventuellement imbrulés carbonés.

[Revendication 6] Procédé selon la revendication 4, dans lequel des capteurs de tem-

pérature (32) sont installés immédiatement en amont et en aval de la zone d'intérêt, et dans lequel la valeur représentative de température est une différence entre les valeurs de température mesurées par les capteurs placés en amont et en aval.

[Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel les capteurs de température (32) sont des pyromètres.

[Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le système de surveillance (30) est distinct d'un système de contrôle-commande (22) intégré à l'installation de combustion.

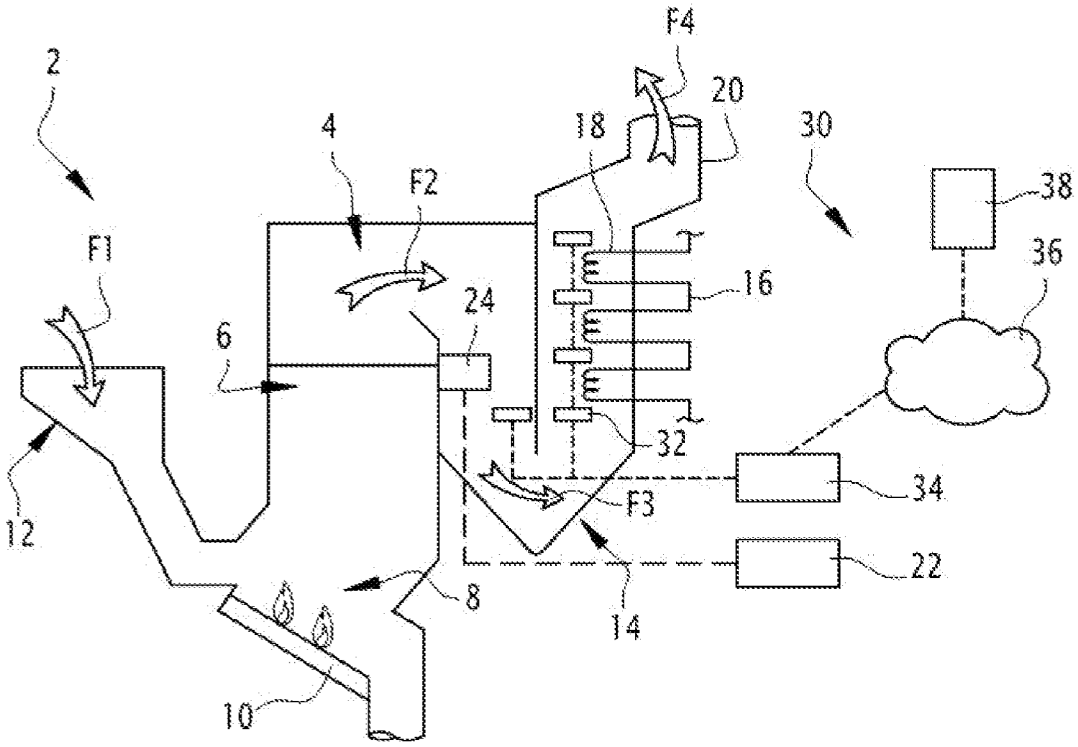
[Revendication 9] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel ladite limite prédéfinie est déterminée préalablement par apprentissage.

[Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la zone d'intérêt (18) est une surface d'un échangeur de chaleur (16) de la chaudière.

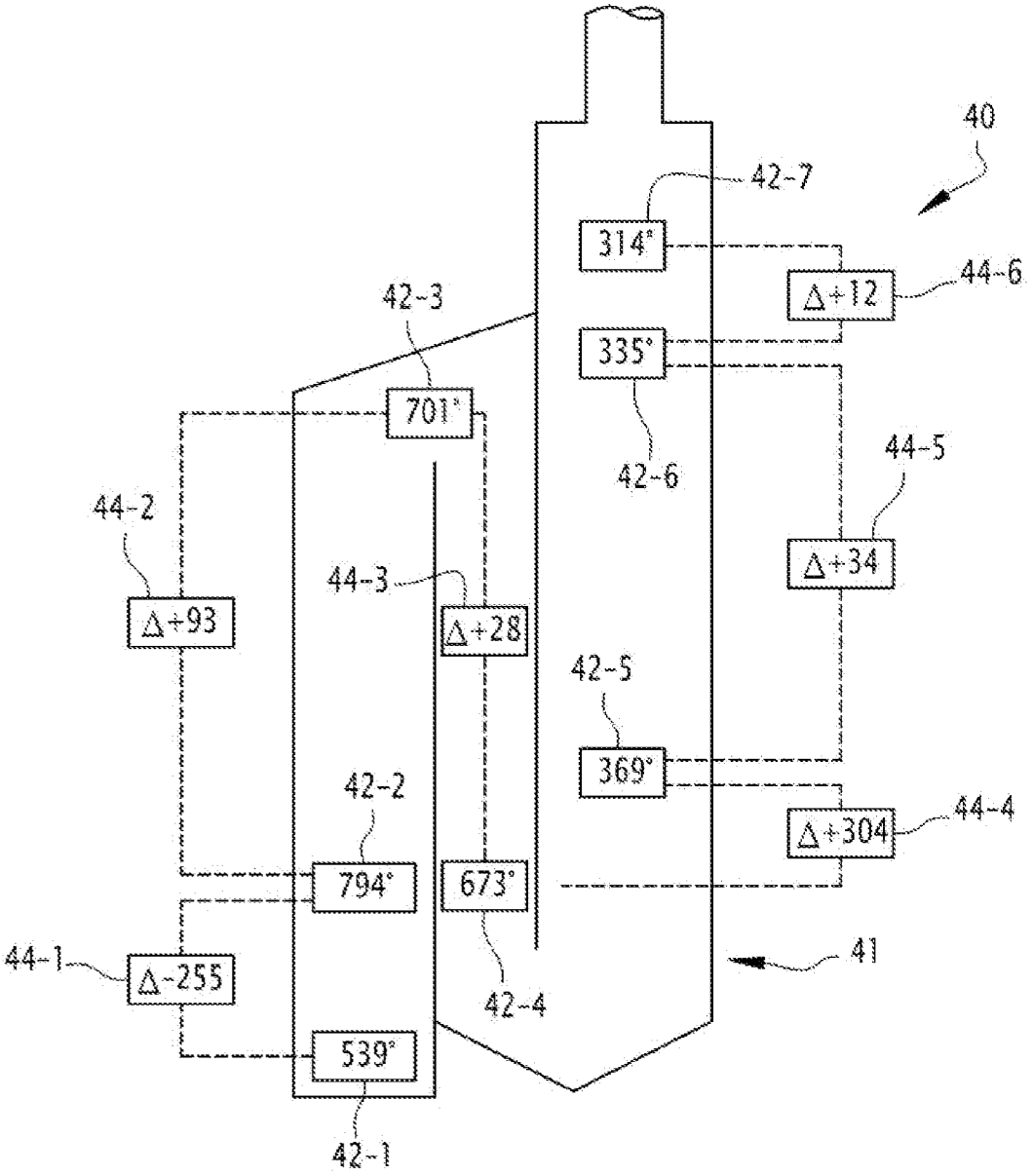
[Revendication 11] Installation de combustion (2), comportant une chaudière (4), un dispositif de surveillance (30) et au moins un capteur de température (32) installé dans la chaudière et associé à au moins une zone d'intérêt à surveiller (18), ladite installation étant configurée pour mettre en œuvre des étapes consistant à :

- mesurer (102) des valeurs de température de fumées issues d'une combustion dans la chaudière, ces mesures étant réalisées par ledit au moins un capteur de température ;
- construire (106) automatiquement, au moyen du système de surveillance, un historique des valeurs de température mesurées pour la zone d'intérêt ;
- identifier (108) automatiquement, par le système de surveillance et en fonction de l'historique des valeurs de température et d'au moins une limite prédéfinie, l'occurrence d'une condition de criticité de la zone d'intérêt.

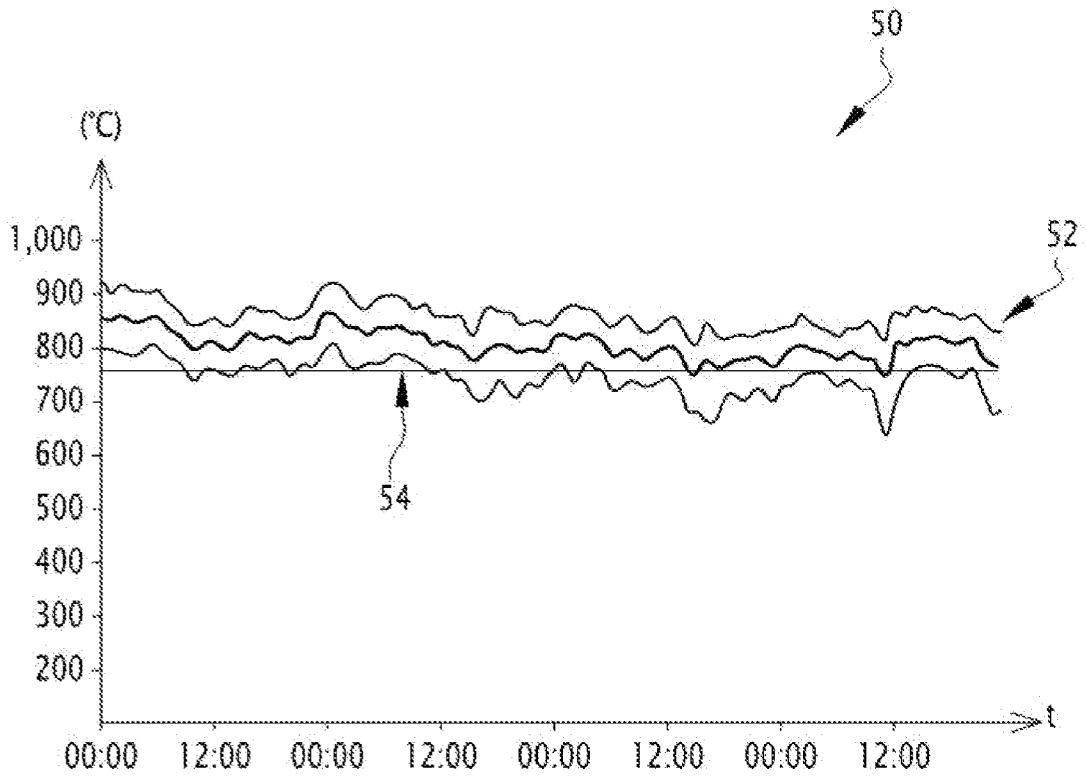
[Fig. 1]



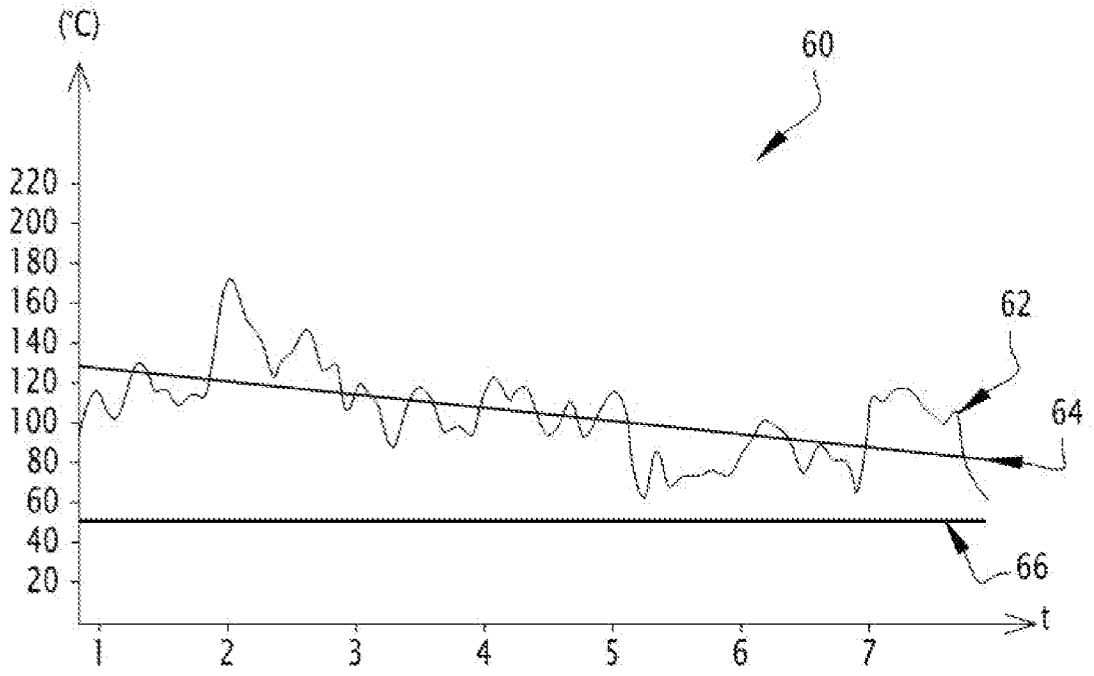
[Fig. 2]


40
42-7
314°
44-6
Δ+12
42-3
335°
701°
42-6
44-5
44-2
Δ+34
44-3
Δ+93
Δ+28
42-5
369°
42-2
44-4
Δ+304
794°
673°
44-1
41
Δ-255
42-4
539°
42-1

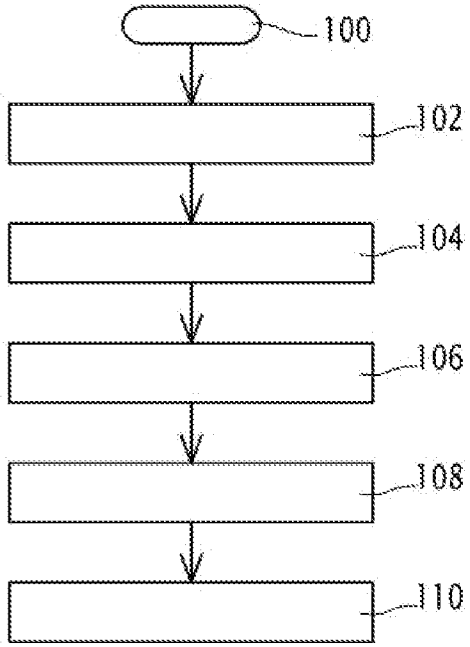
[Fig. 3]


50
(°C)
1,000
900
800
700
600
500
400
300
200
52
54
t
00:00
12:00
00:00
12:00
00:00
12:00
00:00
12:00

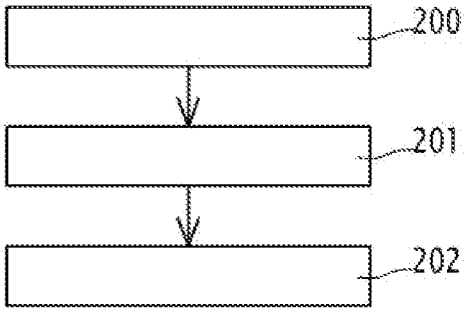
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement national

FA 879407
FR 2002660

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X A	US 2016/370001 A1 (SIM JAE-YONG [KR]) 22 décembre 2016 (2016-12-22) * alinéa [00053] - alinéa [00147]; figures 1-17 * -----	1-3,5, 7-11 4,6	F23M11/00
X A	CN 110 762 540 A (UNIV SOUTH CHINA TECH) 7 février 2020 (2020-02-07) * alinéa [0070] - alinéa [0146]; figures 1-4 * -----	1-3,5, 7-11 4,6	
A,D	FR 3 053 445 A1 (CONSTRUCTIONS IND DE LA MEDITERRANEE - CNIM [FR]) 5 janvier 2018 (2018-01-05) * le document en entier * -----	5	
A	CN 109 695 892 A (CHINA CITY ENVIRONMENT PROT ENG LTD CO) 30 avril 2019 (2019-04-30) * le document en entier * -----	1,2,11	
A	US 2008/288198 A1 (FRANCINO PETER N [US] ET AL) 20 novembre 2008 (2008-11-20) * le document en entier * -----	1,11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F23N

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
5 novembre 2020	Theis, Gilbert

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2002660 FA 879407

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 05-11-2020
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)		Date de publication
US 2016370001	A1	22-12-2016	CN	105493089 A	13-04-2016
			JP	6239747 B2	29-11-2017
			JP	2016528462 A	15-09-2016
			KR	101480130 B1	07-01-2015
			PH	12016500006 A1	28-03-2016
			US	2016370001 A1	22-12-2016
			US	2019242572 A1	08-08-2019
			WO	2014209070 A1	31-12-2014
CN 110762540	A	07-02-2020	AUCUN		
FR 3053445	A1	05-01-2018	CA	3029149 A1	04-01-2018
			DK	3479023 T3	17-08-2020
			EP	3479023 A1	08-05-2019
			FR	3053445 A1	05-01-2018
			RU	2018146041 A	25-06-2020
			TN	2018000440 A1	15-06-2020
			TW	201801810 A	16-01-2018
			US	2019154256 A1	23-05-2019
			WO	2018002299 A1	04-01-2018
CN 109695892	A	30-04-2019	AUCUN		
US 2008288198	A1	20-11-2008	AUCUN		

EPO FORM P0465