

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①1 N° de publication : **3 090 825**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②1 N° d'enregistrement national : **18 73593**
⑤1 Int Cl⁸ : **F 23 N 1/02 (2019.01), G 01 J 5/10**

⑫

CERTIFICAT D'UTILITÉ

B3

⑤4 Méthode de contrôle en continu de la température des tubes dans un four de reformage de méthane à la vapeur.

②2 Date de dépôt : 20.12.18.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 26.06.20 Bulletin 20/26.

④5 Date de la mise à disposition du public du
certificat d'utilité : 11.12.20 Bulletin 20/50.

⑤6 Les certificats d'utilité ne font pas l'objet d'un
rapport de recherche.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ
ANONYME POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION
DES PROCÉDES GEORGES CLAUDE SOCIÉTÉ
ANONYME — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : GARY Daniel, TUDORACHE Diana,
AMMOURI Fouad, NAVARRO Gonzalo et COUTO DE
CARVALHO Leonel.

⑦3 Titulaire(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ ANONYME
POUR L'ÉTUDE ET L'EXPLOITATION DES
PROCÉDES GEORGES CLAUDE SOCIÉTÉ
ANONYME.*

⑦4 Mandataire(s) : *L'AIR LIQUIDE, SOCIÉTÉ
ANONYME.*

FR 3 090 825 - B3



Description

Titre de l'invention : Méthode de contrôle en continu de la température des tubes dans un four de reformage de méthane à la vapeur.

- [0001] L'invention concerne une méthode de contrôle en continu de la régulation de la température dans un four de reformage pour la mise en œuvre d'un procédé de reformage, le four contenant des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage et au moins un brûleur, le procédé de reformage comprenant au moins les étapes d'alimentation des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage avec un mélange gazeux de reformage, d'alimentation du au moins un brûleur en combustible et comburant, de combustion du mélange combustible et comburant au sein du au moins un brûleur de sorte à fournir aux tubes de la chaleur, de reformage du mélange gazeux d'alimentation pour produire un gaz de synthèse. L'objectif est de maintenir en continu, grâce à une meilleure régulation de la température des tubes, une efficacité maximale du reformage en favorisant le transfert de chaleur aux tubes tout en assurant leur sécurité.
- [0002] Une partie très importante de l'hydrogène produit dans le monde l'est encore par reformage à la vapeur de méthane, essentiellement à partir de gaz naturel. Le procédé est mis en œuvre à grande échelle dans des fours de SMR.
- [0003] Dans ces fours, le reformage du méthane est réalisé par de la vapeur d'eau à des températures élevées (900-980°C) et à des pressions comprises entre 10 et 40 bars dans des tubes de reformage remplis de catalyseur de reformage le plus souvent du type nickel supporté sur alumine.
- [0004] Plusieurs réactions se produisent en même temps dans les tubes, la principale réaction étant la réaction de reformage de méthane proprement dite, soit : $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$. Cette réaction est endothermique et a besoin d'un apport de chaleur externe pour être amorcée. Pour cette raison, les tubes de reformage dans lesquels se déroule la réaction sont généralement disposés à l'intérieur d'une chambre de combustion équipée de brûleurs en tant que systèmes de chauffage. Les tubes doivent pouvoir supporter des conditions opératoires difficiles qui imposent des exigences concernant le tube : les tubes en alliage réfractaire doivent être résistants à l'oxydation à haute température et au fluage.
- [0005] Les tubes dans lesquels le gaz de procédé, initialement un mélange de méthane et de vapeur circule, sont placés verticalement dans le four; les conditions de fonctionnement induisent un profil thermique au sein des tubes de reformage présentant un gradient important entre le haut du tube (650 / 700°C) - température d'entrée du mélange gazeux d'alimentation - et le bas du tube (900 / 950°C) - température de sortie

du gaz de synthèse (aussi appelé syngas) - en raison de la réaction endothermique. Les reformeurs existant qui permettent d'atteindre de tels niveaux de température ont été conçus avec une grande variété d'arrangements de tubes et de brûleurs. La conception des tubes (section, longueur, épaisseur) permet le transfert de la chaleur vers le catalyseur. Leurs dimensions sont typiquement les suivantes: le diamètre interne des tubes est compris entre 100 et 125 mm, l'épaisseur de paroi se situe entre 10 et 15 mm et la longueur de tube est comprise entre 10 et 15 m.

- [0006] Les brûleurs sont implantés soit au niveau de la voûte du four (top fired en langue anglaise), soit au niveau de la sole (bottom fired en langue anglaise), soit en latéral: sur les côtés même du four (side fired en langue anglaise) ou en terrasse (terrace wall fired). Les brûleurs sont généralement opérés à basse pression soit proche de la pression atmosphérique et sont alimentés par un mélange de combustible et de comburant.
- [0007] Le combustible peut être un hydrocarbure gazeux, par exemple du gaz naturel ou un mélange de plusieurs hydrocarbures ; on ajoute couramment à ce combustible (il est dit primaire dans ce cas) un gaz résiduaire (qui est dit combustible secondaire) provenant d'une unité de purification type PSA, placée en aval du reformeur pour séparer l'hydrogène du reste des constituants du gaz de synthèse issu du reformage - le plus souvent après enrichissement en H_2 et élimination d'eau. Ce gaz résiduaire (offgas en langue anglaise) est un mélange gazeux contenant CO , CO_2 , CH_4 , H_2 .
- [0008] Le comburant est un gaz contenant de l'oxygène, en général de l'air ou de l'air enrichi en oxygène, jusqu'à hauteur de 23%.
- [0009] Un système de contrôle de distribution ou DCS (acronyme venant de sa dénomination anglaise Distributed Control System) dédié au contrôle de l'opération de l'unité dans sa globalité assure le réglage de l'alimentation des brûleurs ainsi que celle des tubes.
- [0010] Le DCS reçoit des informations (par exemple température, pression, débit) émises par des capteurs installés sur les différents composants de l'unité.
- [0011] A l'heure actuelle, une usine qui dispose d'un reformeur de méthane à la vapeur assure le contrôle des débits des combustibles envoyés aux brûleurs en réponse à une mesure de température prise sur le gaz de procédé entre la sortie du SMR et l'entrée de la chaudière WHB (acronyme venant de la dénomination anglaise Waste Heat Boiler) donc externe au four. Cette mesure de température de gaz de procédé présente plusieurs inconvénients :
- elle sous-estime la température moyenne du syngas produit car il y a des déperditions thermiques difficiles à estimer; ce décalage entre la température moyenne du syngas produit et la température mesurée entre la sortie du four et l'entrée de la chaudière WHB ne va pas rester constant, il va évoluer dans le

temps suite à l'évolution des matériaux utilisés pour réaliser l'isolation thermique des lignes transférant le syngas chaud à sa sortie du four de reformage ;

- de plus, cette température du gaz de procédé mesurée entre la sortie du four et l'entrée de la chaudière est par nature moyenne, c'est à dire qu'elle ne va pas prendre en compte des effets de surchauffe localisés des tubes de reformage.

[0012] Or, le temps de vie des tubes dépend de la température à laquelle ils sont exploités. Les manufacturiers garantissent pour chaque tube une durée de vie basée sur une température d'opération maximale dite MOT (selon la dénomination anglaise maximum operating température) en général de 10°C inférieure à la température de design; lorsque cette limite maximale de la température est respectée, la durée d'utilisation du tube attendue est de 100 000 heures au moins. Opérer des tubes à une température supérieure à la température de design accélère leur vieillissement et conduit à leur détérioration prématurée.

[0013] En cas d'incident conduisant à une augmentation locale et brutale de la température du tube, le temps de réaction nécessaire avant de pouvoir agir sur les conditions de fonctionnement du four est important du fait que l'on mesure une température moyenne et que cette mesure se fait à l'extérieur du four.

[0014] Il y a donc un besoin d'amélioration de l'exactitude de la mesure de la température des tubes au sein du four, en terme de localisation, d'individualisation de la prise de température, d'immédiateté de la détection ... de façon à améliorer la réactivité du contrôle des opérations (par contrôle on entend la détection des anomalies de température et l'adaptation - en réponse à cette détection - des conditions opératoires de sorte à rétablir des conditions optimales de fonctionnement).

[0015] Afin d'améliorer la réactivité et la précision du contrôle de l'opération du four de SMR, l'invention propose de transmettre au DCS une mesure de température qui sera faite en continu et au sein même du four sur un ou plusieurs tubes.

[0016] Grâce à la mesure in-situ de la température des tubes dans une ou des zones critiques du four on pourra détecter en temps réel les anomalies et ramener dans un temps minimum le four vers des conditions opératoires sûres, protégeant ainsi l'intégrité structurelle des tubes de reformage.

[0017] Ce nouveau mode de contrôle visant à réguler la température du four va permettre d'opérer automatiquement et en continu le four à la température d'opération maximale des tubes, ceci en toute sécurité grâce une meilleure connaissance continue de la température des tubes à l'intérieur du four. La méthode de contrôle s'applique quelle que soit la configuration du four de SMR, quels que soient le positionnement des brûleurs, le type de matières premières alimentant les tubes et les brûleurs - gaz naturel, naphtha, gaz déchet de raffinage.

- [0018] Pour améliorer le fonctionnement de l'unité, on pourra via le DCS, en fonction de la température mesurée in-situ sur des tubes choisis et de la marge d'augmentation disponible qu'on s'autorise, sans excéder la MOT, ajuster l'alimentation de tout ou partie des brûleurs du four en combustible et/ou en comburant et/ou l'alimentation des tubes en gaz à reformer. Ainsi, l'unité pourra en permanence être opérée avec une efficacité proche de son maximum sans risque de détériorer les tubes.
- [0019] Pour améliorer selon l'invention les conditions d'opération du four de reformage, une étape essentielle est la mesure de température(s) de tube(s) dans le four.
- [0020] Pour cela, l'invention a pour objet une méthode de contrôle en mode continu de la régulation de la température dans un four de reformage en opération pour la mise en œuvre d'un procédé de reformage, le four contenant des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage et au moins un brûleur, le procédé de reformage comprenant au moins les étapes de:
- alimentation des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage avec un mélange gazeux de reformage ;
 - alimentation du au moins un brûleur en combustible et comburant ;
 - combustion du mélange combustible et comburant au sein du au moins un brûleur de sorte à fournir aux tubes de la chaleur pour le reformage ;
 - reformage du mélange gazeux d'alimentation pour produire un gaz de synthèse ;
- [0021] la méthode utilisant un système de contrôle de distribution (DCS) dédié au dit contrôle pour assurer le réglage de l'alimentation des brûleurs ainsi que celle des tubes, et la méthode comprenant au moins les étapes de :
- réalisation en continu de au moins une mesure de température de tube de reformage contenu dans le dit four ;
 - utilisation de la au moins une mesure de température de tube de reformage pour générer une valeur de température utilisée comme indicateur TIC pour le DCS ;
 - ajustement de l'alimentation en combustible et/ou comburant du au moins un brûleur, et/ ou ajustement de l'alimentation en mélange de gaz à reformer en réponse à la mesure de ladite température de tube.
- [0022] La méthode de l'invention peut présenter une ou plusieurs des variantes suivantes:
- tout ou partie des conduites de gaz alimentant les brûleurs et/ou les tubes sont équipées de vannes de régulation, et en ce que lesdites vannes de régulation ajustent l'alimentation de gaz en réponse à la valeur de température utilisée comme indicateur TIC sous le contrôle d'une unité de commande du système DCS de contrôle de distribution ;
 - on réalise au moins une mesure de température sur un ou plusieurs tubes

- contenus dans le four connus comme étant les plus chauds ;
- les tubes les plus chauds ont été préalablement identifiés par mesure des températures de peau des tubes; plusieurs méthodes sont connues pour mesurer les températures de peau des tubes, et donc identifier ces tubes les plus chauds, faisant appel notamment aux thermocouples de surface, aux caméras infrarouge, on pourra aussi utiliser pyromètres et diodes laser ou toute autres méthodes adaptées ;
 - on réalise les mesures en continu de température de tubes sur plusieurs tubes ;
 - une opération mathématique est appliquée auxdites mesures en continu pour obtenir la valeur utilisée comme indicateur TIC ;
 - les mesures en continu de température de tubes sont réalisées à l'aide d'un ou plusieurs thermocouples soudés sur le ou les tubes dont on mesure la température de peau ;
 - les mesures en continu de température de tubes sont réalisées par caméra infrarouge qui vise les tubes sur lesquels sont effectuées les mesures ;
 - la longueur d'onde de la caméra infrarouge est transparente aux gaz de combustion, la longueur d'onde étant de préférence proche de 1 micron (entre 0.5 et 1.5 microns) ou proche de 3,9 microns (entre 3.6 et 4.1 microns) ;
 - toute autre technologie de mesure de température apte à réaliser ce type de mesures pourra être utilisée sans sortir du cadre de l'invention ;
 - la régulation de température comprend une étape d'ajustement de l'alimentation en combustible et/ou comburant du au moins un brûleur, et/ ou par l'ajustement de l'alimentation en mélange de gaz à reformer en réponse à la mesure de température de peau ;
 - les conduites de gaz alimentant les brûleurs et les tubes sont équipées de vannes de régulation, et lesdites vannes de régulation ajustent l'alimentation de gaz en réponse à la valeur de température utilisée comme indicateur TIC sous le contrôle d'une unité de commande du système DCS de contrôle de distribution ;
- [0023] La ou les mesure(s) ainsi réalisée(s) sur les tubes fournissent ainsi la valeur de température utilisée comme contrôleur d'indicateur de température (en langue anglaise Temperature Indicator Controller ou TIC) pour le DCS. Dans le cas où plusieurs mesures sont réalisées, une opération mathématique (moyennes, moyenne olympique, maximum, une correction expérimentale comme une calibration) peut être appliquée aux mesures pour obtenir la valeur du TIC. En fonction de la valeur du TIC, des actions correctrices seront apportées via le DCS à l'alimentation de brûleurs et/ou à l'alimentation de tubes.
- [0024] Dans le cas où la ou les mesures mettent en évidence une surchauffe significative de

la température de peau de tubes, l'unité pourra être mise très rapidement en repli sécurisé de manière à assurer sa protection (par mise en repli, aussi appelé arrêt chaud, on entend l'arrêt de l'injection des réactifs dans les tubes, la diminution de la puissance délivrée par les brûleurs permettant de maintenir le four dans des conditions quasi isothermes et proches de 750°C). La mesure continue de température dans le four, et non sur le syngas en sortie de four telle qu'elle se fait actuellement présente dans ce cas un intérêt majeur puisqu'elle permet de gagner un temps précieux pour la préservation du reformeur et de la production.

- [0025] On notera aussi que lorsque les conditions de chargement thermo physique (par exemple débit de production, pression, température) sont modifiées, la méthode permet, grâce à ces mesures en continu sur des tubes, de préférence identifiés comme les plus chauds, dans le four en opération d'ajuster les conditions opératoires de façon à exploiter plus efficacement l'unité de reformage.
- [0026] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description suivante de modes de réalisation - donnés à titre illustratif mais nullement limitatif - faite en relation avec les figures annexées suivantes.
- [0027] [fig.1] représente une solution de contrôle selon l'art antérieur, telle que pratiquée par l'homme du métier.
- [0028] [fig.2] représente un premier exemple d'une solution de contrôle selon l'invention.
- [0029] [fig.3] représente un deuxième exemple d'une solution de contrôle selon l'invention.
- [0030] La figure 1 montre un four **1** de SMR muni de tubes de reformage **2**, de brûleurs **3** lesquels sont alimentés en fuel **11** via la conduite **4** d'amenée.
- [0031] L'énergie de combustion nécessaire à la réaction de reformage ayant lieu au sein des tubes (énergie appelée aussi duty selon sa dénomination anglaise) est contrôlée par le débit de fuel fourni aux brûleurs. Ce contrôle est effectué en continu par un système numérique de contrôle-commande dit SNCC, plus connu sous l'acronyme anglais DCS (distributed control system).
- [0032] Sur la figure, les lignes correspondant aux transfert de données analogiques ou numériques sont en traits discontinus. Les lignes correspondant aux transfert de fluides du procédé ou représentant les équipements matériels sont en traits pleins.
- [0033] Conformément à la pratique habituelle, le SNCC du four **1** combine un contrôle prédictif (feedforward control en anglais) via le contrôleur FIC FF **5a**, et deux contrôleurs rétroactifs (feedback control en anglais) via les contrôleurs TIC FB **6a** et FIC FB **7a**. Les contrôleurs comparent une valeur du processus mesurée à une valeur de consigne, et calculent si une entrée du processus nécessite un changement et de combien il devra être.
- [0034] Le débit de fuel est ainsi contrôlé en trois étapes :
- une première étape: le calcul prédictif du débit de fuel, il s'agit d'un calcul qui

tient compte de la charge du four réelle **5b** décidée par l'opérateur. Dans cette étape, le contrôle du four se fait en boucle ouverte à travers le contrôleur prédictif **5a**. Le FIC FF **5a** exécute un calcul préliminaire du débit de fuel qui est censé être requis par le four SMR, cette valeur approximative du débit de fuel est transmise au bloc d'exécution d'opérations mathématiques **12**.

- une deuxième étape: le calcul correctif du débit de fuel, il s'agit d'une correction provenant du TIC FB **6a**, qui a pour but d'assurer le maintien de la température du syngas à la sortie du four **1** à une consigne **6b** décidée par l'opérateur.

[0035] Remarque : les principales caractéristiques du fonctionnement du TIC FB **6a** dans le contrôle correctif (dit aussi rétroactif) sont une variable de procédé (process variable ou PV), une variable manipulée (manipulated value ou MV), une valeur de consigne (set point ou SP), avec dans le contexte de la figure 1:

- la variable de procédé **9** est la valeur moyenne TI de température du syngas donnée par des thermocouples implantés en sortie du four SMR.
- la valeur de consigne **6b** (set point ou SP) du TIC est une valeur de température fixe choisie par l'opérateur. TIC SP est l'abréviation du terme anglais "Temperature Indicator Controller Set Point".
- la variable manipulée (manipulated value ou MV) du TIC est utilisée pour faire une correction directe sur le calcul prédictif effectué par le FIC FF **5a**, elle est effectuée dans le bloc d'exécution d'opérations mathématiques **12**.

[0036] Le bloc d'exécution d'opérations mathématiques **12** prend en compte le calcul prédictif du contrôleur FIC FF **5a** et le calcul rétroactif du contrôleur TIC FB **6a** pour obtenir la valeur de consigne FIC SP **7b** du débit de fuel nécessaire aux brûleurs.

- une troisième étape: le contrôle rétroactif du débit de fuel, il s'agit d'un contrôle rétroactif qui utilise le débit de fuel réel FI **8** et comme point de consigne **7b** qui est le résultat du calcul effectué par l'opérateur mathématique **12** précédemment décrit. Par exemple l'opération mathématique 12 peut être l'addition ou la multiplication du résultat de **5a** et **6a**.

[0037] Dans cette étape, le contrôleur FIC FB **7a** compare la valeur de consigne calculée par FIC SP **7b** avec celle d'un indicateur **8** de débit (FI) situé sur la conduite **4** de fuel en entrée du four **1** et si nécessaire agit sur la vanne **10** afin de réduire la différence entre les deux valeurs.

[0038] Le problème majeur de ce système de contrôle est que la température de peau de tubes n'est pas maîtrisée.

[0039] Le système de contrôle traditionnel ne peut pas tenir compte de la température des tubes du four car il n'y a pas un lien simple entre la température de syngas et la température de peau de tubes.

- [0040] Or, comme expliqué ci-avant, une surestimation du débit de fuel nécessaire peut conduire à une surchauffe de tout ou partie des tubes et donc à une diminution de leur durée de vie; inversement, opérer les tubes et donc le four à une température trop basse diminue l'efficacité du reformage et la capacité de production de l'installation.
- [0041] Les deux solutions selon l'invention présentées sur les figures 2 et 3 et décrites ci-dessous le sont à titre d'exemple. Ces exemples montrent comment peuvent être utilisées les mesures en continu des températures de peau de tube pour accroître la production d'un four SMR de façon sûre pour les tubes, et plus particulièrement comment peut être modifié le système numérique de contrôle-commande de l'unité. Dans les exemples la mesure de température des tubes est effectuée par des thermocouples de peau, mais le principe reste le même en cas d'utilisation d'autres moyens de mesure en continu de la température de peau (camera IR, etc...).
- [0042] La figure 2 présente un premier exemple de solution selon l'invention dans lequel on mesure à la fois la température du syngas comme dans la solution classique, et on mesure en plus la température de tubes à l'intérieur du four. Le DCS adapte en continu la valeur de consigne **206b** de la température de syngas mesurée sortie du four SMR en fonction de la valeur **213** de la température de tubes. L'avantage de cette solution est que l'on peut l'implanter sur une installation existante qui utilisait la solution classique présentée sur la figure 1 en apportant un minimum de modification au système de contrôle afin d'intégrer et d'exploiter l'information supplémentaire apportée par la mesure de la température de peau des tubes pour améliorer le contrôle en continu de la régulation de la température dans le four. Cette solution est très fiable car on peut limiter la correction sur le point de consigne de température de syngas afin d'éviter une surchauffe en cas de défaillance de thermocouple de peau. .
- [0043] Pour cela, dans ce mode de contrôle:
- le contrôleur rétroactif FIC FB **207a** est inchangé par rapport au système de contrôle classique de la figure 1,
 - le calcul prédictif FIC FF **205a** reste inchangé par rapport au système de contrôle classique de la figure 1,
 - le calcul rétroactif TIC FB **206a** qui utilise la température **209** (TI) du syngas ne change pas, par contre la valeur de consigne TIC SP **206b** choisie par l'opérateur est modifiée dans le bloc d'opération mathématique **214** avec un terme correctif reçu par un nouveau contrôleur TIC A **216a**;
- [0044] La solution de l'invention propose donc d'apporter une modification à la valeur de consigne TIC SP **206b** du contrôleur de température TIC FB **206a**; par rapport au système de contrôle de la solution classique de la figure 1, la valeur de consigne n'est plus une valeur fixe mais une valeur changeant en fonction de la ou des valeurs des mesures de température de peau de tubes générant la variable de procédé TI A **213**.

- [0045] Les principales caractéristiques du fonctionnement de ce nouveau TIC A sont:
- la variable de procédé (process variable ou PV) du TIC A s'appuie sur une ou plusieurs mesures de température de tube réalisées dans cet exemple par les thermocouples de peau **215**;
 - la valeur **216b** de consigne (set point ou SP) du TIC A est définie de manière à éviter toute surchauffe des tubes en tenant compte au moins des nécessités suivantes: s'assurer que la température des tubes reste en-dessous de leur température maximale d'opération (MOT), prendre en considération le fait que les tubes les plus chauds pourraient ne pas être - sur l'installation classique existante - parmi ceux équipés par des thermocouples ou visés par d'autres moyens de mesure, prendre en considération le fait que les méthodes de mesures intrusives comme les thermocouples de peau perturbent la température de tube et implique obligatoirement des erreurs de mesures - ce fait étant connu de l'homme du métier.
- [0046] Sur cette base, un exemple de valeur de consigne du TIC A SP **216b** sera MOT - 20 °C.
- la variable manipulée (manipulated value ou MV) du TIC A **206a** est une correction du point de consigne TIC SP **206b** existant aussi dans la solution classique. Un exemple de sortie du TIC A est une correction limitée entre -10° C et + 10 ° C qui sera ajouté dans le bloc **214** à la valeur de consigne TIC SP **206b** choisie par l'opérateur de l'unité.
- [0047] La figure 3 présente un deuxième exemple de solution selon l'invention dans lequel la mesure de température des tubes est utilisée afin d'adapter directement et en continu l'énergie de combustion nécessaire à la réaction de reformage - ici aussi via le débit de fuel fourni aux brûleurs.
- [0048] Selon cette variante de solution selon l'invention, les modifications nécessaires sont faites au niveau du système numérique de contrôle-commande afin d'intégrer l'information associée à la mesure de la température de peau de tube.
- [0049] Dans ce mode de contrôle:
- le calcul rétroactif FIC FB **307a** est inchangé par rapport au système de contrôle classique ;
 - le calcul prédictif FIC FF **305a** est inchangé par rapport au système de contrôle classique ;
 - le calcul rétroactif TIC FB, anciennement dans la figure 1 **6a** qui utilisait la température du syngas n'existe plus; il est remplacé par un nouveau contrôleur de température TIC B **306a** utilisant directement l'information de température provenant des thermocouples **315** implantés sur les tubes.
- [0050] L'avantage de ce contrôleur réside ici aussi dans le fait qu'en cas de perturbation du

processus de reformage, la mesure de température des thermocouples des tubes à la base du TI B **313** donne plus rapidement et plus exactement l'information que la température du gaz de synthèse de la solution classique. Ainsi, ce nouveau contrôleur TIC B **306a** pourra être plus rapide et plus efficace.

- [0051] Les principales caractéristiques du fonctionnement du nouveau TIC B **306a** sont:
- la variable de procédé (process variable ou PV) du TIC B se base sur une ou plusieurs mesures de température de tube réalisés dans cet exemple par un ou plusieurs thermocouples de peau ou une sélection de ceci **315** ;
 - la valeur de consigne (set point ou SP) du TIC B est définie de manière à éviter toute surchauffe des tubes, en tenant compte des mêmes nécessités que pour la solution de la figure 2. De la sorte, un exemple de valeur de consigne du TIC A SP **316b** sera MOT - 20 °C ;
 - la variable manipulée (manipulated value ou MV) du TIC B **306a** est utilisée pour faire une correction directe sur le calcul prédictif effectué par le FIC FF **305a**, elle est effectuée dans le bloc d'exécution d'opérations mathématiques **312**.
- [0052] Le bloc d'exécution d'opérations mathématiques **312** prend en compte le calcul prédictif du contrôleur FIC FF **305a** et le calcul rétroactif du contrôleur TIC FB **306a** pour obtenir la valeur de consigne FIC SP **307b** du débit de fuel nécessaire aux brûleurs.

Revendications

- [Revendication 1] Méthode de contrôle en mode continu de la régulation de la température dans un four de reformage pour la mise en œuvre d'un procédé de reformage, le four contenant des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage et au moins un brûleur, le procédé de reformage comprenant au moins les étapes de :
- alimentation des tubes de reformage munis de catalyseur de reformage avec un mélange gazeux de reformage ;
 - alimentation du au moins un brûleur en combustible et comburant ;
 - combustion du mélange combustible et comburant au sein du au moins un brûleur de sorte à fournir aux tubes de la chaleur pour le reformage ;
 - reformage du mélange gazeux d'alimentation pour produire un gaz de synthèse ;
- la méthode utilisant un système de contrôle de distribution (DCS) dédié au dit contrôle pour assurer le réglage de l'alimentation des brûleurs ainsi que celle des tubes, et la méthode comprenant au moins les étapes de :
- réalisation en continu de au moins une mesure de température de tube de reformage contenu dans le dit four ;
 - utilisation de la au moins une mesure de température de tube de reformage pour générer une valeur de température utilisée comme indicateur TIC pour le DCS ;
 - ajustement de l'alimentation en combustible et/ou comburant du au moins un brûleur, et/ ou ajustement de l'alimentation en mélange de gaz à reformer en réponse à la mesure de ladite température de tube.
- [Revendication 2] . Méthode selon la revendication 1 dans laquelle tout ou partie des conduites de gaz alimentant les brûleurs et/ou les tubes sont équipées de vannes de régulation, et en ce que lesdites vannes de régulation ajustent l'alimentation de gaz en réponse à la valeur de température utilisée comme indicateur TIC sous le contrôle d'une unité de commande du système DCS de contrôle de distribution.
- [Revendication 3] Méthode selon l'une des revendications 1 ou 2 dans laquelle on réalise les mesures en continu de température de tubes sur plusieurs tubes, caractérisée en ce qu'une opération mathématique de moyenne ou moyenne olympique est appliquée aux dites mesures en continu pour obtenir la valeur utilisée comme indicateur TIC.
- [Revendication 4] Méthode selon l'une des revendications 1 à 3 dans laquelle les mesures

en continu de température de tubes sont réalisées à l'aide d'un ou plusieurs thermocouples soudés sur le ou les tubes dont on mesure la température de peau.

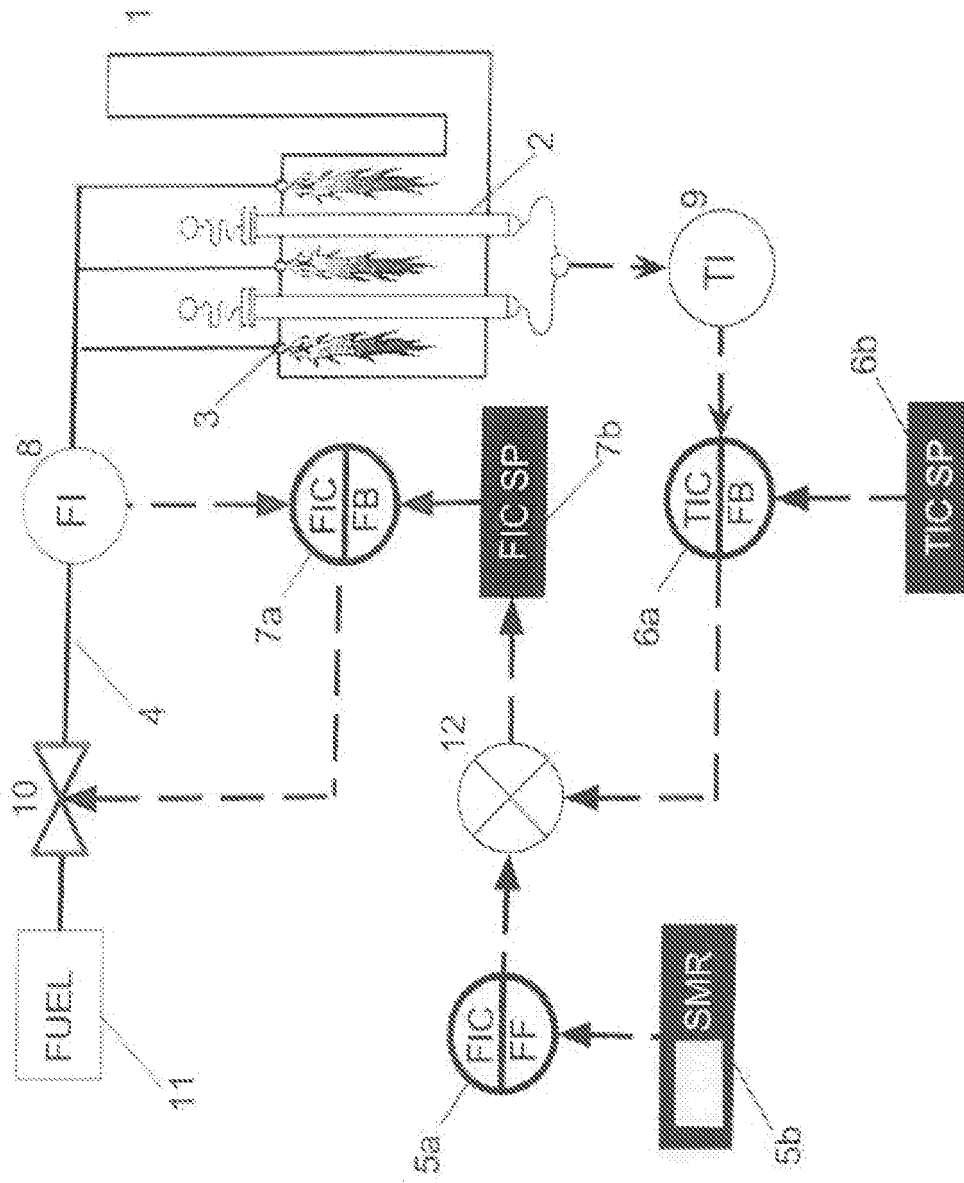
[Revendication 5]

Méthode selon l'une des revendications 1 à 4 dans laquelle les mesures en continu de température de tubes sont réalisées à l'aide d'au moins une caméra infrarouge qui vise les tubes sur lesquels sont effectuées les mesures.

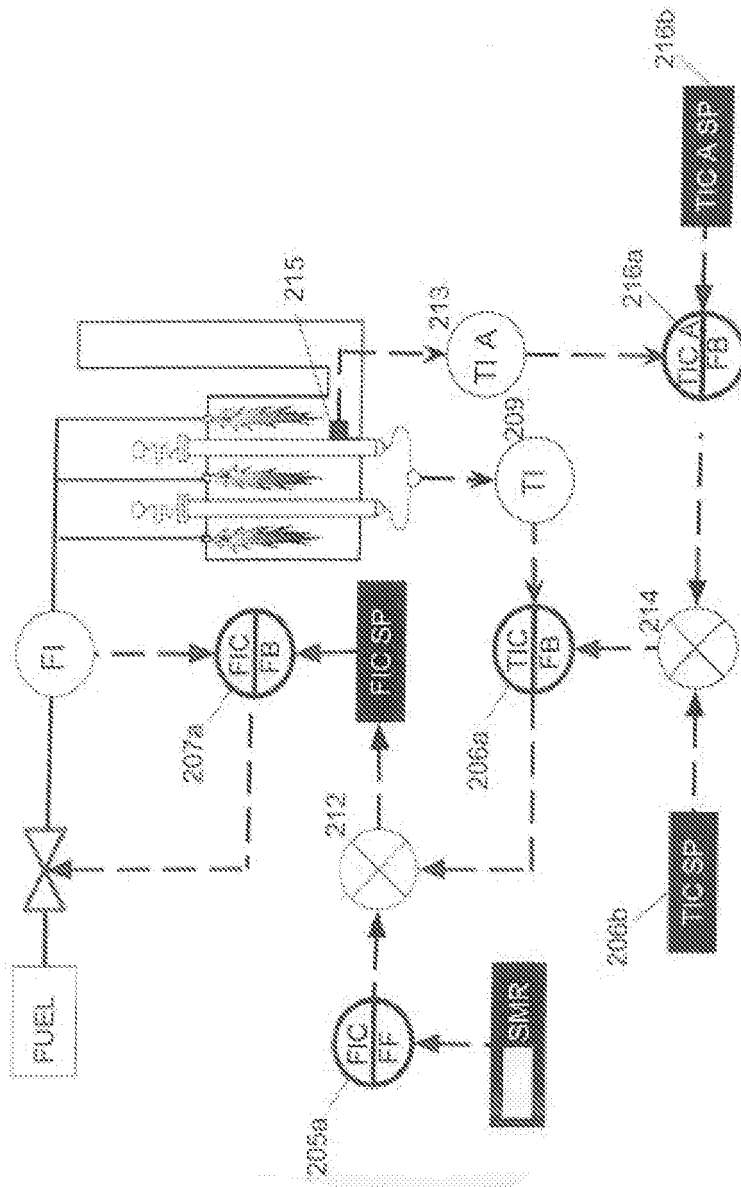
[Revendication 6]

Méthode selon la revendication 5 dans laquelle la longueur d'onde de la caméra infrarouge est transparent aux gaz de combustion, la longueur d'onde étant de préférence proche de 1 micron ou proche de 3,9 microns.

[Fig. 1]



[Fig. 2]



[Fig. 3]

