

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/003966 A2

(43) Date de la publication internationale
13 janvier 2011 (13.01.2011)

(51) Classification internationale des brevets :
C10J 3/48 (2006.01) *C10J 3/08* (2006.01)
C10J 3/74 (2006.01) *C10J 3/46* (2006.01)

alternatives [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le
Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2010/059779

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **SEILER,
Jean-Marie** [FR/FR]; 77 rue des Fenouillères, F-38180
Seyssins (FR).

(22) Date de dépôt international :
8 juillet 2010 (08.07.2010)

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; BREVALEX,
3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
09 03425 10 juillet 2009 (10.07.2009) FR

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PROCESS FOR THE HEAT TREATMENT OF MATERIAL IN A REACTOR HAVING A WALL ACTING AS SELF-CRUCIBLE

(54) Titre : PROCEDE DE TRAITEMENT THERMIQUE DE MATIERES DANS UN REACTEUR A PAROI EN AUTO-CREUSET

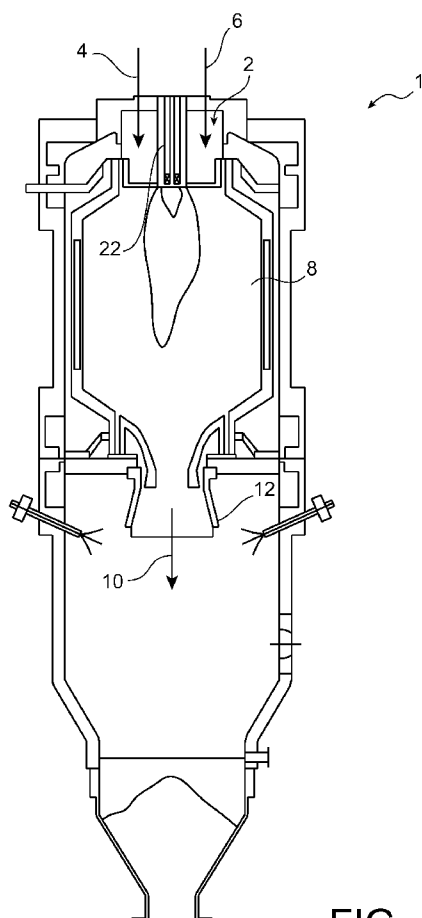


FIG. 1

(57) Abstract : Process for the heat treatment of material (4) in a reactor (1) having a high-temperature chamber (8) and a wall acting as self-crucible, comprising at least one step of determining the liquidus temperature T_{liq} of the ash resulting from the treated material, the operating temperature T_{op} of the reactor in the steady state then being chosen such that $T_{op} > T_{liq}$.

(57) Abrégé : Procédé de traitement thermique de matières (4) dans un réacteur (1) à chambre haute température (8) et à paroi en auto-creuset, comportant au moins une étape de détermination de la température liquidus T_{liq} des cendres issues des matières traitées, la température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent étant ensuite choisie telle que $T_{fonc} > T_{liq}$.

WO 2011/003966 A2



KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) États désignés (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

Publiée :

— *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

**PROCEDE DE TRAITEMENT THERMIQUE DE MATIERES
DANS UN REACTEUR A PAROI EN AUTO-CREUSET**

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne le domaine du traitement thermique de matières dans un réacteur à paroi en auto-creuset, ou creuset froid, tel qu'un réacteur à flux entraîné.

10 L'invention s'applique particulièrement pour réaliser une gazéification de biomasse, prétraitée ou non, dans un réacteur à flux entraîné allothermique (c'est-à-dire utilisant une énergie externe au système constitué par les matières traitées pour en assurer la
15 conversion gazeuse) ou autothermique (ne nécessitant pas d'énergie externe au système pour en assurer la conversion gazeuse). De manière générale, l'invention peut être utilisée pour réaliser tous types de gazéification de matières, par exemple du charbon, des
20 boues d'épuration ou tous types de déchets liquides et/ou solides comportant des éléments organiques et inorganiques en vue de produire de l'électricité ou des biocarburants.

L'invention s'applique également pour
25 réaliser des traitements thermiques de matières dans d'autres réacteurs de type allothermique, par exemple dans des réacteurs plasma ou des réacteurs dans lesquels un gaz combustible est ajouté (hydrogène ou méthane par exemple).

30 L'invention concerne également le traitement thermique de matière dans tous types de

réacteur industriel à fusion, par exemple un réacteur à fusion d'amiante pour réaliser une vitrification de l'amiante.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

5 La gazéification de la biomasse a essentiellement été développée pour des applications de type cogénération, c'est-à-dire permettant de traiter la biomasse et de la transformer en énergie thermique et en électricité. Une technique connue pour réaliser
10 une telle gazéification consiste à réaliser une mise en contact de particules fines de biomasse avec de l'oxygène à haute température dans un réacteur à flux entraîné par exemple décrit dans les documents US 5 620 487 et US 4 680 035. Les documents
15 US 5 968 212 et DE 4 446 803 décrivent des techniques qui permettent de gérer des zones réfractaires à double constituants et des zones refroidies pour prendre en compte les contraintes thermiques.

 Un exemple de réacteur à flux entraîné
20 est représenté de manière schématique sur la figure 1. Le réacteur 1 comporte un orifice d'entrée 2 par lequel sont introduits la matière à traiter 4, par exemple de la biomasse, et des gaz réactants 6 tels que de l'oxygène et/ou du méthane. Le réacteur 1 comporte une
25 chambre haute température 8 (température par exemple comprise entre environ 1000°C et 1800°C) dans laquelle s'effectuent les réactions de conversion de la biomasse 4 en gaz de synthèse 10 obtenus au niveau d'un orifice de sortie 12 de la chambre haute température 8. Le
30 temps de conversion de la biomasse 4 en gaz de synthèse

10, correspondant au temps de séjour de la biomasse 4 dans la chambre haute température 8, est de l'ordre de quelques secondes. Le réacteur 1 comporte également un brûleur 22 permettant d'obtenir la température
5 souhaitée dans la chambre 8.

Comme indiqué dans le document de C. Dupont et al., « Suitability of biomass feedstocks for use in a semi-industrial plant of BtL production by gasification », 2008, 16th European Biomass Conference & Exhibition, Valencia, la biomasse comporte des composés organiques pouvant être représentés sous la forme de $C_6H_{9\pm1}O_{4\pm0,5}$ (représentation élémentaire) permettant l'obtention de gaz de synthèse tels que du CO, du H₂, du CO₂, de l'H₂O ou encore du CH₄. La biomasse comporte
15 également des composés inorganiques formés par l'ensemble des autres éléments contenus dans la biomasse (principalement des oxydes tels que du CaO, du SiO₂, de l'Al₂O₃, du FeO ou encore du MgO) et qui sont susceptibles de ne pas se transformer en gaz de
20 synthèse. Au cours de l'opération de gazéification de la biomasse, ces composés se transforment en cendres.

Les composés inorganiques sont des éléments non valorisables pour la transformation de la biomasse en carburant (le carburant étant obtenu en recombinaut
25 les gaz CO et H₂ pour obtenir du CH₄), génèrent des problèmes de fonctionnement pour les installations de traitement, des problèmes environnementaux et nécessitent, pour certains éléments minéraux, un réépandage sur le terrain. Entre environ 0,5% et 3% en
30 masse de la biomasse se retrouve sous forme de cendres

lors d'une opération de gazéification de biomasse dans un réacteur à flux entraîné.

La haute température atteinte dans la chambre 8 du réacteur à flux entraîné 1 permet à la fois :

- 5 - d'obtenir un gaz riche en CO et H₂,
- de reformer le méthane à partir du CO et du H₂,
- de reformer les goudrons (permettant d'obtenir des concentrations en goudrons inférieures à
- 10 environ 1 mg/Nm³),
- de faire fondre les cendres qui s'écoulent le long des parois de la chambre haute température 8.

Le réacteur 1 peut travailler sous

15 atmosphère pressurisée, par exemple jusqu'à environ 80 bars. La résistance à la pression est prise en charge par une paroi froide entourant la chambre haute température 8 du réacteur. La paroi de la chambre 8 doit également pouvoir résister à la haute température.

20 Par rapport à d'autres systèmes de gazéification, par exemple les réacteurs à lits fluidisés fonctionnant à des températures inférieures à environ 1000°C, un réacteur à flux entraîné peut donc fonctionner dans des conditions sévères de température et de pression.

25 Lors du fonctionnement du réacteur 1, les particules de biomasse vont pyrolyser très rapidement, dégageant des vapeurs partiellement oxydées compte tenu de l'oxygène présent dans la chambre 8. On obtient ainsi une réaction fournissant la chaleur nécessaire à

30 la gazéification du charbon de biomasse et au chauffage du mélange. Les cendres résiduelles vont fondre et se

déposer principalement sur la paroi 8 où elles vont couler. Ces cendres résiduelles vont former une couche de cendres liquides, ou cendre fondues, et une couche de cendres solides jouant le rôle d'isolant thermique entre la couche de cendres liquides et la paroi de la chambre 8, également appelé paroi du réacteur, selon le principe de fonctionnement du réacteur en auto-creuset, et formant un paroi dite en auto-creuset.

En effet, dans le réacteur à flux entraîné 1 en auto-creuset, la paroi de la chambre haute température 8 est isolée des cendres en fusion par une couche de cendres solides d'épaisseur par exemple comprise entre environ 1 mm et quelques centimètres, par exemple inférieure ou égale à environ 5 cm. Cette couche de cendres solides se forme spontanément au contact des parois de la chambre qui sont refroidies par un système de circulation d'eau.

La figure 3 représente les différents éléments formant la paroi « multicouches » de la chambre haute température 8. Une telle paroi multicouches est par exemple décrite dans le document US 2005/0108940 A1.

La couche externe de la paroi comporte un circuit de refroidissement en convection forcée 14. Ce circuit 14 comporte des tubes dans lesquels de l'eau sous pression circule. Ces tubes sont munis d'ailettes permettant d'une part d'avoir une bonne accroche mécanique contre une couche intermédiaire 16, et d'autre part de former un collecteur du flux de chaleur provenant de l'intérieur de la chambre 8 vers les tubes du circuit de refroidissement 14. Cette couche externe

est également conçue pour supporter la pression régnant dans la chambre 8 durant le fonctionnement du réacteur 1.

La paroi multicouches comporte également la
5 couche intermédiaire 16 d'épaisseur comprise entre environ 1 cm et 2 cm de type céramique réfractaire, par exemple à base de carbure de silicium (SiC). Cette couche intermédiaire 16 possède une bonne conductivité thermique, permettant ainsi de bien répartir le flux de
10 chaleur entre une troisième couche 18 de cendres solidifiées et le circuit de refroidissement 14. Cette couche intermédiaire 16 permet également d'absorber les chocs thermiques en cas de perte d'une partie de la couche de cendres solides 18 lors du fonctionnement du
15 réacteur 1.

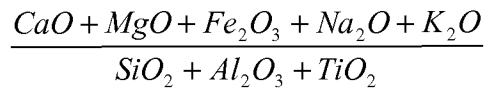
Enfin, la paroi multicouches comporte la couche de cendres solidifiées 18 supportées par la couche intermédiaire 16. Cette couche 18 joue le rôle d'écran thermique et est à base d'un matériau (cendres
20 solides) de même nature que celle de cendres fondues 20 qui s'écoulent sur la surface interne de la paroi, contre cette couche de cendres solides 18 (cet écoulement est représenté par une flèche sur la figure 3).

Ainsi, lorsque le réacteur fonctionne en
25 auto-creuset, une partie des cendres contenues dans la charge hydrocarbonée de la biomasse se solidifient et forment un matériau réfractaire. L'autre partie des cendres se présentent sous forme liquide et sont récupérées en partie basse du réacteur (orifice de
30 sortie 12) et trempées à l'eau.

Les inorganiques présents dans la matière à traiter et que l'on retrouve dans les cendres posent de nombreux problèmes, et notamment celui de la corrosion de la paroi du réacteur par les cendres liquides. En effet, les cendres liquides peuvent détruire une céramique réfractaire par interaction physico-chimique (par exemple par un phénomène de dissolution) même lorsque ces cendres liquides ont une température bien inférieure à la température de fusion de la céramique réfractaire.

Ainsi, dans un réacteur à flux entraîné, si la température de fonctionnement du réacteur est trop basse, on accumule des cendres solides en paroi, pouvant aboutir à la destruction de la paroi. Si la température de fonctionnement du réacteur est trop élevée, les pertes thermiques sont alors trop importantes et les cendres liquides attaquent la paroi, ce qui peut aboutir au percement de la paroi du réacteur.

La conduite d'un réacteur à flux entraîné s'effectue actuellement par une approche empirique, à partir d'informations fournissant les caractéristiques de fonctionnement du réacteur en fonction de compositions connues de matières à traiter. La figure 2 représente une courbe donnant, en fonction de la valeur d'un rapport de concentrations d'éléments présents dans la matière à traiter, la température de fonctionnement du réacteur. Les valeurs de l'axe des abscisses correspondent à celles du rapport de concentrations suivant :



Actuellement, il est donc possible de gazéifier uniquement des matières dont les compositions chimiques sont connues à l'avance, comprises dans un intervalle restreint et pour lesquelles des températures de fonctionnement du réacteur correspondantes sont également connues pour ne pas détériorer le réacteur. Une ressource dont la composition en cendres ne correspond pas à une composition prédéterminée ne peut donc pas être gazéifiée dans un réacteur à flux entraîné sans risque d'entraîner une dégradation du réacteur.

Ainsi, dans les réacteurs actuels, la paroi doit être régulièrement changée, de manière plus ou moins fréquente, ce qui représente un inconvénient majeur (coûts de maintenance et d'arrêts du réacteur importants).

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Un but de la présente invention est de proposer un procédé de conduite, ou de pilotage, ou d'utilisation, déterministe et non empirique, d'un réacteur de type à auto-creuset, ainsi qu'un procédé de traitement thermique de matières dans un réacteur à chambre haute température et à paroi en auto-creuset, pouvant être mis en œuvre pour tous types de ressources, ou de matières premières, même celles dont les températures de fonctionnement du réacteur correspondantes ne sont pas connues, et cela sans détériorer le réacteur.

Pour cela, la présente invention propose un procédé de traitement thermique de matières dans un réacteur à chambre haute température et à paroi en auto-creuset, comportant au moins une étape de
5 détermination de la température liquidus T_{liq} des cendres issues des matières traitées, la température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent étant ensuite choisie telle que $T_{fonc} > T_{liq}$.

La température de fonctionnement T_{fonc} du
10 réacteur désigne ici et dans tout le reste du document la température régnant en sortie de la chambre haute température du réacteur, c'est-à-dire la température du gaz présent en sortie de la chambre haute température.

La température Liquidus d'un mélange
15 correspond à la température à partir de laquelle tous les constituants du mélange deviennent liquides.

Un tel procédé permet de résoudre les problèmes liés aux inorganiques présents dans les matières traitées grâce à un fonctionnement optimal du
20 réacteur obtenu par un choix de la température de fonctionnement optimale du réacteur en fonction de la nature des matières traitées. Le procédé selon l'invention permet donc de réaliser une conversion thermochimique optimale des matières à traiter, et plus
25 particulièrement une conversion thermochimique optimale des inorganiques présents dans ces matières, quelle que soit la nature des matières à traiter.

Selon l'invention, on ajuste la température de fonctionnement du réacteur par rapport aux
30 propriétés chimiques des cendres, c'est-à-dire par rapport à la composition des cendres des matières à

traiter, de manière déterministe, grâce au paramètre clé que représente la température liquidus T_{liq} des cendres issues des matières traitées. Le procédé selon l'invention permet donc de traiter thermiquement des
5 matières même si celles-ci n'ont jamais été traitées auparavant. Ainsi, pour des matières réputées comme ne pouvant pas être traitées dans un réacteur, par exemple à flux entraîné (cas de matières dont la température de fusion des cendres est trop basse ou trop élevée par
10 rapport aux données empiriques de fonctionnement du réacteur), l'invention permet de modifier de manière déterministe les caractéristiques des cendres afin de rendre leur traitement compatible avec les contraintes de fonctionnement du réacteur. De plus, ce procédé
15 permet d'obtenir un fonctionnement à l'équilibre thermodynamique du réacteur, permettant une prédiction parfaite de la composition du gaz de synthèse et un craquage du méthane et des goudrons.

La température de fonctionnement du réacteur peut également être pilotée en fonction des
20 réactions chimiques de gazéification s'opérant dans le réacteur durant le traitement thermique des matières, c'est-à-dire en fonction de l'évolution de la composition des cendres issues des matières traitées.
25 Il est donc possible d'une part de faire fonctionner le réacteur à une température minimale maximisant la conversion en CO et H₂, et d'autre part d'éviter de faire fonctionner le réacteur à des températures trop élevées qui augmenteraient les pertes thermiques. La
30 température minimale peut donc dépendre de la matière à

traiter, de la pression de fonctionnement du réacteur et du temps de séjour de la matière dans le réacteur.

De plus, le procédé selon l'invention permet également, grâce au fonctionnement optimal du réacteur obtenu :

- de limiter les pertes thermiques au niveau de la paroi de la chambre haute température du réacteur (pertes thermiques par exemple inférieures à environ 100 kW/m²),
- de limiter le poids de la couche de cendres solides ; le procédé selon l'invention permet notamment d'éviter une augmentation incontrôlée de l'épaisseur de la couche de cendres solides (épaisseur obtenue de l'ordre de quelques centimètres et sensiblement constante au cours du fonctionnement en régime permanent du réacteur),
- de former une paroi résistante aux chocs thermiques qui pourraient être liés à des incidents de fonctionnement du réacteur, comme par exemple la perte d'un morceau (plaque) de la couche de cendres solides.

L'invention concerne également un procédé de traitement thermique de matières dans un réacteur à chambre haute température et à paroi en auto-creuset, comportant au moins les étapes de :

- a) choix d'une plage de températures de fonctionnement du réacteur [T_1 ; T_2] permettant de réaliser le traitement thermique de matières,
- b) détermination de la température liquidus T_{liq} des cendres issues des matières à traiter ; puis :

- si $T_1 < T_{liq} < T_2$: détermination de la température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent telle que $T_{fonc} > T_{liq}$ et $T_{fonc} \in [T_1 ; T_2]$,

5 - si $T_{liq} \geq T_2$: modification de la composition initiale des matières par ajout quantifié de composés inorganiques fondants, c'est-à-dire permettant d'abaisser la température liquidus de la composition initiale, telle que la température liquidus
10 T_{liq2} des cendres de la composition modifiée des matières soit inférieure à T_2 , puis détermination de la température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent telle que $T_{fonc} > T_{liq2}$ et $T_{fonc} \in [T_1 ; T_2]$,

 - si $T_{liq} \leq T_1$: modification de la
15 composition initiale des matières par ajout quantifié de composés inorganiques réfractaires telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres de la composition modifiée des matières soit supérieure à T_1 , puis détermination de la température de fonctionnement du
20 réacteur T_{fonc} en régime permanent telle que $T_{fonc} > T_{liq2}$ et $T_{fonc} \in [T_1 ; T_2]$.

Le procédé peut comporter en outre les étapes de :

 - modification de la composition initiale
25 des matières traitées par ajout(s) de composés inorganiques, puis

 - détermination de la température liquidus T_{liq2} des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées thermiquement,

la température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent pouvant être choisie telle que $T_{\text{fonc}} > T_{\text{liq2}}$.

Après la détermination de la température liquidus T_{liq2} des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées thermiquement, il est possible de vérifier que $T_{\text{liq2}} < T_2$ afin de remplir la condition $T_1 < T_{\text{liq2}} < T_2$.

Ainsi, lorsque la composition initiale des matières présente une température liquidus des cendres issues de ces matières incompatible ou non optimale pour le choix de la température de fonctionnement du réacteur, l'invention propose une méthode quantifiable permettant donc de modifier cette composition initiale afin que les cendres issues de la composition modifiée présentent une température liquidus qui soit compatible et optimale pour le fonctionnement du réacteur.

Avantageusement, T_{fonc} peut être choisie telle que $30^\circ\text{C} \leq (T_{\text{fonc}} - T_{\text{liq}}) \leq 100^\circ\text{C}$ et/ou $30^\circ\text{C} \leq (T_{\text{fonc}} - T_{\text{liq2}}) \leq 100^\circ\text{C}$. Etant donné que les pertes thermiques dans le réacteur et l'épaisseur de la couche de cendres solides formée sur la paroi du réacteur dépendent notamment de l'écart entre la température de fonctionnement du réacteur et la température liquidus des cendres issues des matières à traiter, on peut donc réduire les pertes thermiques dans le réacteur, qui peuvent être inférieures à environ 100 kW/m^2 , en rapprochant la température de fonctionnement du réacteur en régime permanent à la température liquidus des cendres issues des matières traitées (écart inférieur ou égal à environ 100°C).

De plus, il est possible de suivre l'évolution de la température de fonctionnement du réacteur par la mesure des pertes thermiques (par exemple en réalisant un bilan thermique sur le refroidissement des parois du réacteur), à composition de cendres constante.

Avantageusement, pour réaliser une gazéification de biomasse, la composition initiale des matières traitées peut être modifiée telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées puisse être comprise entre environ 1200°C et 1800°C, par exemple entre environ 1400°C et 1600°C, ou entre environ 1300°C et 1500°C, ou entre environ 1300°C et 1600°C, ou entre environ 1450°C et 1550°C. On choisira de préférence de modifier la composition initiale des matières traitées telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées puisse être comprise entre environ 1400°C et 1600°C. Toutefois, il est possible d'abaisser cette gamme de températures d'une valeur comprise entre environ 100°C à 200°C lorsque le temps de séjour de la matière traitée dans le réacteur est augmenté, ce qui permet d'augmenter le rendement énergétique du procédé. Dans le cas où l'on souhaite transformer une ressource particulièrement difficile telle que des boues d'épuration, cette gamme de température ([1400°C ; 1600°C]) peut être augmentée d'une valeur comprise entre environ 100°C à 200°C.

La modification de la composition initiale des matières traitées telle que la température liquidus

T_{liq2} des cendres de la composition modifiée des matières traitées soit comprise entre environ 1400°C et 1600°C, ou entre environ 1300°C et 1500°C, ou entre environ 1300°C et 1600°C, ou entre environ 1450°C et 1550°C, peut comporter au moins une étape d'ajout de composés inorganiques à la composition initiale des matières traitées pouvant rendre sensiblement égales les concentrations en SiO_2 et en CaO dans la composition modifiée des matières traitées.

La composition initiale des matières traitées peut être modifiée par au moins une étape d'ajout de MgO et/ou de Fe_2O_3 et/ou de K_2O et/ou de Na_2O et/ou de P_2O_5 et/ou de CaO et/ou de SiO_2 , en fonction de la température liquidus T_{liq2} des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées souhaitée.

Avantageusement, les ajouts de fondants (composés du type K_2O , Na_2O , Fe_2O_3 , MgO ou P_2O_5) aux matières traitées peuvent entraîner une réduction de la température liquidus des cendres issues des matières traitées comprise entre environ 50°C et 200°C.

En augmentant les concentrations en SiO_2 et/ou en CaO dans la composition des matières traitées, on peut augmenter la température liquidus des cendres issues de la composition modifiée des matières traitées.

L'épaisseur de la couche de cendres solides de la paroi en auto-creuset du réacteur peut être inférieure ou égale à environ 5 cm, ou comprise entre environ 1 cm et 2 cm, et/ou être sensiblement constante durant le fonctionnement du réacteur à sa température de fonctionnement T_{fong} .

La température de fonctionnement du réacteur T_{fonc} peut être comprise entre environ 1000°C et 1800°C, et par exemple comprise entre environ 1400°C et 1600°C pour un traitement de biomasse.

5 La composition des cendres formées sur la paroi du réacteur peut être analysée au moins une fois, et de préférence plusieurs fois, au cours du procédé de traitement thermique, pour une ressource donnée.

Ainsi, il est possible d'adapter la
10 température de fonctionnement du réacteur en fonction des éléments présents dans les matières traitées dans le réacteur.

Le réacteur à paroi en auto-creuset peut être du type à flux entraîné et/ou les matières
15 traitées peuvent être de la biomasse. Le procédé peut être mis en œuvre de préférence pour des réacteurs de grande capacité, c'est-à-dire dont le débit de matières traitées peut être supérieur ou égal à environ 50 tonnes/heure.

20 Le procédé peut faire appel à un dispositif de mesure rapide du contenu en composés inorganiques et en cendres des matières traitées, et à un dispositif d'ajustement automatique de la composition des matières traitées selon la température de fonctionnement du
25 réacteur souhaitée.

La température liquidus des cendres issues des matières traitées peut être déterminée par un logiciel de calculs thermodynamiques.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés à titre purement indicatif et nullement
5 limitatif en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un réacteur à flux entraîné utilisé au cours d'un procédé de traitement thermique de matières, objet de la
10 présente invention,

- la figure 2 représente une courbe permettant de déterminer de manière empirique la température de fonctionnement d'un réacteur à flux entraîné en fonction de la composition des matières traitées,

15 - la figure 3 représente schématiquement une paroi en auto-creuset d'une chambre haute température d'un réacteur à flux entraîné utilisé au cours d'un procédé de traitement thermique de matières, objet de la présente invention.

20 Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur
25 les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

Les différentes possibilités (variantes et modes de réalisation) doivent être comprises comme n'étant pas exclusives les unes des autres et peuvent
30 se combiner entre elles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Comme cela a été précédemment décrit en liaison avec la figure 3, le réacteur à flux entraîné 1 comporte une chambre haute température 8 comprenant une paroi « multicouches » (couches 14, 16, 18 et 20) formée lors du fonctionnement en auto-creuset du réacteur 1.

Afin de mieux comprendre les différentes conditions posées par le procédé de traitement thermique de matières selon l'invention, on décrit ci-dessous une modélisation thermodynamique de la paroi multicouches du réacteur à flux entraîné 1.

Tout d'abord, les différentes températures de contact entre les couches 14, 16, 18 et 20 de la paroi mises en jeu au cours du fonctionnement du réacteur 1 sont :

- T_{fonc} : la température de fonctionnement du réacteur 1, c'est-à-dire la température du gaz présent en sortie de la chambre haute température 8 du réacteur 1,
- $T_{\text{g/s}}$: la température d'interface entre le gaz et la couche de cendres liquides 20,
- $T_{\text{s/solid}}$: la température d'interface entre la couche de cendres liquides 20 et la couche de cendres solides 18,
- $T_{\text{liner/solid}}$: la température d'interface entre la couche de cendres solides 18 et la couche intermédiaire 16 à base d'un matériau réfractaire, ici du SiC,
- $T_{\text{liner/water}}$: la température d'interface entre la couche intermédiaire 16 et le circuit de refroidissement 14.

Lorsque le réacteur fonctionne en régime continu, ou régime permanent, c'est-à-dire que tous les paramètres de fonctionnement sont constants dans le temps (puissance, débit de biomasse, etc.), la couche de cendres solides 18 est alors formée contre la couche intermédiaire 16 et le flux de chaleur ϕ qui traverse les différentes couches 20, 18, 16 et 14 de la paroi est constant.

Dans les couches solides (couches 14, 16 et 18), la distribution des températures est contrôlée par les transferts de chaleur conductifs à travers ces couches. L'épaisseur des différentes couches est supposée être faible devant le diamètre du réacteur. On peut donc écrire :

$$\phi = \lambda_{\text{liner}} \frac{T_{i_{\text{solid / liner}}} - T_{i_{\text{liner / water}}}}{e_{\text{liner}}} = \lambda_{\text{solidash}} \frac{T_{i_{\text{s / solid}}} - T_{i_{\text{solid / liner}}}}{e_{\text{solidash}}} \quad (1)$$

avec :

λ_{liner} : conductivité thermique de la couche intermédiaire 16,

$\lambda_{\text{solidash}}$: conductivité thermique de la couche de cendres solides 18,

e_{liner} : épaisseur de la couche intermédiaire 16,

e_{solidash} : épaisseur de la couche de cendres solides 18.

L'épaisseur de la couche intermédiaire 16 est connue. En conséquence, l'écart de températures sur l'épaisseur de la couche intermédiaire 16 peut être déterminé par :

$$T_{i_{\text{solid / liner}}} - T_{i_{\text{liner / water}}} = \frac{\phi \cdot e_{\text{liner}}}{\lambda_{\text{liner}}} \quad (2)$$

$T_{\text{liner/water}}$ est proche de la température de l'eau circulant dans le circuit de refroidissement 14, (par exemple environ 100°C). En prenant un flux de chaleur de référence, par exemple égal à environ 5 100 kW/m² si l'on souhaite ne pas dépasser ce niveau de pertes thermiques, avec une conductivité thermique caractéristique de la couche intermédiaire 16 comprise entre environ 5 W/m.K et 10 W/m.K, et une épaisseur de la couche intermédiaire 16 égale à environ 1 cm, on 10 obtient alors un écart de température compris entre environ 100°C et 200°C . Cet écart de température reste donc faible devant l'écart entre la température du gaz (par exemple comprise entre environ 1400°C et 1600°C) et celle de l'eau de refroidissement (égale à environ 15 100°C).

En supposant maintenant une conductivité thermique caractéristique de 1 W/m.K pour la couche de cendres solides 18 et une température de cendres liquides 20 proche de la température du gaz, on en 20 déduit une épaisseur de la couche de cendres solides 18 comprise entre environ 1 et 2 cm, et par exemple égale à environ 1,5 cm.

La température d'interface entre la couche de cendres solides et la couche de cendres liquides 25 ($T_{\text{s/solid}}$) est dérivée de considérations de métallurgie en « régime permanent ». Un fonctionnement en régime permanent du réacteur signifie que les débits, les compositions et les distributions de températures sont établies et ne varient pas dans le temps. Ceci signifie 30 en particulier que l'écoulement des cendres liquides 20

est établi et que la couche de cendres solides 18 est établie et que son épaisseur ne varie plus.

Il n'y a donc pas, en régime permanent de fonctionnement du réacteur, de solidification ni de dissolution de cendres à l'interface entre la couche de cendres solides 18 et la couche de cendres liquides 20 (pas de transfert de masse à cette interface). La vitesse de solidification des cendres est donc nulle. Or, une vitesse de solidification nulle en métallurgie permet de déduire que la température d'interface entre la couche de cendres liquides et la couche de cendres solides est égale, pour un système non-eutectique comme c'est le cas ici, à la température liquidus T_{liqu} de la cendre considérée :

$$T_{\text{s/solid}} = T_{\text{liqu}} \quad (3)$$

Ainsi, la température d'interface entre la couche de cendres liquides et la couche de cendres solides correspond donc à une propriété intrinsèque de la cendre, découplant ainsi la température régnant dans la chambre haute température de la température au sein de la paroi.

Etant donné que la température dans la couche de cendres liquides 20 est supérieure à $T_{\text{s/solid}}$, les cendres s'écoulant le long de la paroi de la chambre haute température, c'est-à-dire les cendres présentes dans la couche 20, sont complètement liquides (absence de solide).

Dans le réacteur à flux entraîné 1 décrit ici, l'épaisseur de la couche de cendres liquides 20 varie entre environ 0,5 mm et 2,5 mm pour une viscosité de référence égale à environ 1 Pa.s. De plus, la

vitesse moyenne d'écoulement des cendres liquides varie entre environ 2 mm/s et 20 mm/s.

En conséquence, le nombre de Reynolds reste très faible, par exemple égal à environ 10^{-5} , ce qui
5 confirme le régime laminaire d'écoulement des cendres liquides 20.

Si la viscosité est augmentée d'un facteur 1000, l'épaisseur de la couche de cendres liquides augmente d'un facteur compris entre environ 4 et 10,
10 tout comme la vitesse moyenne d'écoulement qui diminue du même facteur. La résistance thermique de conduction associée à la couche de cendres liquides varie ici entre environ $5 \cdot 10^{-4}$ et $2 \cdot 10^{-3}$ K.W⁻¹.m². Ceci signifie que, pour un flux de chaleur moyen égal à environ
15 100 kW/m², l'écart de températures sur l'épaisseur de la couche de cendres liquides est de l'ordre de 50°C à 200°C. La prise en compte du rayonnement permet de diminuer cet écart de températures d'un facteur compris entre environ 1,5 et 3. L'écart de températures sur
20 l'épaisseur de la couche de cendres liquides tombe alors entre environ 30°C et 70°C.

La température liquidus de la cendre est une propriété intrinsèque de la cendre. Les composants de base d'une cendre sont des oxydes, parmi lesquels la
25 silice (SiO₂) et l'oxyde de calcium (CaO) sont les plus importants en quantité. Ces espèces forment donc le système de référence pour l'analyse de l'évolution de la température liquidus T_{liqu} des cendres en fonction de la composition de ces cendres.

Par exemple, pour une composition de cendres comportant environ 2 kg de CaO et 1 kg de FeO, la variation de T_{liqu} en fonction de la quantité de SiO_2 est telle que :

Masse SiO_2 (kg)	T_{liqu}
1	1800
1,5	1690
2	1610
3	1620
4	1830

5 L'ajout d'oxydes à bas point de fusion, comme par exemple du K_2O , ou du Na_2O , qui sont présents de manière significative dans les cendres de biomasse (jusqu'à 20 % en poids), peut diminuer la T_{liqu} de près de 200°C.

10 De plus, on voit également que l'ajout de SiO_2 (respectivement de CaO) peut jouer soit le rôle de fondant (réduisant T_{liqu}) ou de réfractaire (augmentant T_{liqu}) en fonction de la concentration initiale en CaO (respectivement en SiO_2).

15 La température liquidus d'une cendre peut donc varier entre environ 1150°C jusqu'à plus de 1600°C en fonction de la composition de la cendre, voir même, pour une cendre très riche en oxyde de calcium, jusqu'à une température supérieure à environ 2000°C.

20 Compte tenu de ce qui a été exposé précédemment, la température de fonctionnement du réacteur est donc choisie supérieure à la température liquidus des cendres issues des matières traitées.

Les pertes thermiques sont alors données
25 par l'équation :

$$\phi = h_{\text{gas}} (T_{\text{fonc}} - T_{\text{g/s}}) \quad (5)$$

Avec h_{gas} : coefficient d'échange thermique lié à l'écoulement du gaz dans la chambre haute température.

$T_{\text{ig/s}}$ est égal à $T_{\text{liqu}} + \Delta T_{\text{slag}}$, avec ΔT_{slag} écart de températures sur l'épaisseur de la couche de cendres liquides. Or, ΔT_{slag} est petit en comparaison de T_{liqu} . En conséquence, T_{liqu} est une bonne approximation de $T_{\text{ig/s}}$. h_{gas} est directement lié à l'écoulement du gaz et au rayonnement thermique. Il apparaît donc que les pertes thermiques sont directement proportionnelles à l'écart $T_{\text{fonc}} - T_{\text{liqu}}$.

Ainsi, les pertes thermiques peuvent être réduites si l'on rapproche la température de fonctionnement du réacteur de la température liquidus de la cendre. Donc, en plus de faire fonctionner le réacteur à une température supérieure à la température liquidus des cendres, la température de fonctionnement du réacteur pourra être choisie supérieure d'environ 50°C à 100°C par rapport à T_{liqu} . On choisira de préférence T_{fonc} telle que l'on ait environ : $50^\circ\text{C} \leq (T_{\text{fonc}} - T_{\text{liq}}) \leq 100^\circ\text{C}$.

L'écart de température $T_{\text{fonc}} - T_{\text{liqu}}$ contrôle à la fois les pertes thermiques et l'épaisseur de la couche de cendres solides de la paroi du réacteur. En prenant 10 kW/m².K comme coefficient d'échange typique côté gaz (dans la chambre haute température) et un écart de température $T_{\text{fonc}} - T_{\text{liqu}}$ de 100°C environ, on trouve des pertes thermiques de l'ordre d'environ 100 kW/m² et une épaisseur de cendre solide d'environ 1 cm. Ces pertes thermiques correspondent à moins de 1% de perte de puissance pour un réacteur à flux entraîné

fonctionnant à 50 bars et traitant un débit d'environ 50 tonnes/heure de biomasse.

De préférence, on surveillera la composition des cendres au cours du procédé afin de s'assurer que la température liquidus ne varie pas plus d'environ 50°C. Le maintien de cet intervalle de températures revient donc à maintenir l'intervalle adéquat de composition des cendres.

Dans le cas où la composition initiale des matières traitées présente une température liquidus des cendres issues de ces matières qui ne permet pas de choisir une température de fonctionnement optimale, par exemple lorsque cette température liquidus est trop élevée, il est possible d'ajuster la composition des matières en la modifiant afin de modifier la température liquidus des cendres issues de la composition modifiée de matières. Cette modification est, dans ce cas, par exemple réalisée par des ajouts continus de composés inorganiques fondants à la composition initiale de matières traitées, tout au long du traitement thermique de ces matières.

D'un point de vue rendement énergétique du procédé, il peut être intéressant de choisir la température de fonctionnement du réacteur la plus basse possible, tout en veillant à ce qu'elle soit supérieure à la température liquidus des cendres issues des matières traitées. La température de fonctionnement optimale du réacteur peut notamment être choisie afin de permettre le reformage des goudrons et du méthane. On peut notamment choisir une température de fonctionnement inférieure à environ 1500°C, par exemple

égale à environ 1250°C. Si l'on souhaite faire fonctionner le réacteur à ce niveau de température, on pourra alors réduire la température de liquidus des cendres à environ 1150°C si la température liquidus des cendres issues de la composition initiale des matières
5 traitées est supérieure à cette valeur.

La température liquidus des cendres peut être réduite en incorporant des composés de type Na_2O , K_2O ou d'autres oxydes à bas point de fusion à la
10 composition initiale des matières traitées.

En fonction de la température de fonctionnement que l'on souhaite avoir, les opérations suivantes peuvent être réalisées :

- si l'on désire amener la température de fonctionnement du réacteur vers environ 1500°C, il est en premier lieu possible d'équilibrer les concentrations en SiO_2 et en CaO dans la composition de matières traitées en réalisant des ajouts de CaO si le SiO_2 est dominant dans la composition de matières
15 initiale, et vice-versa,

- si l'on désire augmenter la température de fonctionnement au-dessus d'environ 1500°C, il est possible d'augmenter la concentration en SiO_2 ou en CaO dans la composition initiale de matières traitées.
25 L'ajout de SiO_2 entraînera en outre une augmentation de la viscosité des cendres liquides,

- si l'on désire réduire la température de fonctionnement jusqu'à environ 150°C de moins que la température de fonctionnement initiale, il est possible
30 d'ajouter des composés tels que de l'oxyde fer ou du MgO ,

- si l'on désire réduire encore la température de fonctionnement, il est possible d'ajouter également des fondants tels que du K_2O , du Na_2O ou encore du B_2O_3 ou du P_2O_5 , en faisant attention à la volatilité de ces composants afin de ne pas modifier de manière incontrôlée la composition des cendres.

Une modification de la composition initiale des matières traitées, modifiant ainsi la composition de cendres dans le réacteur et modifiant donc la température liquidus de ces cendres, par ajouts de composés peut être réalisée de préférence lorsque la teneur en cendre (c'est-à-dire la teneur en composés inorganiques) initiale des matières traitées est faible (par exemple le cas du bois).

Tout au long du procédé de traitement thermique de matières mis en œuvre dans le réacteur 1, on pourra réaliser une mesure des pertes thermiques, par l'intermédiaire d'un bilan thermique réalisé sur le refroidissement des parois extérieures, afin de suivre l'évolution de la température du gaz, à composition de cendres constante. Ainsi, il est possible de modifier la composition de matières traitées si les pertes thermiques du réacteur dévient d'une manière trop importante.

On décrit ci-dessous trois exemples compositions de cendres différentes C1, C2 et C3, typiques de différentes variétés de biomasse. Les constituants fondamentaux des cendres étant le SiO_2 et le CaO , les trois compositions types ont des concentrations relatives variables de ces constituants:

- la composition C1 est riche en SiO_2 ,

- la composition C2 est équilibrée en CaO et SiO₂,

- la composition C3 est riche en CaO.

Les compositions des cendres C1, C2 et C3 (en pourcentage de poids) sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

	C1	C2	C3
SiO ₂	60	34	11
Al ₂ O ₃	5	1	2
Fe ₂ O ₃	3	5	2
CaO	13	34	53
MgO	4	3	10
K ₂ O	14	22	16
Na ₂ O	1	1	2
P ₂ O ₅	0	0	4

Les températures liquidus de ces cendres sont ensuite calculées au moyen de logiciels de calculs thermodynamiques, à partir de leur composition chimique. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

	C1	C2	C3
Température liquidus (°C)	1324	1256	2190

15

Dans la mise en œuvre du procédé de traitement thermique de matières décrit ici, la température liquidus des cendres issues des matières traitées est de préférence calculée à partir d'un logiciel de calculs thermodynamique pour des raisons de

20

coût et de rapidité. Toutefois, il serait également possible de mesurer la température liquidus des cendres issues des matières traitées par différentes techniques, comme par exemple celles décrites ci-dessous.

5 En outre, il est également possible que la température liquidus des cendres soit déterminée par l'intermédiaire d'un logiciel de modélisation dont les modèles de basent sur des données expérimentales établies avec des cendres de différentes compositions.

10 Ainsi, en fonction de la composition des matières traitées, et éventuellement des composés inorganiques ajoutés, il est possible d'estimer la température Liquidus des cendres issues de cette composition de matières traitées, et définir ensuite la température de

15 fonctionnement du four.

La température liquidus peut par exemple être mesurée par une méthode d'observations microscopiques après une trempe d'une petite quantité (par exemple 40 mg) de cendres sous forme de bille

20 initialement portée à haute température dans un four. Selon une autre méthode, la température liquidus des cendres peut également être mesurée in situ par diffraction de rayons X à haute température. Selon une autre méthode, la température liquidus des cendres peut

25 également être approchée par une Analyse Thermique Différentielle - Analyse Thermogravimétrique (ATD-ATG), méthode calorimétrique consistant à suivre l'évolution de la différence de température entre l'échantillon étudié et un corps témoin inerte.

30 D'autres méthodes de mesure pourraient également être utilisées pour mesurer la température

liquidus des cendres des matières traitées (mesure par pyrométrie optique, ...).

Compte tenu des températures liquidus des cendres C1, C2 et C3 précédemment calculées, on voit
5 que la composition des cendres C3 n'est pas adaptée pour un traitement thermique dans un réacteur à flux entraîné dont la température de fonctionnement souhaitée est comprise entre environ 1400°C et 1600°C. Ainsi, pour la composition C3, les matières à partir
10 desquelles ces cendres sont obtenues peuvent être modifiées de la façon suivante :

- on équilibre tout d'abord les concentrations en SiO_2 et en CaO dans la composition initiale des matières traitées,
- 15 - on réduit encore la température liquidus des cendres en réalisant des ajouts de fondants, c'est-à-dire des ajouts de K_2O et/ou de Na_2O et/ou P_2O_5 et/ou de MgO et/ou de Fe_2O_3 .

La composition des cendres C2 peut
20 également être optimisée en réduisant la température de liquidus de ces cendres en ajoutant un fondant, par exemple du Fe_2O_3 ou du MgO (selon les compositions de cendres, du MgO peut présenter un caractère fondant si celui-ci est ajouté en petite quantité).

25 La température de fonctionnement du réacteur peut être modifiée notamment en jouant sur le débit d'oxygène (gaz réactant) en entrée de la chambre haute température. En effet, la conséquence directe d'une augmentation du débit d'oxygène en entrée de la
30 chambre est une augmentation de la température des gaz

dans la chambre car le combustible est alors davantage oxydé.

Afin d'optimiser le rendement chimique du réacteur, on peut donc chercher à minimiser la température de fonctionnement du réacteur en minimisant le débit d'oxygène, tout en conservant la température de fonctionnement du réacteur supérieure à la température liquidus des cendres issues des matières traitées, avec par exemple un écart entre ces deux températures compris entre environ 30°C et 100°C. De plus, il conviendra également d'avoir une température de fonctionnement permettant de gazéifier complètement le charbon de la biomasse. Cette température peut toutefois être abaissée en réduisant la taille des particules introduites en entrée du réacteur. Ceci est vrai jusqu'à la taille en dessous de laquelle le régime purement chimique est atteint et qu'il n'y a plus de limitation de vitesse à cause de la diffusion. En dessous de cette taille, la cinétique de gazéification dépend alors uniquement de la température. Il est notamment possible que la matière gazéifiée dans le procédé de traitement thermique décrit ici soit de la biomasse prétraitée, par exemple sous la forme de petites particules, de suspension solide dans un liquide organique (ou « slurry » en anglais), de char (charbon de biomasse) selon des techniques telles que par lits fluidisé, pyrolyse lente, torréfaction ou encore broyage.

La taille des particules des matières traitées et le rajout d'agents fondants sont donc deux paramètres qui permettent d'optimiser le rendement

chimique du réacteur en minimisant le besoin en oxygène pour la combustion.

Le procédé de traitement thermique de matières précédemment décrit s'applique lorsque le réacteur fonctionne en régime permanent. Toutefois, il est également possible d'optimiser la phase de démarrage du réacteur, c'est-à-dire celle au cours de laquelle se forme la couche de cendres solides contre la paroi du réacteur.

Le refroidissement réalisé par le circuit de refroidissement 14 permet de former la couche de cendres solides d'une épaisseur suffisante pour protéger thermiquement la paroi, et particulièrement la couche intermédiaire 16. Le temps caractéristique de mise en place de la couche de cendres solides 18 est inversement proportionnel au débit du réacteur 1. Par exemple, dans le cas d'un réacteur de taille industriel (c'est-à-dire dont le débit est supérieur ou égal à environ 50 tonnes/heure, la couche de cendres solides 18 peut se former en environ six heures, alors que pour un réacteur de petite taille (débit égal à environ 50 kg/h), la couche de cendres solides sera formée après environ 5 jours.

Au démarrage du réacteur, il est possible d'accélérer la formation de la couche de cendres solides (phase de culottage) tout en diminuant les pertes énergétiques pendant la phase de culottage par les étapes suivantes :

- augmenter le taux de cendres dans la biomasse,

- réduire la température de fonctionnement du réacteur pendant la phase de démarrage. Cette action a un effet direct sur les pertes thermiques et l'épaisseur des cendres solides.

REVENDICATIONS

1. Procédé de traitement thermique de
matières (4) dans un réacteur (1) à chambre haute
5 température (8) et à paroi en auto-creuset (14, 16, 18,
20), comportant au moins une étape de détermination de
la température liquidus T_{liq} des cendres (18, 20) issues
des matières traitées (4), la température de
fonctionnement du réacteur T_{fonc} en régime permanent
10 étant ensuite choisie telle que $T_{fonc} > T_{liq}$.

2. Procédé selon la revendication 1,
comportant en outre les étapes de :

- modification de la composition initiale
15 des matières traitées (4) par ajout de composés
inorganiques ; puis

- détermination de la température liquidus
 T_{liq2} des cendres (18, 20) issues de la composition
modifiée des matières traitées (4),

20 la température de fonctionnement du
réacteur T_{fonc} permanent étant ensuite choisie telle que
 $T_{fonc} > T_{liq2}$.

3. Procédé selon l'une des revendications
25 précédentes, dans lequel T_{fonc} est choisie telle que
 $30^{\circ}\text{C} \leq (T_{fonc} - T_{liq}) \leq 100^{\circ}\text{C}$ et/ou
 $30^{\circ}\text{C} \leq (T_{fonc} - T_{liq2}) \leq 100^{\circ}\text{C}$.

4. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la composition initiale des matières traitées (4) est modifiée telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres (18, 20) issues de la composition modifiée des matières traitées (4) soit comprise entre environ 1000°C et 1800°C.

5. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la composition initiale des matières traitées (4) est modifiée telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres (18, 20) issues de la composition modifiée des matières traitées (4) soit comprise entre environ 1400°C et 1600°C.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel la modification de la composition initiale des matières traitées (4) telle que la température liquidus T_{liq2} des cendres (18, 20) issues de la composition modifiée des matières traitées (4) soit comprise entre environ 1400°C et 1600°C comporte au moins une étape d'ajout de composés inorganiques à la composition initiale des matières traitées (4) rendant sensiblement égales les concentrations en SiO_2 et en CaO dans la composition modifiée des matières traitées (4).

7. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la composition initiale des matières traitées (4) est modifiée par au moins une étape d'ajout de MgO et/ou de Fe_2O_3 et/ou de K_2O et/ou de Na_2O et/ou de P_2O_5 et/ou de CaO et/ou de SiO_2 , en fonction de la température liquidus T_{liq2} des cendres

(18, 20) issues de la composition modifiée des matières traitées (4) souhaitée.

8. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de la couche de cendres solides (18) de la paroi en auto-creuset du réacteur (1) est inférieure ou égale à environ 5 cm et/ou est sensiblement constante durant le fonctionnement du réacteur à sa température de fonctionnement T_{fonc} .

9. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'épaisseur de la couche de cendres solides (18) de la paroi en auto-creuset du réacteur (1) est comprise entre environ 1 cm et 2 cm et/ou est sensiblement constante durant le fonctionnement du réacteur à sa température de fonctionnement T_{fonc} .

10. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la composition des cendres (18, 20) formées sur la paroi du réacteur (1) est analysée au moins une fois au cours du procédé de traitement thermique.

11. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le réacteur (1) à paroi en auto-creuset (14, 16, 18, 20) est du type à flux entraîné et/ou les matières traitées (4) sont de la biomasse.

12. Procédé selon l'une des revendications précédentes, dans lequel la température liquidus des cendres (18, 20) issues des matières traitées (4) est déterminée par un logiciel de calculs thermodynamiques.

1 / 2

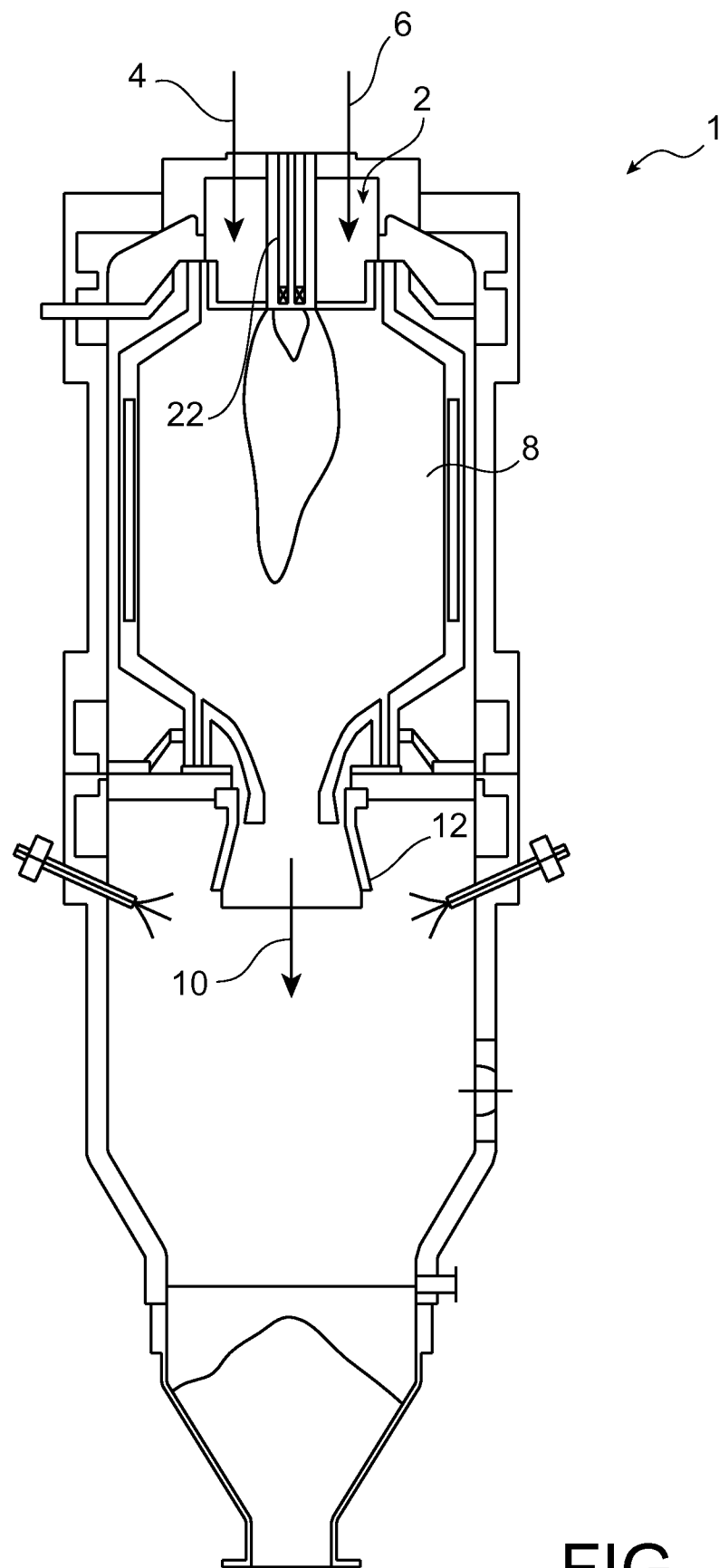


FIG. 1

2 / 2

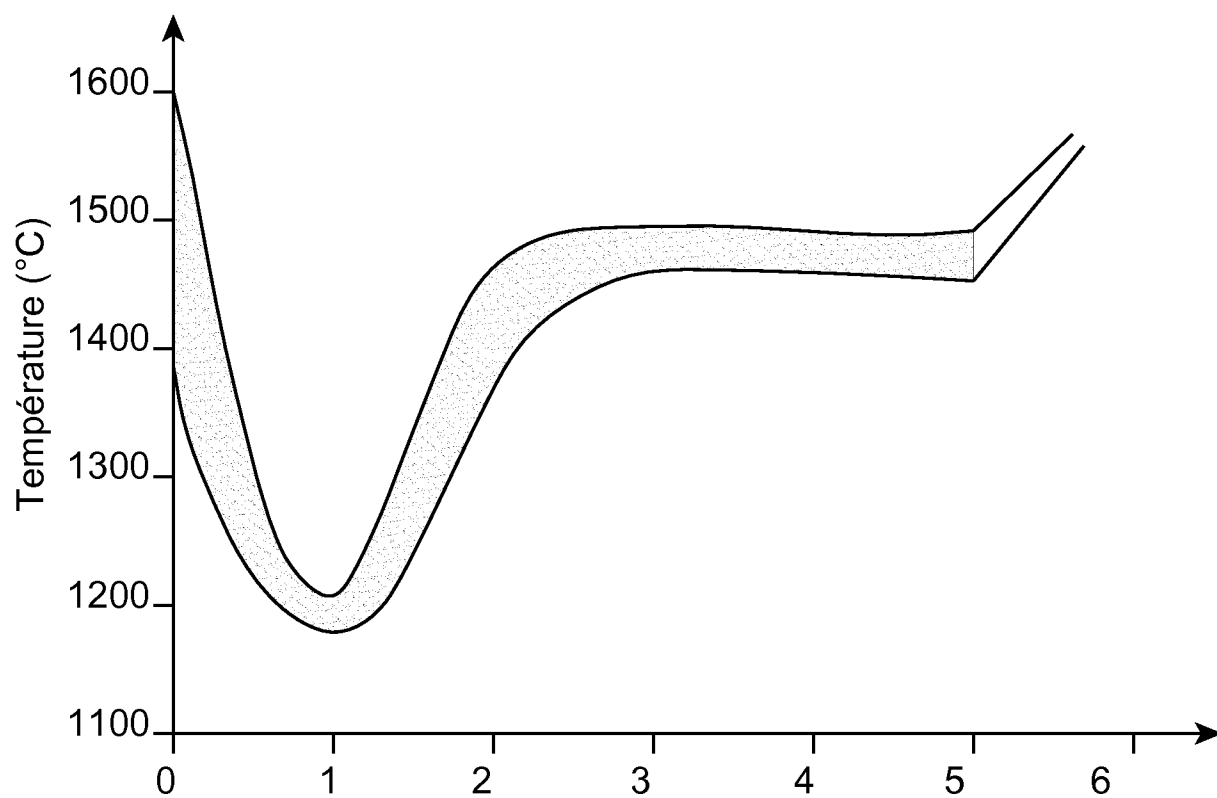


FIG. 2

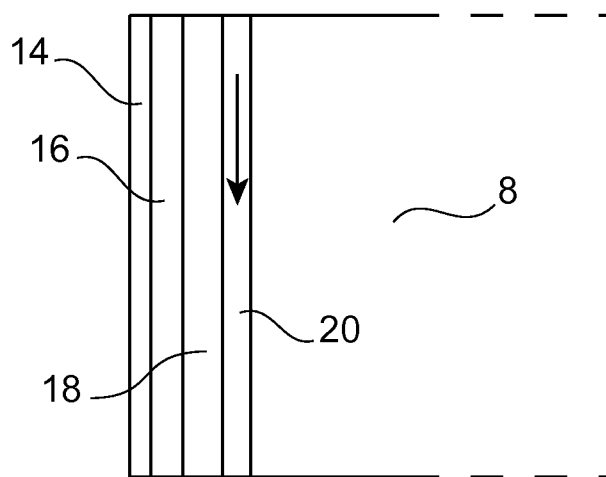


FIG. 3