



OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

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

Déclarations en vertu de la règle 4.17 :

— *relative à la qualité d'inventeur (règle 4.17.iv)*

gazeux de synthèse (FS) est ensuite diminuée pour réaliser une réaction de water-shift où une partie de la vapeur d'eau résiduelle (H_2O_g) est réduite par des éléments de monoxyde de carbone (CO) pour produire de l'hydrogène (H_2). L'hydrogène (H_2) obtenu est ensuite séparé.

Procédé et système de production d'hydrogène intégré à partir de matière organique

La présente invention concerne un procédé de production
5 d'hydrogène intégré (H_2). Elle concerne également un système mettant en œuvre le procédé selon l'invention.

Le domaine de l'invention est le domaine de la production de gaz de synthèse à partir de matière organique et plus particulièrement le domaine de la production de H_2 .

10 Il existe actuellement des procédés et systèmes de production de H_2 à partir des gaz de pyrolyse ou de gazéification de biomasse ou de déchets quelconques. Ces systèmes permettent la synthèse de H_2 par traitement de biomasse à haute température. Un tel traitement comprend en général une première phase de pyrolyse de la biomasse suivie d'une phase de
15 gazéification de la biomasse. Ces deux opérations sont soit réalisées au niveau d'un seul étage soit au niveau de deux étages séparés avec un déplacement de la biomasse de l'étage réalisant la pyrolyse vers l'étage réalisant la gazéification. Les gaz de synthèse obtenus après gazéification comprennent du H_2 et du monoxyde de carbone (CO) dans des proportions
20 variables et à priori non déterminables et mélangés à d'autres composés.

Ces procédés et systèmes présentent plusieurs inconvénients.

Un des inconvénients de ces procédés et systèmes vient du fait qu'il n'est pas possible de contrôler la proportion de H_2 /CO. Par ailleurs il n'est pas possible de déterminer à priori cette proportion. De plus, dans ces systèmes
25 la proportion de H_2 est en général plus faible que la proportion de CO.

Un autre inconvénient de ces systèmes est la perte d'éléments de carbone valorisables provenant de la biomasse.

Encore un autre inconvénient de ces systèmes vient de la génération de résidus polluants tels que des goudrons. Certains procédés et systèmes
30 prévoient des opérations d'élimination de ces goudrons. Mais ces opérations sont complexes et onéreuses.

Enfin, certains procédés et systèmes existants nécessitent l'utilisation de biomasse ou de déchets présentant un faible taux d'humidité. Ce qui

présente l'inconvénient d'un traitement préalable de la biomasse pour diminuer l'humidité de la biomasse.

Un objectif de l'invention est de proposer un procédé et un système de production de H_2 à partir de matière organique quelque soit le taux
5 d'humidité de la matière organique.

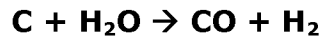
Un autre objectif de l'invention est de proposer un système de production de H_2 à partir de biomasse végétale se présentant sous la forme d'un ensemble unique, intégré, complet et moins onéreux que les systèmes actuels.

10 Enfin, un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé et système de production de H_2 à partir de biomasse végétale permettant de contrôler la proportion de H_2 produit.

L'invention propose ainsi un procédé de production d'hydrogène (H_2)
15 à partir de matière organique, ledit procédé comprenant les étapes suivantes :

- 20 - pyrolyse d'une charge de matière organique par passage au travers de ladite matière organique d'un flux gazeux de traitement. Selon l'invention le flux gazeux de traitement comprend essentiellement du CO_2 caloporteur. La pyrolyse produit, d'une part un flux gazeux de pyrolyse comprenant le flux gazeux de traitement, de la vapeur d'eau (H_2O) et des composés organiques volatils (COV) provenant de la matière organique, et d'autre part des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone ;
- 25 - oxycombustion desdits composés organiques volatils présents dans le flux gazeux de pyrolyse, par injection d'oxygène, en amont d'une couche de matière filtrante oxydo-réductrice comprenant des éléments de carbone à haute température ; et
- 30 - après ladite oxycombustion, passage dudit flux gazeux de pyrolyse oxydé au travers de ladite couche oxydo-réductrice, ledit passage produisant un flux gazeux de synthèse comprenant de l'hydrogène (H_2) obtenu par désoxydation de la vapeur d'eau par les éléments de carbone haute température.

La désoxydation de la vapeur d'eau par les éléments de carbone à haute température de la couche oxydo-réductrice se fait selon les réactions suivantes :



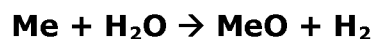
5



Le procédé selon l'invention permet de produire de l'hydrogène à partir de matière organique, quelque soit le taux d'humidité de la matière organique, il intègre la dessiccation préalable de la matière organique, en vue de la valorisation de la vapeur d'eau et de l'énergie inhérente, au cours de l'étape de pyrolyse. Ainsi, il n'est pas nécessaire, dans le procédé selon l'invention, que la matière organique subisse un traitement préalable, par exemple de séchage, pour diminuer le taux d'humidité de la matière organique.

Par ailleurs, le procédé selon l'invention permet de traiter les composés lourds présents dans le gaz de pyrolyse. Ces derniers sont craqués lors de l'oxycombustion des COV.

La couche oxydo-réductrice peut avantageusement comprendre des oxydes sous une forme réduite. Ces oxydes réalisent une désoxydation d'une partie de la vapeur d'eau (H_2O), la désoxydation produisant des éléments d'hydrogène (H_2). Après la désoxydation, les oxydes se trouvent sous une forme oxydée. La désoxydation de la vapeur d'eau par les oxydes sous une forme réduite se fait selon la réaction suivante :



Après la désoxydation de H_2O , les oxydes sont activés ou oxydés.

Avantageusement, au moins une partie des oxydes sous une forme oxydée, obtenus suite à la désoxydation de la vapeur d'eau selon la réaction décrite ci-dessus dans la couche oxydo-réductrice est utilisée pour une oxydation des composés organiques volatils (COV) en amont de la couche oxydo-réductrice. Après oxydation des COV, les oxydes se trouvent de nouveau sous une forme réduite. Au moins une partie de ces oxydes sous une forme réduite est de nouveau utilisée dans la couche oxydo-réductrice pour une nouvelle désoxydation de la vapeur d'eau.

Ainsi, le procédé selon l'invention comprend un bouclage des oxydes, entre la couche oxydo-réductrice où ces oxydes désactivés sont activés par

désoxydation de la vapeur d'eau, et une zone d'oxydation des COV où les oxydes activés sont désactivés suite à une oxydation des COV.

Par ailleurs, l'oxycombustion est réalisée par une injection d'oxygène, O_2 , en amont de la couche oxydo-réductrice.

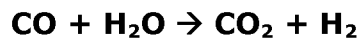
- 5 L'oxydation des COV par les oxydes est endothermique et se fait sans flamme alors que l'oxycombustion des COV est exothermique et se fait avec flammes. Ainsi, pour maintenir la zone d'oxydation à une température suffisante pour la désoxydation des COV, le procédé selon l'invention nécessite un bon équilibrage entre l'oxydation des COV par des oxydes et
- 10 l'oxycombustion des COV par injection d' O_2 . L'équilibrage se fait par le dosage des oxydes sous une forme oxydés en fonction de la matière organique. L'équilibre thermique est réalisé par oxycombustion d'une partie des COV. Pour augmenter la température du flux gazeux de pyrolyse oxydé devant traverser la couche oxydo-réductrice, il peut être utile de réaliser
- 15 l'oxycombustion d'une partie des éléments carbone de la partie inférieure de la couche oxydo-réductrice, par exemple par une injection d'oxygène juste en dessous de la couche oxydo-réductrice.

- Dans un mode de réalisation particulier, les oxydes suivants peuvent être utilisés dans la présente invention : Fe_2O_3 , NiO , CuO , CoO , CeO , ZnO ,
- 20 CaO , MgO , TiO_2 , Al_2O_3 . Bien entendu, ces oxydes sont donnés à titre d'exemples non limitatifs.

- Pour obtenir une réactivité à la fois élevée et constante lors des réactions d'oxydation des COV par les oxydes, des combinaisons d'oxydes peuvent être utilisées. Des exemples non limitatifs de combinaisons
- 25 d'oxydes sont Fe_2O_3/CaO , NiO/Al_2O_3 , CuO/TiO_2 , CoO/MgO , CoO/CaO .

- En sortie de la couche oxydo-réductrice, le flux gazeux de synthèse peut en outre comprendre du monoxyde de carbone (CO) et de la vapeur d'eau (H_2O). Le procédé selon l'invention peut comprendre, dans ce cas, un abaissement en température du flux gazeux de synthèse en aval de la
- 30 couche oxydo-réductrice. Cet abaissement en température est réalisable par l'interposition d'au moins un échangeur thermique qui aura aussi pour objet d'absorber l'exothermie de la réaction d'oxydoréduction, dite de water-shift, qui est ainsi rendue possible entre le monoxyde de carbone

(CO) et la vapeur d'eau (H₂O), produisant du H₂ et du CO₂ suivant l'équation :



Le procédé selon l'invention permet, grâce à cette étape de réduction
5 de la vapeur d'eau par des composés de monoxyde de carbone, de contrôler et de faire varier la proportion de H₂ produit dans le flux gazeux de synthèse.

Après la réaction de water-shift, appelé aussi CO-shift, le flux gazeux de synthèse peut comprendre de la vapeur d'eau résiduelle, non réduite en
10 fonction de la charge organique humide initiale. Pour éliminer la vapeur d'eau résiduelle, le procédé selon l'invention peut comprendre une séparation de la vapeur d'eau des autres composants présents dans le flux gazeux de synthèse par condensation de la vapeur d'eau. Cette condensation peut être réalisée par une diminution de la température du
15 flux gazeux de synthèse à la température de condensation de la vapeur d'eau.

Après la séparation de la vapeur d'eau résiduelle, le flux gazeux de synthèse comprend en principe de l'hydrogène, du dioxyde de carbone et le flux gazeux de traitement.

20 Le procédé selon l'invention peut alors comprendre une étape de séparation de l'hydrogène H₂ présent dans le flux gazeux de synthèse. Cette séparation peut se faire par des techniques connues de l'homme de métier, par exemple un système membranaire de séparation moléculaire.

Après la séparation du dihydrogène, le flux gazeux de synthèse
25 résiduel comprend essentiellement du CO₂. Au moins une partie de ce CO₂ peut être réutilisée en tant que flux gazeux de traitement pour la pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique après être chauffée. Au moins une partie du CO₂ obtenu devient donc le flux caloporteur pour la pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique.

30 Avantagusement, l'abaissement de la température du flux gazeux de synthèse en aval de la couche oxydo-réductrice peut comprendre un transfert d'énergie thermique de ce flux gazeux de synthèse vers au moins une partie du flux gazeux de traitement, amenant ainsi ledit flux gazeux de traitement à une température de pyrolyse d'une charge de matière

organique. Ainsi, le procédé selon l'invention peut comprendre un bouclage permettant une réutilisation continue du flux gazeux de traitement servant à la pyrolyse de la matière organique. Ainsi, le CO₂ réutilisé est recyclé en continu et n'est pas rejeté dans l'atmosphère.

5 Par ailleurs, l'abaissement de la température du flux gazeux de synthèse en aval de la couche oxydo-réductrice peut en outre comprendre un transfert d'énergie thermique vers de l'eau liquide en circulation, réalisant ainsi un changement d'état de ladite eau liquide pour obtenir de la vapeur d'eau surchauffée.

10 Le procédé selon l'invention peut en outre comprendre une étape d'ajout, au flux gazeux de pyrolyse oxydé, de la vapeur d'eau. Cette vapeur d'eau peut être celle obtenue ci-dessus. En effet, lorsque la matière organique à pyrolyser n'est pas suffisamment humide pour obtenir une quantité satisfaisante de vapeur d'eau dans le flux gazeux de pyrolyse en
15 vue d'obtenir une quantité d'hydrogène voulue, le flux gazeux de pyrolyse oxydé peut être enrichi par de la vapeur d'eau, soit pour compenser l'humidité faible de la matière organique et augmenter la quantité d'H₂ obtenu, soit pour régler le rapport H₂/CO. En effet, la quantité de vapeur d'eau résiduelle dans le flux gazeux de synthèse doit être suffisamment
20 importante pour réaliser la réaction de water-shift décrite plus haut.

Selon une particularité avantageuse du procédé selon l'invention, au moins une partie des charbons de pyrolyse générés à l'étape de pyrolyse peut être utilisée pour composer au moins en partie la couche de matière filtrante oxydo-réductrice.

25 Cette étape de pyrolyse peut se faire progressivement sous forme de sous étapes, ces sous étapes réalisant la gazéification progressive de la matière organique.

Dans une version particulière du procédé selon l'invention, l'étape de pyrolyse peut être :

- 30 - précédée d'une étape préalable de déshydratation de la matière organique, et/ou
 - suivie d'une étape de carbonisation de la biomasse après l'étape de pyrolyse, cette étape de carbonisation finalisant la gazéification de la matière organique.

Selon un autre aspect de l'invention, il est proposé un système de production d'hydrogène à partir de matière organique, ledit système comprenant une enceinte unique comprenant :

- 5 - un premier réacteur de pyrolyse d'une charge de matière organique par passage au travers de ladite matière organique d'un flux gazeux de traitement comprenant essentiellement du CO₂ caloporteur, ladite pyrolyse fournissant, d'une part un flux gazeux de pyrolyse comprenant ledit flux gazeux de traitement, de la vapeur d'eau (H₂O)
10 et des composés organiques volatils (COV), et d'autre part des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone, et
- un deuxième réacteur comprenant :
 - 15 ▪ une zone d'oxydation desdits composés organiques volatils présents dans ledit flux gazeux de pyrolyse par des éléments d'oxygène, et
 - 20 ▪ une grille supportant une couche de matière filtrante oxydo-réductrice comprenant des éléments de carbone à haute température, située en aval de la zone d'oxydation, prévue pour être traversée par ledit flux gazeux de pyrolyse oxydé provenant de la zone d'oxydation, ce flux est alors composé du flux de traitement, des molécules produites par l'oxydation des COV (CO₂, H₂O, etc.) et de la vapeur d'eau initiale et/ou injectée, pour fournir un flux gazeux de synthèse comprenant de l'hydrogène obtenu par désoxydation, par lesdits éléments
25 de carbone, d'au moins une partie de la vapeur d'eau présente dans ledit flux gazeux de pyrolyse oxydé.

Le système selon l'invention permet de produire, dans une enceinte unique, intégrée, se présentant sous la forme d'un ensemble monobloc, de l'hydrogène à partir de matières organiques humides, par exemple de la
30 biomasse humide, contrairement aux installations actuelles dans lesquelles la biomasse et/ou la matière organique est d'abord traitée en température dans une première enceinte permettant de diminuer son humidité, puis transportée dans une deuxième enceinte pour la génération d'hydrogène.

Le premier réacteur comprend au moins une grille sur laquelle est disposée la matière organique à pyrolyser. Dans une version particulière du système selon l'invention, le premier réacteur peut comprendre une pluralité de grilles, disposées les unes sous les autres, chacune desdites

5 grilles étant adaptée pour :

- injecter du flux gazeux de traitement dans la matière organique disposée sur ladite grille,
- laisser passer le flux gazeux de traitement ascendant et provenant des grilles inférieures, chargé des COV et de la vapeur d'eau
- 10 provenant de la charge de matières organiques contenues par les dites grilles, et
- recevoir la matière organique d'une grille supérieure et transférer la matière organique vers une grille inférieure.

En effet, dans cette version particulière, le flux gazeux de traitement, est directement injecté au cœur de la matière organique se trouvant sur chaque grille. Chacune des grilles du premier réacteur comprennent un ou plusieurs orifices distribuant le flux gazeux de traitement à la matière organique se trouvant sur cette grille. La matière organique disposée sur une grille est en outre traversée par le flux gazeux de traitement provenant

20 des grilles inférieures. Chacune des grilles peut être par ailleurs mécanisée.

En outre, le premier et le deuxième réacteur sont séparés par une double paroi formant une communication reliant la partie haute du premier réacteur à la partie basse du deuxième réacteur, ladite communication autorisant :

- 25 - le passage du flux gazeux de pyrolyse de la partie haute dudit premier réacteur vers la partie basse dudit deuxième réacteur, et
- un échange thermique entre ledit deuxième réacteur et le flux gazeux de pyrolyse.

Avantageusement, la couche de matière oxydo-réductrice peut en outre comprendre des oxydes sous une forme réduite et participant à la désoxydation de la vapeur d'eau traversant cette couche, la désoxydation de la vapeur d'eau par les oxydes produisant du dihydrogène (H_2) et des oxydes sous une forme oxydée.

30

La zone d'oxydation des composés organiques volatils, peut en outre comprendre un ou plusieurs injecteurs d'oxygène agencés pour injecter de l'oxygène nécessaire à une oxycombustion d'au moins une partie des composés organiques volatils dans ladite zone d'oxydation.

5 La zone d'oxydation des composés organiques volatils, peut en outre comprendre un ou plusieurs injecteurs d'oxygène (avec un dispositif d'inflammation) agencés pour injecter de l'oxygène nécessaire à une oxycombustion d'au moins une partie des composés organiques volatils, en amont de ladite zone d'oxydation.

10 Par ailleurs, la grille supportant la couche de matière oxydo-réductrice est agencée pour autoriser l'écoulement des oxydes sous une forme oxydée vers la zone d'oxydation des composés organiques volatils, au moins une partie des composés organiques volatils étant oxydée par lesdits oxydes sous une forme oxydée. Ainsi, les oxydes qui sont à haute
15 température dans la couche oxydo-réductrice sont transférés dans la zone d'oxydation des COV de manière naturelle, et sans manipulation.

La zone d'oxydation des composés organiques volatils (COV) peut en outre comprendre une ou plusieurs grilles, disposées les unes sous les autres, et prévues pour ralentir l'écoulement des oxydes sous une forme
20 oxydée de manière à améliorer l'oxydation des composés organiques volatils (COV) par les oxydes sous une forme oxydée.

Le système selon l'invention peut en outre comprendre un dispositif de transbordement réalisant un transfert :

- 25 - des charbons de pyrolyse du premier réacteur vers la grille du deuxième réacteur supportant la couche de matière oxydo-réductrice, et
- des oxydes sous une forme réduite de la partie basse du deuxième réacteur vers la dite grille,

lesdits charbons de pyrolyse et lesdits oxydes sous une forme réduite étant
30 mélangés de manière homogène avant ou pendant le transbordement, avant d'être disposés sur ladite grille. Le mélange homogène des oxydes et des charbons de pyrolyse avant d'être disposés sur la grille supportant la couche oxydo-réductrice permet d'avoir une couche de matière oxydo-réductrice homogène et permet de porter les éléments de carbone

(charbons de pyrolyse) à la température utile à leur oxydation par l'oxygène de la molécule de H_2O .

En aval de la couche oxydo-réductrice, le flux gazeux de synthèse peut comprendre du monoxyde de carbone (CO) et de la vapeur d'eau (5 H_2O). Le système selon l'invention comprend en outre au moins un échangeur de chaleur agencé pour abaisser et contrôler la température du flux gazeux de synthèse. Cet abaissement en température autorise une réaction d'oxydoréduction, dite de water-shift, entre le monoxyde de carbone (CO) et la vapeur d'eau (H_2O) produisant du H_2 et du CO_2 .

10 Dans une version particulièrement avantageuse, le système selon l'invention peut comprendre :

- un premier échangeur prévu pour réaliser un échange de chaleur du flux gazeux de synthèse vers le flux gazeux de traitement, et
- un deuxième échangeur prévu pour réaliser un échange de chaleur (15 du flux gazeux de synthèse vers de l'eau liquide produisant de la vapeur d'eau.

La vapeur d'eau obtenue peut être utilisée pour enrichir le flux gazeux de pyrolyse en vapeur d'eau au cas où la matière organique pyrolysée dans le premier réacteur présente un taux d'humidité trop faible.

20 Le système selon l'invention comprend en outre des moyens de séparation de l'hydrogène du flux gazeux de synthèse.

Les différentes ouvertures vers l'extérieur du système selon l'invention sont prémunies de toute entrée d'air extérieur par des sas maintenus sous CO_2 .

25

D'autres avantages et caractéristiques apparaîtront à l'examen de la description détaillée d'un mode de réalisation nullement limitatif, et des dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation schématique d'un procédé selon (30 l'invention ;
- la figure 2 est une représentation schématique selon une vue en coupe d'un système selon l'invention ; et
- la figure 3 est une représentation schématique selon une vue de derrière du système de la figure 1 ;

- 11 -

- la figure 4 est une représentation schématique selon une vue de dessus d'une zone d'oxycombustion dans le système de la figure 2 ;
- la figure 5 est une représentation selon une vue en coupe de la zone d'oxycombustion de la figure 4 ;
- 5 - la figure 6 est une représentation schématique selon une vue de dessus d'une grille mise en œuvre dans le système de la figure 2 ;
- la figure 7 est une représentation schématique selon une vue en coupe de la grille de la figure 6 ; et
- la figure 8 est une représentation schématique selon une vue en
10 coupe d'un barreau de la grille de la figure 6.

La figure 1 est une représentation d'un exemple de différentes étapes d'un procédé selon l'invention.

De la matière organique MO, plus ou moins humide, est introduite
15 dans un premier réacteur ainsi qu'un flux gazeux de traitement FT qui comprend essentiellement du CO₂ caloporteur. Dans le présent exemple, la matière organique MO contient 50% d'humidité, ce peut être de la biomasse végétale fraîchement coupée/collectée ou toute autre biomasse ou matière organique, présentant une valeur énergétique. Le flux gazeux
20 de traitement FT est au préalable amené à sa température de traitement permettant la pyrolyse des matières organiques MO. La température de traitement est définie par les caractéristiques des composés gazéifiables de la matière organique MO et les caractéristiques des charbons de pyrolyse souhaitées.

25 A l'étape 100, la matière organique est soumise à une pyrolyse. La pyrolyse est réalisée sous forme de plusieurs sous étapes dont :

- la première est une sous étape de déshydratation de la matière organiques, et
- la dernière est une étape de carbonisation de la matière organique,
30 produisant des charbons de pyrolyse à partir de la dite matière organique MO.

La pyrolyse de la matière organique produit :

- d'une part, un flux gazeux de pyrolyse FP comprenant le flux gazeux de traitement FT, c'est-à-dire du essentiellement du CO₂, de la

vapeur d'eau H_2O provenant de la matière organique et des composés organiques volatils COV provenant aussi de la matière organique MO, et

- d'autre part, des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone C à haute température.

Le flux gazeux de pyrolyse FP et les éléments de carbone C sont transférés au fur et à mesure de la pyrolyse dans un deuxième réacteur et seront traités tel que décrit ci-dessous.

- Les charbons de pyrolyse sont mélangés de manière homogène à des oxydes sous une forme réduite ou désactivée Me, le mélange est ensuite déposé sur une grille dans le deuxième réacteur pour former une couche de matière filtrante oxydo-réductrice. Les éléments de carbone C et les oxydes Me désactivés sont prévus pour réaliser une désoxydation de la vapeur d'eau qui traverse cette couche oxydo-réductrice tel que décrit ci-dessous.
- Les oxydes désactivés Me sont activés MeO suite à cette désoxydation et sont transférés vers une zone de désoxydation.

- Le flux gazeux de pyrolyse FP traverse, à l'étape 102, une zone de d'oxycombustion d'une partie des COV et une zone d'oxydation d'une autre partie des COV présents dans ce flux gazeux de pyrolyse FP. Dans ces zones, les COV subissent au moins en partie :

- d'une part une oxycombustion par injection, dans le flux gazeux de pyrolyse FP, d' O_2 ; et
- d'autre part une oxydation par des oxydes sous une forme oxydée ou activée MeO : ces oxydes activés MeO sont les oxydes mélangés aux charbons de pyrolyse dans la couche oxydo-réductrice sous une forme désactivée Me qui ont d'abord été activés (oxydés) suite à la désoxydation de la vapeur d'eau H_2O telle que décrit ci-dessus, puis transférés dans la zone d'oxydation des COV.

- L'oxycombustion et l'oxydation des COV est complète et ne produit que du dioxyde de carbone CO_2 et H_2O qui viennent s'ajouter au CO_2 utilisé comme flux gazeux de traitement FT déjà présent dans le flux gazeux de pyrolyse FP.

Après oxycombustion et oxydation des COV le flux gazeux de pyrolyse oxydé FPO comprend du CO_2 et de la vapeur d'eau H_2O .

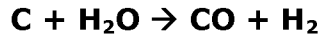
La désoxydation des oxydes activés MeO au profit des COV est endothermique et produit des oxydes désactivés Me qui sont re-transférés dans la couche de matière oxydo-réductrice après avoir été mélangés de manière homogène avec de nouveaux charbons de pyrolyse produits par une pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique dans le premier réacteur.

L'oxycombustion des COV est une oxydation particulière, exothermique, et produit une énergie thermique importante. Une partie de cette énergie thermique permet de maintenir la zone d'oxydation à une température suffisante pour la désoxydation des oxydes activés MeO et de porter la vapeur d'eau contenue dans le flux gazeux de pyrolyse oxydé à la bonne température pour l'opération de sa désoxydation par la couche de matière filtrante oxydo-réductrice formée par les éléments de carbone C et les oxydes désactivés Me. Une autre partie de cette énergie thermique est transférée au fur et à mesure de l'oxycombustion au flux gazeux de pyrolyse provenant du premier réacteur. Le flux gazeux de pyrolyse acquiert ainsi un surcroît de capacité thermique favorisant son oxycombustion ou son oxydation dès son arrivée dans le second réacteur. Une autre partie ET1 de cette énergie thermique est transférée au fur et à mesure de l'oxycombustion à la couche de matière filtrante oxydo-réductrice formée par les éléments de carbone C et les oxydes désactivés Me. Cette énergie thermique ET1 permet de porter la couche inférieure de cette couche oxydo-réductrice à haute température, autour de 1000°C environ.

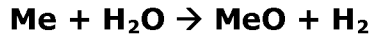
Par ailleurs, l'oxycombustion complète se produit dans le présent exemple en amont et à proximité de la couche oxydo-réductrice. Ainsi, le transfert d'énergie thermique ET1 à la couche oxydo-réductrice se fait naturellement et sans déperdition.

A l'étape 104, le flux gazeux de pyrolyse oxydé FPO traverse la couche de matière filtrante oxydo-réductrice formée par les éléments de carbone C et les oxydes désactivés (ou sous une forme réduite) Me. La vapeur d'eau H₂O contenue dans ce flux gazeux FPO est alors aux conditions requises et soumise à la forte caractéristique oxydo-réductrice des éléments de la couche de matière filtrante pour être à son tour

désoxydée par les éléments de carbone C et les oxydes désactivés Me de la couche inférieure de la couche oxydo-réductrice à haute température, selon les réactions suivantes :



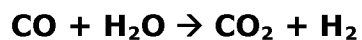
5



Cette désoxydation, qui produit de l'hydrogène H₂ et du monoxyde de carbone, est endothermique alors que l'oxydation conséquente des oxydes désactivés Me est très exothermique. Le bilan thermique est excédentaire, l'exothermie est définie au préalable par le choix de la proportion de matériaux oxydes Me qui sera en action dans le procédé selon l'invention. Cette exothermie permet notamment de porter et de maintenir la couche de matière filtrante oxydo-réductrice, formée par les éléments de carbone C et les oxydes désactivés Me (ou sous une forme réduite), ainsi que la vapeur d'eau (et par conséquent le flux gazeux dans lequel elle se trouve), à la température optimale de réaction oxydo-réductrice. Une partie de cette exothermie est aussi exploitée dans la configuration du système selon l'invention, pour élever la température du flux gazeux de pyrolyse transitant dans la double paroi mitoyenne des deux réacteurs.

En aval de la couche oxydo-réductrice, on a alors un flux gazeux de synthèse FS, à haute température, comprenant du CO₂, de l'hydrogène H₂, du monoxyde de carbone CO et de la vapeur d'eau résiduelle H₂O.

A l'étape 106, la température de ce flux gazeux de synthèse FS est abaissée par récupération d'énergie thermique. La diminution de la température du flux gazeux de synthèse FS est réglée de manière à réaliser une réaction dite de water-shift (ou de CO-shift) consistant à la désoxydation de la vapeur d'eau H₂O par les éléments de monoxyde de carbone CO, suivant la réaction :



Cette réaction est rendue possible en réduisant la température du flux gazeux de synthèse par la dissipation de la chaleur contenue dans le flux FS. L'énergie thermique ET2 récupérée par diminution de la température du flux gazeux de synthèse FS peut être utilisée, à l'étape 108, pour :

- amener le flux gazeux de traitement FT à la température de traitement de la nouvelle charge de matière organique, tel que nous le verrons plus loin, et/ou
- à produire de la vapeur d'eau H_2O_g . Une partie de cette vapeur d'eau peut être réinjectée dans la flux gazeux de pyrolyse oxydé FPO en amont de la couche de matière oxydo-réductrice, d'une part pour augmenter la quantité de d'hydrogène H_2 obtenue en sortie de la couche oxydo-réductrice et d'autre part pour avoir suffisamment de vapeur d'eau H_2O_g en aval de cette couche pour rendre possible la réaction de CO shift décrite plus haut.

Lors de l'étape 106, les molécules de monoxyde de carbone CO présentes dans le flux gazeux de synthèse FS réduisent les molécules de vapeur d'eau H_2O_g . Cette étape 106, c'est-à-dire la réaction de water-shift, est utilisée pour faire varier la proportion de H_2 dans le flux gazeux de synthèse et obtenir une proportion déterminée de H_2 dans le flux gazeux de synthèse FS.

Après la réaction de water-shift, le flux gazeux de synthèse ne comprend plus de molécules de CO. Le flux gazeux de synthèse comprend donc de l'hydrogène H_2 , du dioxyde de carbone CO_2 et de la vapeur d'eau résiduelle H_2O .

A l'étape 110, la vapeur d'eau résiduelle est récupérée par condensation. De l'énergie thermique ET3 est récupérée à cette étape et peut être valorisée par tous moyens connus de l'homme du métier.

Le flux gazeux de traitement FT, et le dioxyde de carbone CO_2 et l'hydrogène H_2 présent dans le flux gazeux de synthèse FS sont ensuite séparés à l'étape 112, par tous systèmes connus par l'homme de l'art.

Une partie du CO_2 récupéré est réutilisée comme nouveau flux gazeux de traitement FT pour la pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique. Auparavant, ce flux gazeux de traitement FT doit être amené à la température de pyrolyse de 400/700°C environ. La montée en température du flux gazeux de traitement FT est réalisée à l'étape 108 grâce à l'énergie thermique ET2 récupérée lors de l'étape 106, c'est-à-dire par diminution de la température du flux gazeux de synthèse FS pour l'amener à la température de réaction de water-shift décrite plus haut. Une

fois que le flux gazeux de traitement FT est à la température de pyrolyse, il est amené à l'entrée du premier réacteur, à l'étape 100, pour la pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique.

Le surplus du CO₂ récupéré à l'étape 112 peut être condensé et
5 stocké.

L'hydrogène H₂ obtenu peut aussi être stocké ou être utilisé dans des dispositifs ou systèmes de production d'énergie couplés au système selon l'invention. Dans cette version du procédé selon l'invention, 100% de l'énergie thermique, composante de la matière organique MO, et 100% de
10 l'énergie thermique, mise en œuvre dans les réactions de dessiccation et de pyrolyse de la matière organique MO, sont transposés en énergie disponible sous forme d'hydrogène H₂, déductions faites des déperditions et énergies utiles au procédé.

La figure 2 est une représentation schématique d'un système selon
15 l'invention et la figure 3 est une représentation de ce système selon une vue de derrière. Le système représenté en figure 2 et 3 comprend, dans une enceinte unique E, un premier réacteur 20 et un deuxième réacteur 30.

Le réacteur 20 est le réacteur de pyrolyse aménagé sous flux gazeux caloporteur de pyrolyse essentiellement constitué de CO₂. Ce réacteur 20
20 comprend une goulotte 200 par laquelle la matière organique MO est introduite dans ce réacteur 20.

Dans le présent exemple, la matière MO traverse ensuite quatre grilles mécanisées 201-204 définissant quatre paliers ou zones et présentant des orifices de distribution d'un flux gazeux de traitement FT au
25 cœur de la matière organique disposée sur ces grilles. Le flux gazeux de traitement est véhiculé vers les quatre grilles par une double paroi 205. La matière organique s'écoule par gravité d'une grille à une grille inférieure et subit une montée en température progressive au fur et à mesure de son passage d'une grille à une grille inférieure.

30 La matière organique MO est d'abord retenue par la première grille 201 mécanisée. Elle est déshydratée par le flux gazeux de traitement chaud provenant de la double paroi 205 qui ceinture le réacteur de pyrolyse 20 sur trois côtés et distribué par les orifices de la grille 201. Elle subit aussi la réaction des gaz de traitement provenant des paliers ou grilles inférieures

202-204. La grille 201 ainsi que les grilles 202-204 sont configurées de manière à permettre le passage des gaz de traitement provenant des grilles inférieures et l'écoulement de la matière organique ainsi traitée sur les grilles inférieures.

5 La grille 202 reçoit la matière organique qui s'écoule de la grille 201 et la grille 203 reçoit la matière organique qui s'écoule de la grille 202. Ces grilles 202 et 203 constituent des paliers réalisant la pyrolyse progressive de la matière organique. La pyrolyse est ainsi réalisée en cascade en fonction du nombre de paliers ou grilles relatif à la taille du système jusqu'à
10 la dernière grille, ici la grille 204.

 La grille 204 constitue un palier où la matière organique est surchauffée pour la réduire à la portion non gazéifiable ou à être carbonisée et produire des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone. Sur cette grille 204, les volatils de la matière organique sont totalement
15 gazéifiés, finalisant ainsi la pyrolyse des matières organiques afin que ne subsistent que les charbons de pyrolyse.

 Ces charbons de pyrolyse traversent alors la grille 204 et sont récoltés dans la zone 206. La zone 206 comporte en son point bas un dispositif mécanique de collecte 207, par exemple une vis d'Archimède, qui
20 prend en charge les charbons de pyrolyse et les amènent à un dispositif de transbordement 208.

 Le flux gazeux de pyrolyse FP, comprenant la vapeur d'eau H_2O_g contenue dans la matière première organique, le CO_2 caloporteur de traitement et les composés organiques volatils COV sont aspirés par un
25 mécanisme d'extraction général (non représenté) au travers d'une ouverture 209 en partie haute du réacteur de pyrolyse 20.

 Ce flux gazeux de pyrolyse FP est à la température de pyrolyse et est aspiré vers les réacteurs 30 via la double paroi 210 concomitante et communicante avec le réacteur 30. La double paroi 210 citée est mitoyenne
30 des deux systèmes réacteurs 20 et 30, et compose la quatrième paroi du réacteur de pyrolyse 20. L'espace ainsi configuré est aménagé de dispositifs permettant un échange thermique rapide entre la paroi du réacteur 30 et le flux gazeux de pyrolyse provenant du réacteur de pyrolyse 20. Au passage de cet espace formée par la double paroi, le flux gazeux de pyrolyse

acquiert une température propice à une auto inflammation avant leur pénétration dans le réacteur 30.

Le système comprend en outre des moyens de motorisation 211 des grilles 201-204.

5 La goulotte d'alimentation 200 en matière organique MO du réacteur 20 est soumise à une étanchéité au CO₂ par des injecteurs de CO₂ 213.

Le réacteur 20 comprend en outre des ouvertures 212 aménagée en dessous de la grille 204 qui distribue du flux gazeux de traitement FT.

10 Par ailleurs la zone 206 de collecte (de réception) des charbons de pyrolyse est profilée pour le meilleur écoulement des matières vers le dispositif de collecte 207.

15 Le réacteur 30 reçoit le flux gazeux de pyrolyse FP et après traitement de ce flux produit un flux gazeux de synthèse FS comprenant de l'hydrogène H₂. Ce réacteur 30 est composé, dans le présent exemple, de trois zones principales.

20 Une première zone de désoxydation de la vapeur d'eau comprenant une grille 301 sur laquelle est disposée une couche de matière oxydo-réductrice 302. Cette couche de matière oxydo-réductrice est composée des charbons de pyrolyse déversés sur la grille 301 par le dispositif de transbordement 208, voir figure 3, par une ouverture 303 aménagée au dessus de cette grille 301, après avoir été mélangés avec des oxydes sous une forme désoxydée ou des oxydes désactivés de manière homogène. Les éléments de carbone et les oxydes désactivés sont prévus pour réaliser la désoxydation de la vapeur d'eau H₂O traversant cette couche 302. Cette

25 désoxydation entraîne une activation des oxydes désactivés, c'est-à-dire leur passage à une forme oxydée. Les oxydes activés sont ensuite transférés vers une deuxième zone du réacteur 30 qui est la zone d'oxydation des COV. Les oxydes activés participent à l'oxydation des composés organiques volatils COV dans cette zone 304.

30 La zone d'oxydation de composés organiques volatils COV 304 se trouve en amont et en dessous de la grille 301 et la grille 301 est configurée pour permettre le passage ascendant du flux gazeux provenant de la zone d'oxydation des COV 304 et l'écoulement des solides

incombustibles contenus dans la charge qui se constitue sur cette grille 301.

Le flux gazeux de pyrolyse FP comprenant des composés organiques volatils pénètre dans le réacteur 30 par l'ouverture aménagée 300 qui débouche dans la partie basse de la zone d'oxydation des COV 304. Cette zone d'oxydation 304 est agencée de manière à organiser l'oxydation complète des COV contenus dans le flux gazeux de pyrolyse. Des grilles 305 et 306 sont adéquatement réparties pour ralentir l'écoulement par gravité des oxydes activés et permettre l'oxydation complète des COV au contact de ces oxydes activés dans cette zone 304. Cette oxydation stœchiométrique peut être avantageusement préparée par une oxycombustion des COV par de l'oxygène injecté dans l'aménagement de l'ouverture 300 par un injecteur d'oxygène 307 : l'ouverture 300 peut aussi être appelée la zone d'oxycombustion des COV et se trouve en amont de la zone d'oxydation des COV par les oxydes activés 304.

Ainsi, la zone d'oxydation, au sens large, des COV correspond :

- à la zone 304 d'oxydation des COV par les oxydes activés, et
- à la zone d'oxycombustion (ou ouverture) 300 des COV par injection d'O₂.

L'ensemble gazeux de pyrolyse subit l'action de l'oxygène et/ou des oxydes activés en traversant ces zones 300 et 304 et les grilles 305, 306 afin de réaliser une oxydation stœchiométrique des COV avant leur passage au travers de la couche de matière oxydo-réductrice 302.

Si la température de l'ensemble gazeux oxydé n'est pas satisfaisante au sortir de la zone 304, pour une réaction immédiate au contact de la couche de matière oxydo-réductrice, elle sera complétée par l'oxycombustion d'une partie des carbones composant la couche basse de matière oxydoréductrice par une injection d'oxygène par un injecteur d'oxygène 308 aménagé au niveau de la grille 301 supportant la couche de matière oxydo-réductrice.

La combustion de ces COV est réalisée sans flamme dans le cas d'une utilisation d'oxydes et avec flamme dans le cas de l'usage d'oxygène comburant. Cette combustion est totalement contrôlée par des sondes de température 316 et un système d'allumage 317 et de contrôle de flamme

318. En cas d'usage d'oxydes, la réaction est endothermique, le contrôle est réalisé par une oxycombustion partielle des COV sous la zone 304.

La configuration du réacteur 30 est définie dans sa partie inférieure par un dispositif 309 de séparation des solides provenant de la couche oxydo-réductrice et traversant la zone d'oxydation des COV 304 : minéraux
5 et oxydes désactivés Me. Un tel dispositif de séparation 309 peut par exemple être un tapis vibrant. Les minéraux sont évacués à la surface du dispositif de séparation 309 vers un réceptacle où ils sont pris en charge par un dispositif d'évacuation étanche 310.

10 Les oxydes désactivés s'écoulent par gravité vers une zone 311 de collecte des oxydes désactivés par les COV. Cette zone est profilée pour une meilleure collecte des oxydes désactivés et comprend un dispositif de collecte. Les oxydes désactivés sont pris en charge par un système de transbordement 312 pour être dirigés vers le système de transbordement
15 208, où ils seront brassés avec les charbons de pyrolyse pour un mélange intime et reversé sur la grille 301 par l'ouverture 303.

Le flux gazeux de pyrolyse oxydé traversant la couche de matière oxydo-réductrice 302 ne contient plus que de la vapeur d'eau H_2O_g et du CO_2 . La vapeur d'eau H_2O_g contenue dans le flux gazeux de pyrolyse va
20 échanger son atome d'oxygène O avec les carbones et oxydes non actifs de la couche 302 pour former H_2 et CO et des oxydes actifs MeO. La réaction est exothermique si la couche 302 contient des oxydes alors qu'elle est endothermique si la couche ne contient que des charbons de pyrolyse. Pour réguler la température au niveau de la grille 301 et dans la couche 302,
25 l'injecteur d'oxygène 308 apporte un complément d'oxygène sous la grille 301 afin de réaliser une base thermique de compensation.

Ainsi les oxydes captent l'énergie thermique des COV en les oxydants pour la transporter au sein de la couche oxydoréductrice où elle est transférée en énergie capacitive pour la réaction de désoxydation de H_2O
30 par les carbones de pyrolyse. La réaction oxydes/COV permet de transférer intégralement l'énergie des COV aux oxydes Me, ce qui permet leur substitution en moyen de désoxydation de H_2O par Me, ce que ne pourrait pas faire une réaction thermique ordinaire des COV, même sous oxygène comburant. Cette réaction secondaire par les oxydes permet le plus

important transfert de l'énergie contenue dans la matière organique à la production d'hydrogène de synthèse, elle est recyclable en continu.

En aval de la couche 302, on a un flux gazeux de synthèse FS comprenant du H_2 , CO , CO_2 et H_2O_g (vapeur surchauffée). Par ailleurs, Les
5 charbons de pyrolyse sont réduits aux minéraux contenus par les matières organiques d'origine et les oxydes Me sont activés MeO, ils sont à la température optimale favorisant la réaction avec les COV dans la zone d'oxydation des COV 304. Pour contrôler la réaction exothermique importante due à l'activation des oxydes, il convient de maîtriser la
10 proportion d'oxydes dans la couche 302 et de dissiper l'excès thermique vers des dispositifs nécessitant un apport calorifique. Pour cela sont aménagés des échangeurs thermiques, le premier étant la double paroi concomitante 210 dans laquelle circule l'ensemble gazeux de pyrolyse. Deux autres échangeurs 313 et 314 sont situés dans la partie haute du
15 réacteur 30 qui compose la troisième zone principale de ce réacteur 30. Au passage de ces échangeurs 313 et 314, Le flux gazeux de synthèse cède son énergie calorifique, permettant et facilitant ainsi la réaction shift du CO sur H_2O en H_2 et CO_2 , si nécessaire. Le flux gazeux de synthèse sort du réacteur 30 par une ouverture d'extraction 315. Le flux gazeux de synthèse
20 sortant de l'ouverture 315 est composé essentiellement de H_2 , CO_2 et H_2O , facilement séparables. Ce flux gazeux de synthèse est extrait du réacteur 30 par un système d'extraction général (non représenté). Une fois séparé, la part utile de CO_2 peut être réintroduite dans l'échangeur 313, où elle prendra sa capacité calorifique de gaz caloporteur, pour être recyclée et
25 utilisée comme flux gazeux de traitement dans le réacteur 20. Par ailleurs, de l'eau liquide H_2O_L peut être introduite dans l'échangeur 314 pour être vaporisée et fournir de la vapeur d'eau H_2O_g afin d'une part de régler l'exothermie de la réaction dans la couche de matière filtrante oxydo-réductrice 302 et la réaction thermique de CO-shift, et d'autre part à être
30 utilisée comme vapeur d'eau à désoxyder.

Le système comprend en outre un répartiteur/déversoir (non représenté) des charbons de pyrolyse pouvant être mélangés avec des oxydes désactivés. Ces matières sont ainsi réparties et mélangés de façon

homogène et déposée sur la grille 301 en une charge oxydo-réductrice définie selon le dimensionnement du système.

La figure 4 est une représentation schématique selon une vue de dessus de la double paroi 210 et la figure 5 une représentation de cette paroi selon une vue en coupe suivant AA. Tel que décrit plus haut cette double paroi comprend en sa partie basse une ouverture 300 au niveau de laquelle est réalisée une oxycombustion des COV par injection d'O₂ par un injecteur 307. En effet, tel que représenté sur la figure 4, la double paroi comprend en sa partie basse une baie 41 dans laquelle débouche l'injecteur d'oxygène 307. Cette baie comprend une grille 42 régulant l'écoulement du flux gazeux de pyrolyse FP et améliorant la combustion des COV.

La figure 6 est une représentation schématique selon une vue de dessus d'une des grilles 201-204. La grille représentée en figure 6 est aménagée de manière à recevoir la matière organique, permettre le passage ascendant du flux gazeux dans le réacteur 20 et l'écoulement par gravité des solides incombustibles contenus dans la matière organique. Cette grille aménagée pour recevoir les matières organiques est composée de plusieurs barreaux 61.

La figure 7 donne une vue en coupe de la grille de la figure 6 selon BB et la figure 8 une vue en coupe d'un barreau 61. Chacun des barreaux 61 comporte des dents 62, en contact avec les organes des barreaux voisins, et s'entraînant mutuellement lors de la rotation. En effet, lors de la rotation les dents 62 d'un barreau 61 s'engrangent avec les dents d'un barreau voisin et l'entraînent en rotation. Lors de leur rotation, les dents 62 des barreaux entraînent également la matière organique disposée sur la grille.

Par ailleurs, chacun des barreaux 61 présente un corps cylindrique creux véhiculant le flux gazeux de traitement. Le flux gazeux de traitement est injecté au cœur de la matière organique disposée sur la grille au travers d'ouvertures 63 aménagées sur le corps cylindrique de chacun des barreaux 61.

L'invention n'est bien sûr pas limitée à l'exemple d'application décrit ci-dessus.

REVENDICATIONS

- 1) Procédé de production d'hydrogène (H_2) à partir de matière organique (MO), ledit procédé comprenant les étapes suivantes :
- 5 - pyrolyse d'une charge de matière organique (MO) par passage au travers de ladite matière organique (MO) d'un flux gazeux de traitement (FT) comprenant essentiellement du dioxyde de carbone (CO_2), ladite pyrolyse produisant, d'une part un flux gazeux de pyrolyse (FP) comprenant le flux gazeux de traitement (FT), de la
- 10 vapeur d'eau (H_2O) et des composés organiques volatils (COV) provenant de ladite matière organique , et d'autre part des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone ;
- oxycombustion d'au moins une partie desdits composés organiques volatils (COV) présents dans ledit flux gazeux de pyrolyse (FP), par
- 15 injection d'oxygène (O_2), en amont d'une couche de matière filtrante oxydo-réductrice (302) comprenant des éléments de carbone haute température ; et
- après ladite oxycombustion, passage dudit flux gazeux de pyrolyse oxydé (FPO) au travers de ladite couche oxydo-réductrice, ledit
- 20 passage produisant un flux gazeux de synthèse (FS) comprenant de l'hydrogène (H_2) obtenu par désoxydation de la vapeur d'eau (H_2O) par les éléments de carbone haute température.
- 2) Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la couche oxydo-réductrice (302) comprend en outre des oxydes sous une forme réduite
- 25 (Me), lesdits oxydes réalisant une désoxydation d'une partie de la vapeur d'eau (H_2O), ladite désoxydation produisant des éléments d'hydrogène (H_2), après ladite désoxydation lesdits oxydes se trouvant sous une forme oxydée (MeO).
- 30 3) Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'au moins une partie des oxydes sous une forme oxydée (MeO) obtenus suite à la désoxydation de la vapeur d'eau dans la couche oxydo-réductrice (302), est utilisée pour une oxydation d'une partie des composés organiques

volatils (COV) en amont de la couche oxydo-réductrice (302), après ladite oxydation lesdits oxydes se trouvant de nouveau sous leur forme réduite (Me), au moins une partie desdits oxydes sous leur forme réduite (Me) étant réutilisée dans la couche oxydo-réductrice (302) pour une nouvelle
5 désoxydation de la vapeur d'eau (H_2O).

4) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'en sortie de la couche oxydo-réductrice (302), le flux gazeux de synthèse (FS) comprend en outre du monoxyde de carbone (CO)
10 et de la vapeur d'eau (H_2O), ledit procédé comprenant un abaissement/contrôle en température du flux gazeux de synthèse (FS) en aval de ladite couche oxydo-réductrice (302), ledit abaissement/contrôle en température provoquant une réaction d'oxydoréduction, dite de water-shift, entre ledit monoxyde de carbone (CO) et ladite vapeur d'eau (H_2O), ladite
15 réaction d'oxydoréduction produisant du H_2 et du CO_2 .

5) Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le flux gazeux de synthèse (FS) comprend en outre de la vapeur d'eau résiduelle (H_2O) après la réaction de water-shift, ledit procédé comprenant en outre une
20 séparation de ladite vapeur d'eau (H_2O) résiduelle par condensation de ladite vapeur d'eau (H_2O).

6) Procédé selon l'une quelconque des revendications 4 ou 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de séparation du dihydrogène (H_2)
25 présent dans le flux gazeux de synthèse (FS).

7) Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'après la séparation du dihydrogène (H_2), le flux gazeux de synthèse (FS) comprend essentiellement du dioxyde de carbone (CO_2), au moins une partie dudit
30 dioxyde de carbone (CO_2) étant réutilisée en tant que flux gazeux de traitement (FT) pour la pyrolyse d'une nouvelle charge de matière organique (MO).

8) Procédé selon les revendications 4 à 7, caractérisé en ce que l'abaissement de la température du flux gazeux de synthèse (FS) en aval de la couche oxydo-réductrice comprend un transfert d'énergie thermique vers de l'eau liquide en circulation, réalisant ainsi un changement d'état de ladite eau liquide pour obtenir de la vapeur d'eau surchauffée.

9) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'ajout, au flux gazeux de pyrolyse oxydé (FPO), de la vapeur d'eau.

10

10) Procédé selon les revendications 4 à 9, caractérisé en ce que l'abaissement de la température du flux gazeux de synthèse (FS) en aval de la couche oxydo-réductrice (302) comprend un transfert d'énergie thermique dudit flux gazeux de synthèse (FS) vers au moins une partie du flux gazeux de traitement (FT), amenant ainsi ledit flux gazeux de traitement (FT) à une température de pyrolyse d'une charge de matière organique (MO).

11) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'au moins une partie des charbons de pyrolyse est utilisée pour composer au moins en partie la couche de matière filtrante oxydo-réductrice (302).

12) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de pyrolyse se fait progressivement sous forme de sous étapes, lesdites sous étapes réalisant la gazéification progressive de la matière organique (MO).

13) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de pyrolyse est précédée d'une étape préalable de déshydratation de la matière organique.

14) Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que l'étape de pyrolyse est suivie d'une étape de

carbonisation de la matière organique, ladite étape de carbonisation finalisant la gazéification de la matière organique (MO).

- 15) Système de production d'hydrogène à partir de matière organique, ledit système comprenant une enceinte (E) unique comprenant :
- un premier réacteur (20) de pyrolyse d'une charge de matière organique (MO) par passage au travers de ladite matière organique (MO) d'un flux gazeux de traitement (FT) comprenant essentiellement du CO₂ caloporteur ladite pyrolyse fournissant, d'une part un flux gazeux de pyrolyse (FP) comprenant ledit flux gazeux de traitement (FT), de la vapeur d'eau (H₂O) et des composés organiques volatils (COV), et d'autre part des charbons de pyrolyse comprenant des éléments de carbone (C), et
 - un deuxième réacteur (30) comprenant :
 - une zone d'oxycombustion (300) d'au moins une partie desdits composés organiques volatils (COV) présents dans ledit flux gazeux de pyrolyse (FP) par injection d'oxygène (O), et
 - une grille (301) supportant une couche de matière filtrante oxydo-réductrice (302) comprenant des éléments de carbone à haute température, située en aval de la zone d'oxycombustion (300), et prévue pour être traversée par ledit flux gazeux de pyrolyse oxydé (FPO) pour fournir un flux gazeux de synthèse (FS) comprenant de l'hydrogène (H₂) obtenu par désoxydation, par lesdits éléments de carbone, d'au moins une partie de la vapeur d'eau (H₂O) présente dans ledit flux gazeux de pyrolyse oxydé (FPO).

- 16) Système selon la revendication 15, caractérisé en ce que le premier réacteur (20) comprend au moins une grille (201-204) sur laquelle est disposée la matière organique (MO) à pyrolyser.

- 17) Système selon l'une quelconque des revendications 15 ou 16, caractérisé en ce que le premier réacteur (20) comprend une pluralité de

- 27 -

grilles (201-204), disposées les unes sous les autres, chacune desdites grilles (201-204) étant adaptée pour :

- injecter du flux gazeux de traitement (FT) dans la matière organique (MO) disposée sur ladite grille (201-204),
- 5 - laisser passer le flux gazeux de traitement (FT) ascendant et provenant des grilles (201-204) inférieures, et
- recevoir la matière organique (MO) d'une grille (201-204) supérieure et transférer la matière organique vers une grille (201-204) inférieure.

10

18) Système selon l'une quelconque des revendications 15 à 17, caractérisé en ce que le premier et le deuxième réacteur (20,30) sont séparés par une double paroi (210) formant une communication reliant la partie haute du premier réacteur (20) à la partie basse du deuxième réacteur (30), ladite

15 communication autorisant :

- le passage du flux gazeux de pyrolyse (FP) de la partie haute dudit premier réacteur (20) vers la partie basse dudit deuxième réacteur (30), et
- un échange thermique entre ledit deuxième réacteur (30) et le flux
- 20 gazeux de pyrolyse (FP).

19) Système selon l'une quelconque des revendications 15 à 18, caractérisé en ce que la zone d'oxycombustion (300) des composés organiques volatils (COV) comprend un ou plusieurs injecteurs (307) d'oxygène (O_2) agencés

25 pour injecter de l'oxygène nécessaire à une oxycombustion d'au moins une partie des composés organiques volatils (COV) dans ladite zone d'oxycombustion (300).

20) Système selon l'une quelconque des revendications 15 à 19, caractérisé en ce que la couche de matière oxydo-réductrice (302) comprend en outre des oxydes sous une forme réduite (Me) et participant à la désoxydation de la vapeur d'eau traversant ladite couche (302), ladite désoxydation de la

30 vapeur d'eau par lesdits oxydes (Me) produisant du dihydrogène (H_2) et des oxydes sous une forme oxydée (MeO).

21) Système selon la revendication 20, caractérisé en ce que la grille (301) supportant la couche de matière oxydo-réductrice (302) est agencée pour autoriser l'écoulement par gravité des oxydes sous une forme oxydée (MeO) vers une zone d'oxydation (304) d'une partie des composés organiques volatils (COV) par lesdits oxydes sous une forme oxydée (MeO), ladite zone d'oxydation se trouvant en amont de ladite couche oxydo-réductrice (302).

22) Système selon la revendication 21, caractérisé en ce que la zone d'oxydation des composés organiques volatils (COV) comprend une ou plusieurs grilles (305,306), disposées les unes sous les autres, et prévues pour ralentir l'écoulement des oxydes sous une forme oxydée (MeO) de manière à améliorer l'oxydation des composés organiques volatils (COV) par lesdits oxydes sous une forme oxydée (MeO).

23) Système selon l'une quelconque des revendications 15 à 22, caractérisé en ce qu'il comprend un dispositif de transbordement (208, 312) réalisant un transfert :

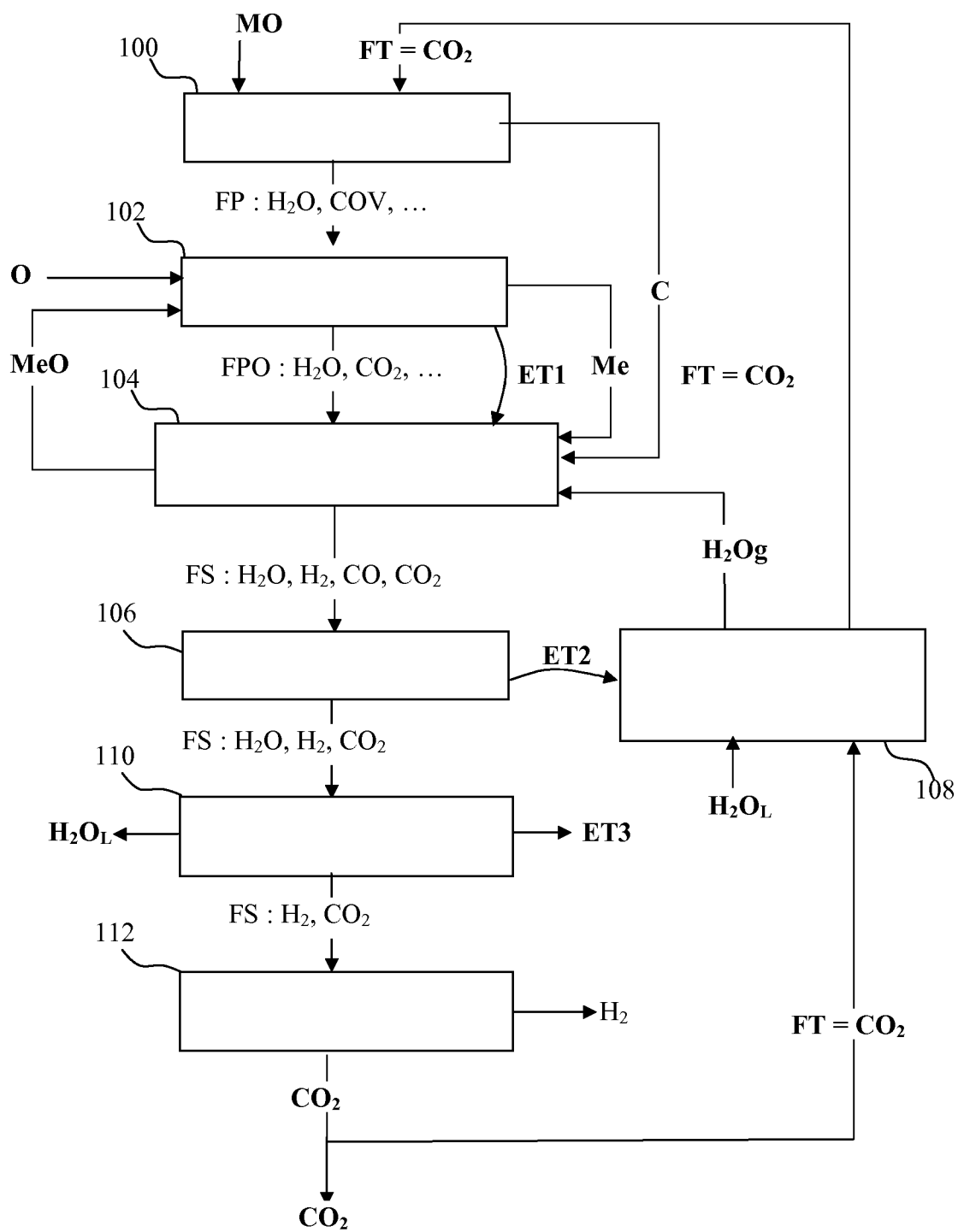
- des charbons de pyrolyse du premier réacteur (20) vers la grille (301) du deuxième réacteur (30) supportant la couche de matière oxydo-réductrice (302), et
- des oxydes sous une forme réduite (Me) de la partie basse du deuxième réacteur (30) vers la dite grille (301),
lesdits charbons de pyrolyse et lesdits oxydes sous une forme réduite (Me) étant mélangés de manière homogène avant d'être disposés sur ladite grille (301).

24) Système selon l'une quelconque des revendications 15 à 23, caractérisé en ce qu'en aval de la couche oxydo-réductrice (302), le flux gazeux de synthèse (FS) comprend du monoxyde de carbone (CO) et de la vapeur d'eau (H₂O), ledit système comprenant en outre au moins un échangeur de chaleur (313, 314) agencé pour abaisser et contrôler la température dudit flux gazeux de synthèse (FS), ledit abaissement/contrôle en température

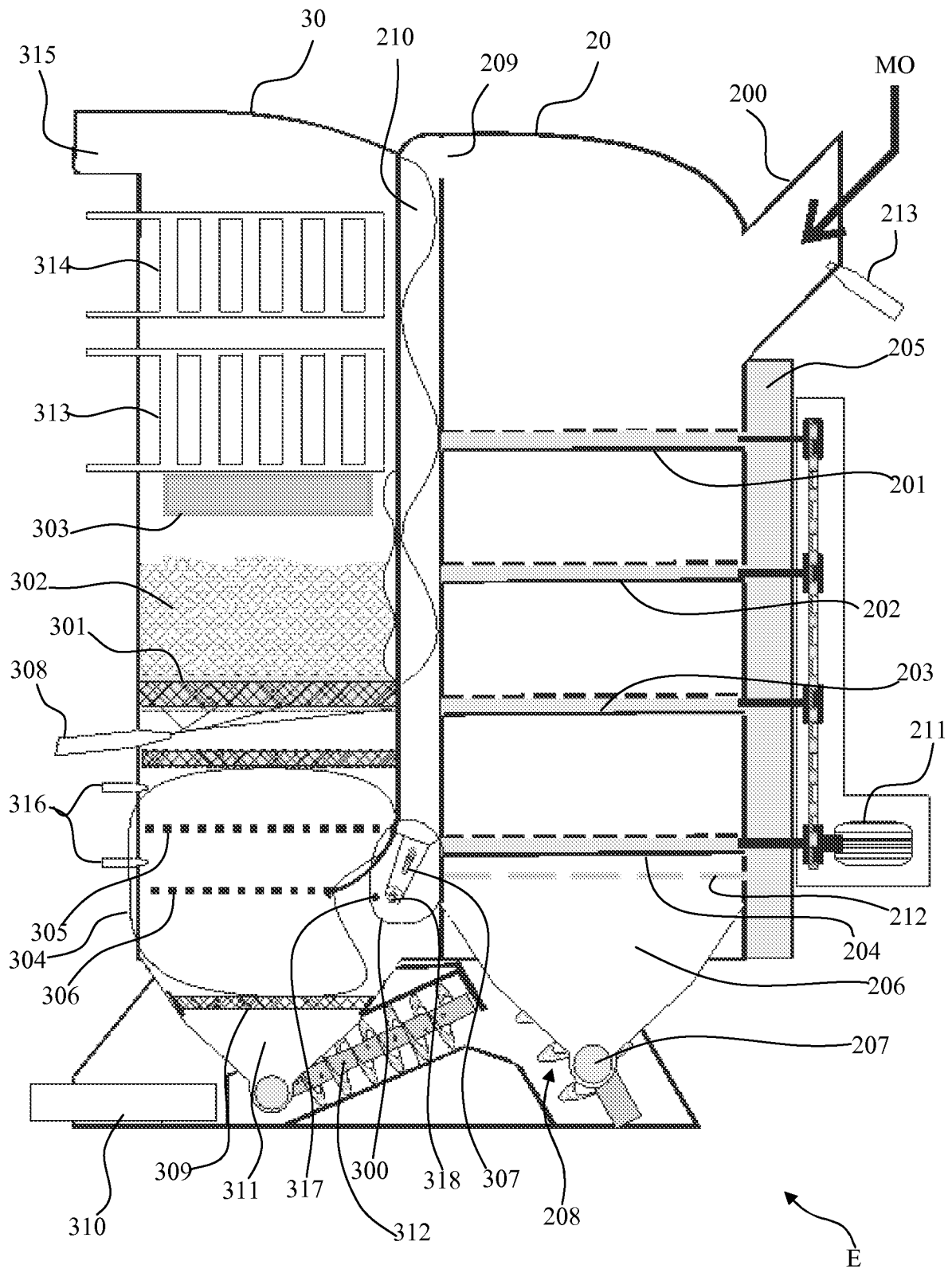
- 29 -

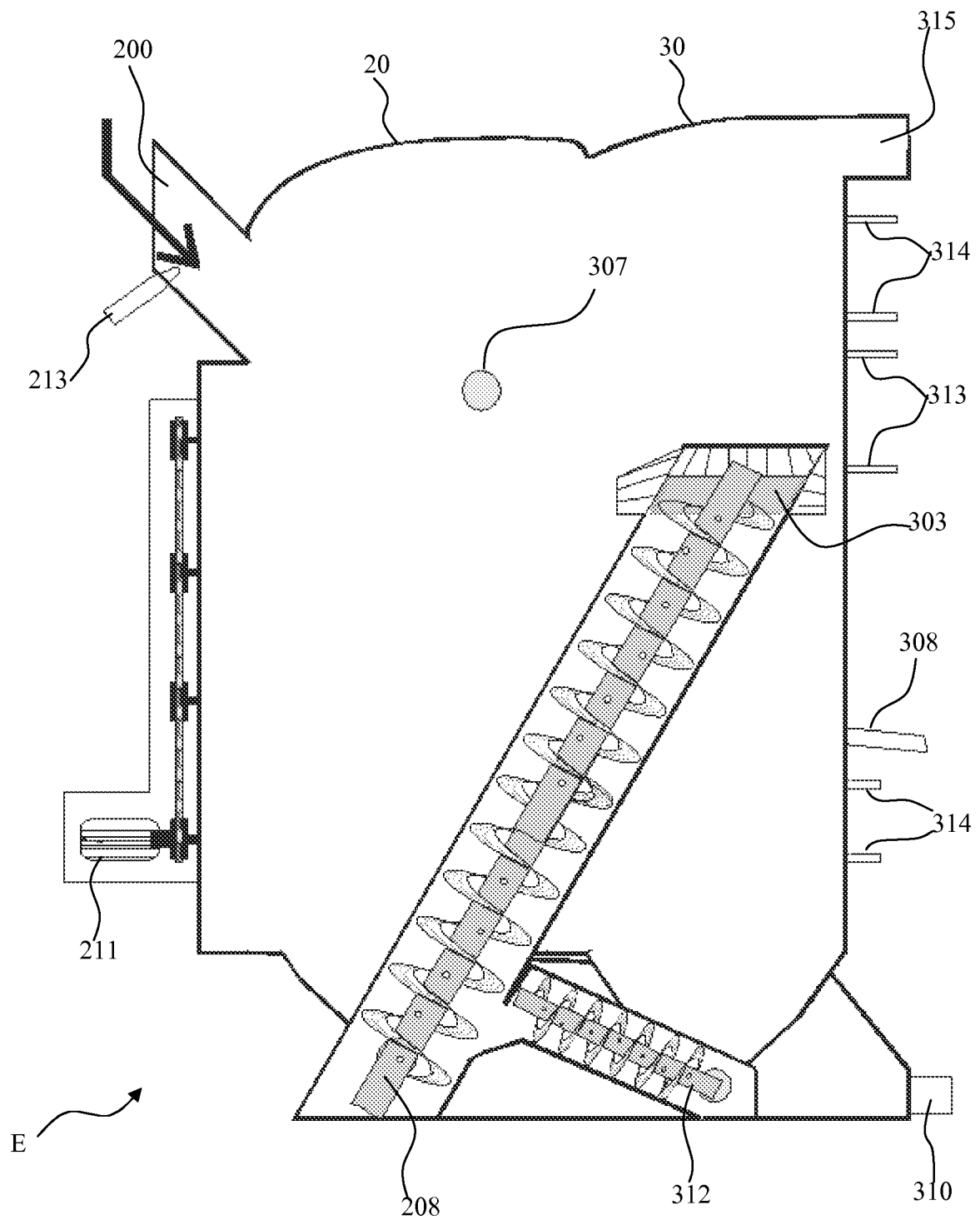
autorisant une réaction d'oxydoréduction, dite de water-shift, entre ledit monoxyde de carbone (CO) et ladite vapeur d'eau (H₂O), ladite réaction de water-shift produisant du H₂ et du CO₂.

- 5 25) Système selon la revendication 24, caractérisé en ce qu'il comprend un premier échangeur (313) prévu pour réaliser un échange de chaleur du flux gazeux de synthèse (FS) vers le flux gazeux de traitement (FT).
- 10 26) Système selon l'une quelconque des revendications 24 ou 25, un deuxième échangeur (314) prévu pour réaliser un échange de chaleur du flux gazeux de synthèse (FS) vers de l'eau liquide produisant de la vapeur d'eau.
- 15 27) Système selon l'une quelconque des revendications 24 à 26, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de séparation de l'hydrogène (H₂) du flux gazeux de synthèse (FS).
- 20 28) Système selon l'une quelconque des revendications 17 à 27, caractérisé en ce qu'au moins l'une des grilles (201-204) du premier réacteur (20) comprend une ou plusieurs orifices distribuant le flux gazeux de traitement (FT) à la matière organique se trouvant sur ladite grille (201-204).

1/6**Fig. 1**

2/6

**Fig. 2**

3/6**Fig. 3**

4/6

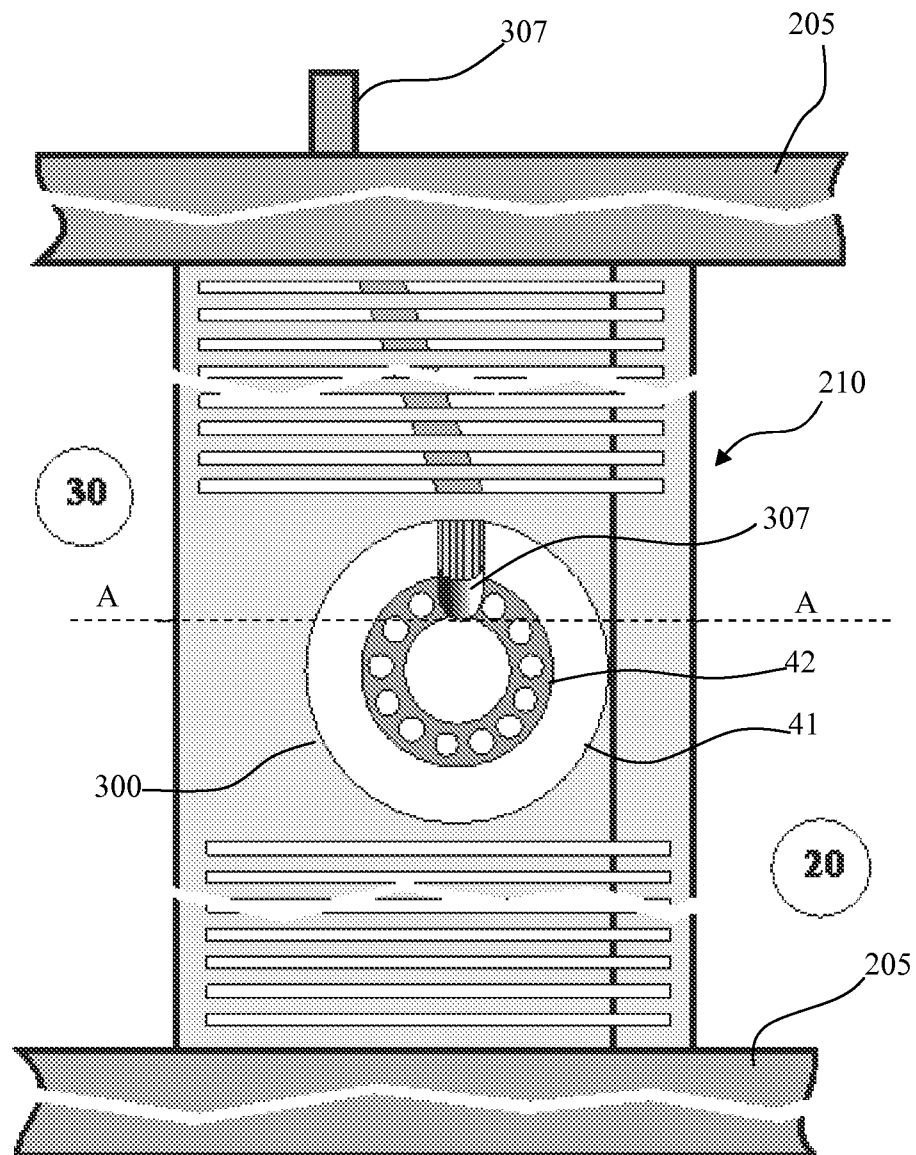


Fig. 4

5/6

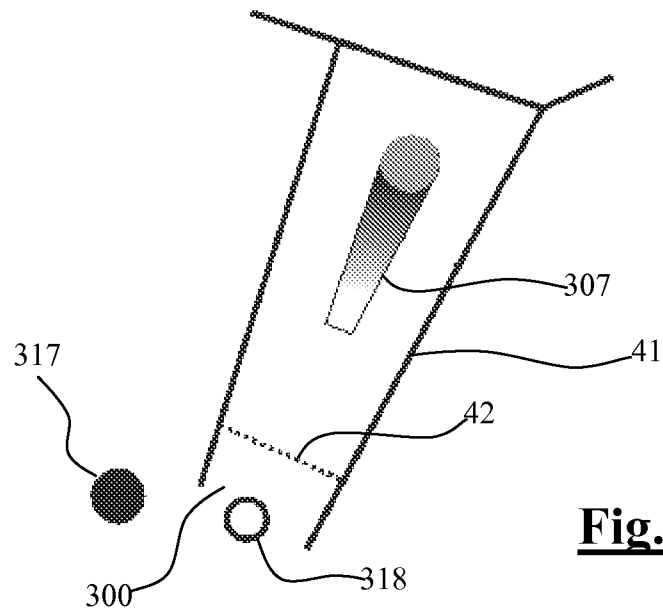


Fig. 5

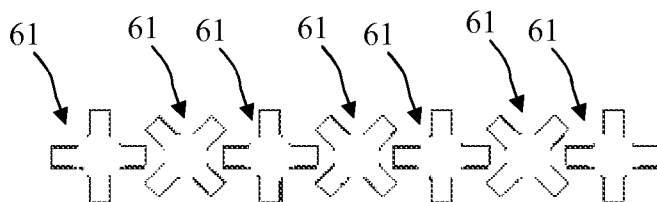


Fig. 7

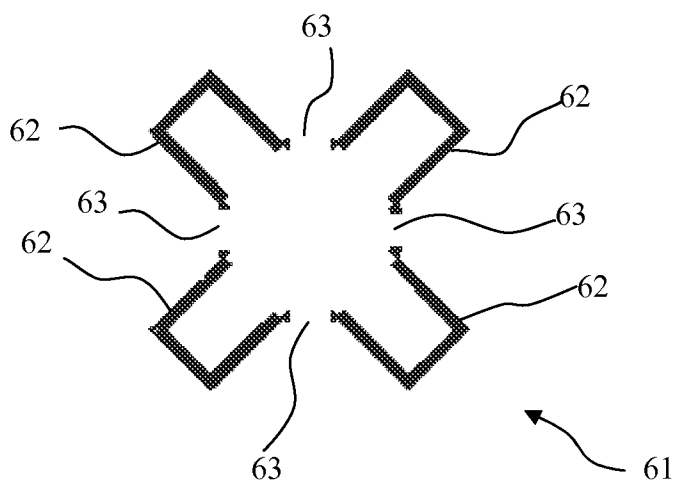
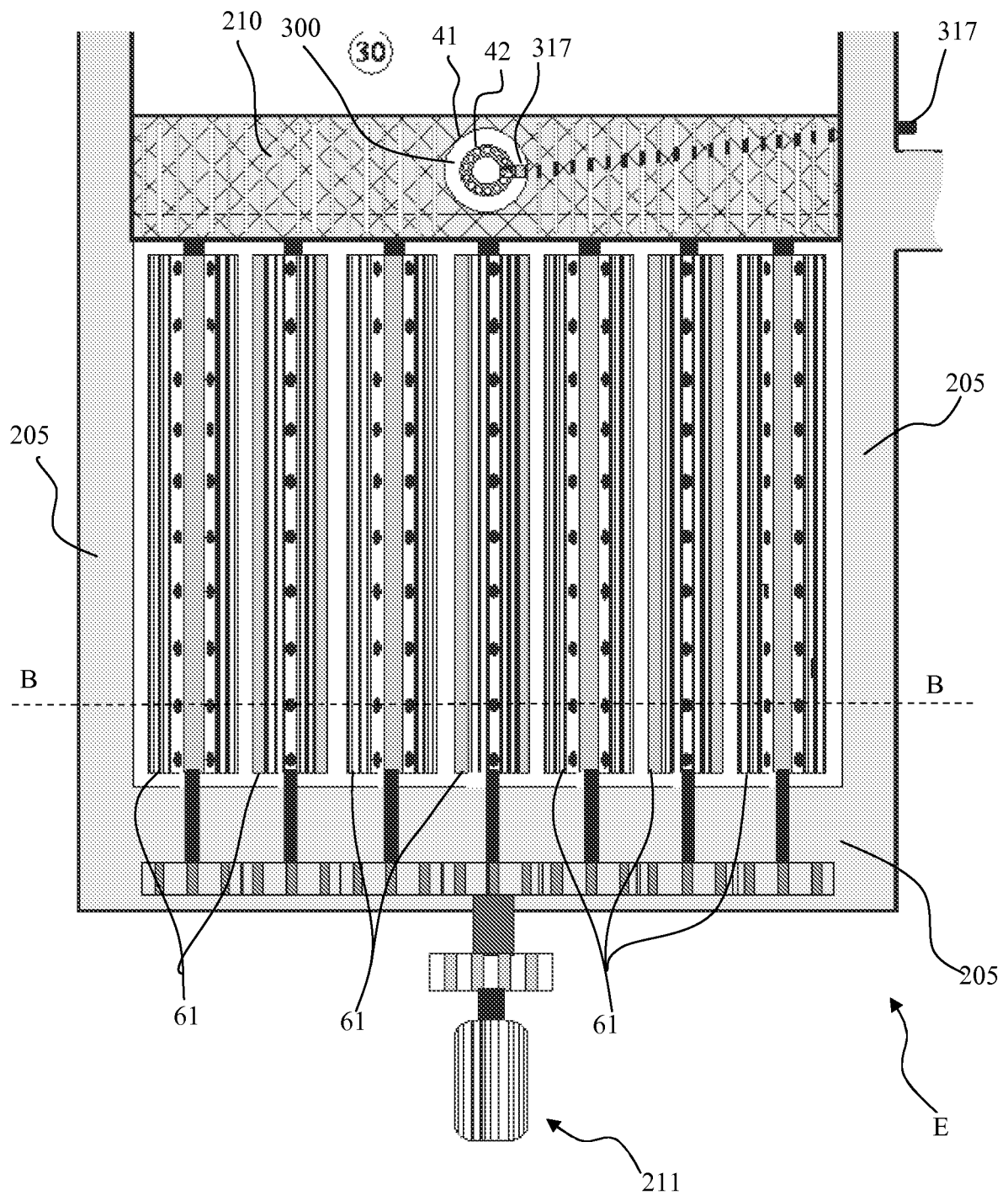


Fig. 8

6/6**Fig. 6**