

12 DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

22 Date de dépôt : 29.09.22.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la demande : 05.04.24 Bulletin 24/14.

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

60 Références à d'autres documents nationaux apparentés :

○ Demande(s) d'extension : Polynésie-Fr

71 Demandeur(s) : SUEZ International Société par actions simplifiée à associé unique — FR.

72 Inventeur(s) : Pardo Pierre-Emmanuel et Al Ayoubi Safwan.

73 Titulaire(s) : SUEZ International Société par actions simplifiée à associé unique.

74 Mandataire(s) : LLR.

54 PROCÉDE DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES.

57 L'invention concerne un procédé d'hydrotraitement d'un mélange M1 comprenant au moins de la matière organique, ledit procédé comprenant :

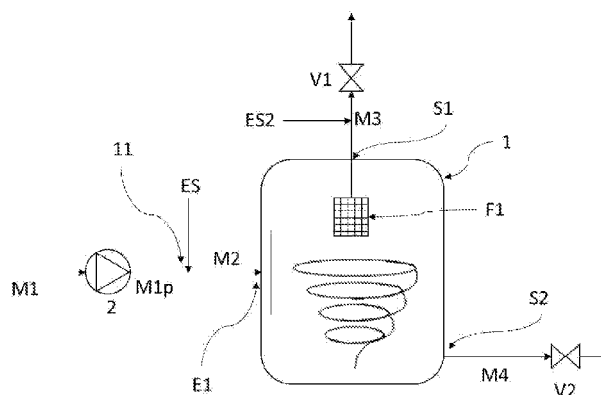
a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression allant de 20 à 350 bars, afin d'obtenir un flux M1p,

b) une étape de chauffage du mélange M1p à une température allant de 170 à 430°C, afin d'obtenir un flux de mélange M2,

c) une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,

d) une récupération en aval du réacteur d'un flux M3 enrichi en matières solubles et d'un flux M4 appauvri en matières solubles.

Figure pour l'abrégié : Fig. 1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDE DE TRAITEMENT DE DECHETS ORGANIQUES

DOMAINE TECHNIQUE DE L'INVENTION

[0001] L'invention concerne le domaine du traitement de biomasse, en particulier de boues de stations d'épuration, des déchets alimentaires et agroalimentaires, des digestats de fumier et de résidus agricoles.

ARRIERE-PLAN TECHNIQUE

[0002] Les traitements hydrothermaux de biomasse sont de plus en plus nombreux. Ils nécessitent des températures élevées. Il est donc essentiel de maîtriser les températures afin d'obtenir la qualité de biomasse souhaitée.

[0003] Ainsi, la maîtrise des températures et des temps de séjour du procédé est extrêmement importante pour aboutir au résultat voulu. Des températures trop élevées ou trop basses, des temps de séjour trop courts ou trop longs soit ne permettent pas aux réactions voulues de se produire soit entraînent des réactions secondaires non souhaitées qui aboutissent à une dégradation globale des performances voulues ou pire à la production d'un résidu dont le coût de traitement sera important.

[0004] En particulier l'étape de chauffage des traitements hydrothermaux est une grande cause de ces réactions secondaires du fait du fort temps de séjour à des températures intermédiaires qui peuvent entraîner la formation de composés non désirés comme des huiles, des goudrons ou des dérivés proches du charbon. Cette étape de chauffage est d'autant plus longue que les températures à atteindre sont élevées, en particulier lorsque les températures à atteindre sont proches ou supérieures à la température de l'eau supercritique.

[0005] De plus, dans l'état de la technique, le chauffage est souvent effectué via un échangeur type "tube in tube" pour récupérer la chaleur de sortie afin de diminuer la quantité de chaleur nécessaire au procédé. Or dans ce type d'échangeur, la faible conduction thermique du produit à chauffer entraîne une variation de température à l'intérieur du produit très importante et donc des conditions de process différentes entre les différentes parties du produit conduisant à des réactions parasites non désirées.

[0006] Il existe donc un besoin de fournir un procédé d'hydrotraitement d'un mélange, type biomasse, permettant de meilleurs échanges thermiques et une moindre formation de composés non désirés comme des huiles, des goudrons ou des dérivés proches du charbon.

Résumé de l'invention

- [0007] L'invention concerne un procédé d'hydrotraitement d'un mélange M1 comprenant au moins de la matière organique, ledit procédé comprenant :
- [0008] a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression allant de 20 à 350 bars, afin d'obtenir un flux M1p,
- [0009] b) une étape de chauffage du mélange M1p à une température allant de 170 à 430°C, afin d'obtenir un flux de mélange M2,
- [0010] c) une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,
- [0011] d) une récupération en aval du réacteur d'un flux M3 enrichi en matières solubles et d'un flux M4 appauvri en matières solubles.
- [0012] De préférence, la récupération du flux M3 lors de l'étape d) est mise en œuvre à travers au moins un filtre, ledit filtre comprenant au moins une couche de filtration ayant de préférence une taille de maille inférieure à 100 µm, de préférence inférieure à 50 µm, de préférence encore inférieure à 40 µm, ledit filtre étant de préférence dans le réacteur d'hydrotraitement.
- [0013] De préférence, l'étape b) comprend au moins une étape d'injection d'eau ES à une température d'au moins 374°C dans le flux du mélange M1p afin d'obtenir le flux M2, l'eau injectée étant de préférence à une pression d'au moins 225 bars.
- [0014] Selon un mode de réalisation, la récupération du flux M3 lors de l'étape d) est contrôlée par une détermination de la différence de pression entre la pression dans le réacteur d'hydrotraitement et la pression dans le flux M3 en aval du filtre et en aval du réacteur.
- [0015] Selon un mode de réalisation, le réacteur d'hydrotraitement est maintenu à une température allant de 170°C à 430°C.
- [0016] De préférence, la récupération du flux M3 est mise en œuvre en partie haute du réacteur d'hydrotraitement, par une ligne de sortie verticale, et la récupération du flux M4 est mise en œuvre en partie basse du réacteur.
- [0017] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre, en aval du filtre et en aval du réacteur, une étape e) d'injection d'eau à une température d'au moins 374°C dans le flux M3, à contre-courant dudit flux, le cas échéant ladite eau étant de préférence à la même température et à la même pression que l'eau injectée lors de l'étape b).
- [0018] De préférence, lorsque l'injection d'eau à contre-courant de l'étape e) est mise en œuvre, alors la sortie du réacteur en partie basse est ouverte afin d'extraire un flux M4.
- [0019] Selon un mode de réalisation, le flux de mélange M2 est introduite dans le réacteur avec une vitesse allant de 0,5 à 20 m/s, de préférence de 0,5 à 15 m/s, de préférence de 2 à 10 m/s.
- [0020] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre :

- au moins une étape d'échange de chaleur X1 permettant de récupérer de la chaleur du flux M3 pour chauffer au moins partiellement l'eau destinée à être injectée à l'étape b), un flux refroidi M5' étant alors obtenu, et comprenant éventuellement au moins une étape de chauffage supplémentaire de l'eau, en aval de l'échange de chaleur X1 permettant de chauffer l'eau à la température d'au moins 374°C avant son injection à l'étape b) et le cas échéant avant son injection à l'eau e), et
- éventuellement au moins une étape d'échange de chaleur X2 permettant de récupérer de la chaleur du flux M5' pour chauffer le mélange M1p en amont de l'injection d'eau de l'étape b), un flux refroidi M5'' étant alors obtenu.

[0021] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre :

- au moins une étape de refroidissement d'au moins une fraction du flux M5' ou le cas échéant du flux M5'' permettant d'obtenir de la vapeur et un flux M6 comprenant de la matière organique hydrotraitée, et
- une étape d'injection d'au moins une partie de ladite vapeur pour préchauffer le mélange M1 en amont de l'étape a) de mise sous pression, ledit mélange M1 étant de préférence préchauffé à une température allant de 50 à 170°C, préférentiellement de 50 à 90°C,
- éventuellement une étape de refroidissement d'au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux refroidi M6' et éventuellement une étape de digestion du flux M6'.

[0022] Selon un mode de réalisation, le réacteur d'hydrotraitement comporte une sur-épaisseur qui résiste à l'abrasion sur au moins une portion de sa surface interne.

[0023] L'invention concerne également une installation pour la mise en œuvre du procédé d'hydrotraitement selon l'invention, ladite installation comprenant :

- une ligne d'amenée de mélange M1,
- une pompe de mise sous pression 2 alimentée par la ligne d'amenée de mélange M1 et comportant une ligne de sortie de mélange M1p,
- un dispositif de chauffage 11 en aval de la pompe 2 comprenant une entrée pour la ligne de mélange M1p et une sortie pour la ligne de flux M2,
- un réacteur d'hydrotraitement 1 comprenant au moins une entrée E1 pour le flux M2, une sortie S1 pour le flux M3 enrichi en matières solubles et une sortie S2 pour le flux appauvri en matières solubles, l'entrée E1 étant configurée de telle sorte à introduire un mouvement cyclonique dans le réacteur 1 via l'entrée E1.

[0024] Selon un mode de réalisation, le réacteur d'hydrotraitement 1 comporte en outre :

- au moins un premier filtre F1, ledit premier filtre étant disposé de telle manière que le flux M3 enrichi en matières solubles passe à travers le filtre

- avant de sortir du réacteur par la sortie S1,
 - et éventuellement au moins un deuxième filtre F1', ledit deuxième filtre F1' étant disposé de telle manière que le flux M3' enrichi en matières solubles passe à travers ledit deuxième filtre F1' avant de sortir du réacteur 1 par une sortie S1',
- [0025] de préférence, les sorties S1 et S1' sont situées en partie haute du réacteur d'hydrotraitement 1 et permettent de préférence une extraction verticale, du bas vers le haut de matière organique hydrotraitée, respectivement M3 et M3'.
- [0026] Selon un mode de réalisation, le dispositif de chauffage 11 comprend au moins un dispositif d'injection d'eau ES dans la ligne de mélange M1p, ladite installation comprenant en outre de préférence :
- un échangeur de chaleur 6 en aval du réacteur d'hydrotraitement 1, ledit échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur dans la ligne de flux M3, éventuellement combiné à la ligne de flux M3', pour obtenir un flux M5' et de transférer cette chaleur à l'eau en amont du dispositif d'injection de l'eau ES, et
 - éventuellement un dispositif de chauffage de l'eau 7, en aval de l'échangeur de chaleur 6 et en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
- [0027] ladite installation comprenant de préférence en outre :
- éventuellement un échangeur de chaleur 8 permettant de récupérer de la chaleur du mélange M5' pour obtenir un mélange M5'' et de transférer cette chaleur au mélange M1p en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
 - Un dispositif de refroidissement 4 alimenté par au moins une fraction du flux M5' ou le cas échéant M5'' permettant de produire de la vapeur et un flux refroidi M6,
 - Un dispositif d'injection 3 de ladite vapeur produite dans le flux de mélange M1 en amont de la pompe de mise sous pression 2,
 - Eventuellement un dispositif de refroidissement 9 en aval du dispositif de refroidissement 4 alimenté par au moins une fraction du flux M6 permettant de refroidir au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux M6', et
 - Eventuellement un digesteur 5 alimenté par le flux M6'.
- [0028] L'invention permet ainsi la mise en température très rapide de la biomasse par chauffage direct qui permet de maîtriser par la suite les conditions de process voulues.
- [0029] L'invention permet de maintenir la récupération thermique du procédé par chauffage de l'eau en conditions supercritiques afin de minimiser la consommation thermique globale du procédé.
- [0030] Le mouvement cyclonique permet d'améliorer la qualité de la matière organique hydrotraitée.

- [0031] L'invention permet également de séparer les temps de séjour entre les particules massives constituant la biomasse et pour lesquelles les temps de réaction chimique (en particulier solubilisation) doivent être plus importantes et les molécules solubilisées qui doivent être évacuées plus rapidement du réacteur pour éviter des réactions secondaires par exemple de repolymérisation.
- [0032] La biomasse présente une certaine viscosité. Or, la viscosité entraîne une difficulté à l'échange thermique. La viscosité de l'eau étant plus faible que celle de toute biomasse, chauffer l'eau permettra donc d'aboutir à un échangeur de récupération d'une taille inférieure et donc un coût inférieur.
- [0033] L'invention propose d'injecter de l'eau supercritique directement dans le flux de matière organique M1. Ainsi, le choc thermique entre la matière organique (M1) dont une partie est du contenu cellulaire et l'eau supercritique très chaude va entraîner des cavitations locales par différence de densité locale et donc de pression locale. Ces cavitations permettent une libération immédiate du contenu cellulaire dans la matrice aqueuse et donc par la suite dans le réacteur d'hydrotraitement des réactions immédiates des protéines et des sucres contenues dans les bactéries.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

- [0034] [Fig.1] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.
- [0035] [Fig.2] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.
- [0036] [Fig.3] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.
- [0037] [Fig.4] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.
- [0038] [Fig.5] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.
- [0039] [Fig.6] représente une installation selon un mode de réalisation du procédé selon l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

- [0040] L'invention concerne le traitement hydrothermal d'un mélange M1 comprenant de la matière organique.
- [0041] Le mélange M1 est typiquement une biomasse. La biomasse peut être pâteuse ou liquide, il peut s'agir en particulier des boues de stations d'épuration, des déchets alimentaires et agroalimentaires, en particulier des digestats de fumier et de résidus agricoles.
- [0042] L'invention concerne un procédé d'hydrotraitement d'un mélange M1 comprenant au

moins de la matière organique, ledit procédé comprenant :

- [0043] a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression à une pression allant de 20 à 350 bars, de préférence au moins 150 bars, afin d'obtenir un flux M1p,
- [0044] b) une étape de chauffage du mélange M1p à une température allant de 170 à 430°C, de préférence de 250 à 350°C, afin d'obtenir un flux de mélange M2,
- [0045] c) une introduction d'au moins une fraction du flux de mélange M2, de préférence la totalité du flux M2, dans un réacteur d'hydrotraitement par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,
- [0046] d) une extraction du réacteur d'un flux M3 enrichi en matières solubles et d'un flux M4 appauvri en matières solubles.
- [0047] Au sens de la présente invention, l'expression «au moins une fraction d'un mélange ou flux» a le même sens que l'expression «tout ou partie dudit mélange ou flux». Lorsqu'il s'agit d'une partie dudit mélange ou dudit flux, cette expression se réfère à une certaine proportion dudit mélange ou dudit flux. Par exemple, au sens de cette expression «chaque fraction du mélange» ou «chaque fraction du flux» aura la même composition.
- [0048] Au sens de la présente invention, l'expression «le cas échéant de l'étape X» introduit une caractéristique présente lorsque l'étape X est présente.
- [0049] Au sens de la présente invention, l'expression «le cas échéant du flux X» introduit une caractéristique présente lorsque le flux X est présent.

Étape de mise sous pression a)

- [0050] Le procédé selon l'invention comprend une étape de mise sous pression du mélange M1 de préférence à une pression allant de 20 à 350 bars, de préférence de 50 à 300 bars, de préférence allant de 150 à 270 bars, de préférence de 170 à 220 bars, ledit mélange M1 pouvant éventuellement être déjà sous pression avant l'étape a).
- [0051] En particulier, la mise sous pression permet d'amener le mélange M1 à une pression suffisante pour que le mélange soit en phase principalement liquide. Plus spécifiquement, la pression dans le mélange M3 sera typiquement supérieure à la pression de vapeur saturante dudit mélange M3 pour maintenir l'eau en phase liquide.
- [0052] Pour l'étape de mise sous pression, une pompe peut être prévue sur la ligne du mélange M1.
- [0053] En aval de la mise sous pression, un flux de mélange M1p est obtenu.

Étape de chauffage b)

- [0054] Le procédé de l'invention comprend une étape de chauffage du mélange M1p à une température allant de 170 à 430°C, de préférence de 250 à 350°C, permettant d'obtenir un flux de mélange M2.
- [0055] Ce chauffage peut être mis en œuvre en une ou plusieurs étapes. Une sous-étape peut

être un chauffage par un flux de chaleur externe (chauffage électrique, échangeur de chaleur par un fluide chaud (gaz/liquide), micro-ondes...) ou une injection d'eau.

- [0056] Ainsi, selon un mode de réalisation préféré, l'étape de chauffage b) comprend au moins une étape pendant laquelle de l'eau ES à une température d'au moins 374°C est injectée dans le flux de mélange M1p afin d'obtenir un flux de mélange M2 comprenant de l'eau et de la matière organique. Le mélange M2 comprendra typiquement également de la matière inorganique.
- [0057] L'injection d'eau peut par exemple être mise en œuvre avec un angle allant de 15° à 90°, de préférence de 45 à 90°, voire de 45 à 75°, par rapport à la ligne d'arrivée de flux M1p.
- [0058] Selon un mode de réalisation, le mélange M1p lors de l'injection d'eau de l'étape b) est à une température allant de 90°C à 300°C. Dans ce cas, l'étape de chauffage b) peut éventuellement comprendre une sous-étape de chauffage par un flux de chaleur externe (chauffage électrique, échangeur de chaleur par un fluide chaud (gaz/liquide), micro-ondes...).
- [0059] En amont de l'étape b), l'eau injectée sera typiquement à une pression supérieure à la pression du mélange M1p.
- [0060] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, l'eau injectée à l'étape b) est à une pression d'au moins 225 bars. Selon ce mode de réalisation, l'eau injectée sera alors dite « eau supercritique ».
- [0061] Selon un mode de réalisation, l'étape de chauffage b) du procédé comprend deux sous-étapes :
- une première sous-étape d'échange de chaleur entre le flux M1p et flux M3, ledit flux M3 ayant éventuellement été soumis à un ou plusieurs échanges de chaleur entre la sortie du réacteur et cet échange de chaleur avec M1p,
 - une deuxième sous-étape d'injection d'eau ES à une température d'au moins 374°C et de préférence à une pression d'au moins 225 bars, dans la ligne de flux M1p en aval de la première sous-étape.
- [0062] Selon un mode de réalisation, le procédé de l'invention comprend au moins une étape de chauffage de l'eau permettant d'obtenir de l'eau à la température d'au moins 374°C en amont de son injection à l'étape b).
- [0063] Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention comprend une étape de mise sous pression de l'eau jusqu'à une pression d'au moins 225 bars suivie d'au moins une étape de chauffage de l'eau permettant d'obtenir de l'eau à la température d'au moins 374°C en amont de son injection à l'étape b).
- [0064] De préférence, au moins une étape de chauffage de l'eau est mise en œuvre par échange de chaleur avec la chaleur d'au moins une fraction du flux M3 comprenant de la matière organique hydrotraitée sortant du réacteur d'hydrotraitement, le flux ainsi

refroidi sera dénommé flux M3' à l'issue de cet échange de chaleur (il pourrait s'agir de l'étape d'échange de chaleur X1 décrite ci-après).

- [0065] En sortie de l'injection entre l'eau et la boue M1p, un turbulateur statique (par exemple choisi parmi hélice, pales, coudes de tuyauterie, ou des combinaisons de ceux-ci) peut aussi être introduit pour augmenter la turbulence et l'échange rapide de chaleur entre la boue et l'eau et éviter que la boue et l'eau restent dans des flux séparés (afin d'éviter les lignes hydrauliques laminaires).
- [0066] Ainsi, selon un mode de réalisation de l'invention, en amont de l'étape c), le mélange M2 est introduit dans un turbulateur statique, ledit turbulateur statique étant alors situé en amont ou à l'entrée du réacteur d'hydrotraitement.
- [0067] Selon un mode de réalisation, un turbulateur statique est présent en amont ou à l'entrée du réacteur d'hydrotraitement afin d'augmenter la turbulence dans le mélange M2.
- [0068] Selon un mode de réalisation particulier, la ligne de flux M2, en aval de l'injection d'eau lorsqu'elle est présente, comprend un ou plusieurs coudes de tuyauterie en amont du réacteur d'hydrotraitement.

Etape d'introduction du flux de mélange M2 c)

- [0069] Le procédé selon l'invention comprend une étape d'introduction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement.
- [0070] Selon le procédé de l'invention, l'introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement est mise en œuvre par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique.
- [0071] Selon le procédé de l'invention, avant l'entrée dans le réacteur d'hydrotraitement le diamètre de la tuyauterie d'entrée du réacteur sera choisi de manière à ce que les vitesses d'entrée dans le réacteur soient suffisantes pour entraîner le mouvement cyclonique des particules du mélange M2 sans entraîner de turbulence excessive, de préférence la vitesse d'entrée du réacteur sera de 0,5 à 20 m/s, de préférence de 0,5 à 15 m/s, de préférence de 2 à 10 m/s.
- [0072] Le mouvement cyclonique présente plusieurs avantages. Du fait de l'alimentation tangentielle, une vitesse azimutale est donnée à l'écoulement multiphasique. Cette vitesse azimutale entraîne les particules de densité supérieure vers la périphérie du réacteur. Un tourbillon est créé dans le réacteur d'hydrotraitement, d'où un effet de centrifugation qui s'ajoute à l'effet gravitaire, augmentant l'efficacité de la séparation du flux de la matière organique hydrotraitée M3 (matières solubles) du reste, le reste étant de la matière non soluble, de densité supérieure, qui continue à être hydrotraitée par un temps de séjour supérieur à celui de la matière M3 ou qui sera rejetée via la sortie M4 lors du backflush.
- [0073] Le réacteur d'hydrotraitement est avantageusement maintenu à une température

allant de 170°C à 430°C. Par exemple, ce maintien en température peut être effectué via un échange de chaleur périphérique avec un fluide chaud, la mise en œuvre de l'équipement à l'intérieur d'un four maintenu en température, la mise en œuvre de collier électrique chauffant.

- [0074] Selon un mode de réalisation, le réacteur d'hydrotraitement comporte une sur-épaisseur qui résiste à l'abrasion sur au moins une portion de sa surface interne, en particulier à l'altitude proche de celle de l'injection tangentielle du flux M2. Ainsi, ladite surépaisseur peut n'être présente que sur une partie du réacteur d'hydrotraitement, en particulier la partie en contact avec le flux M2 lors de son injection dans le réacteur.
- [0075] Dans le cadre du procédé de l'invention, un contrôle des débits des flux de l'eau injectée, de préférence eau supercritique, et du mélange M1p est avantageusement mis en œuvre et permettra typiquement au nouveau mélange (mélange dit M2) d'avoir un temps de séjour dans le réacteur d'hydrotraitement allant de 1 minute à 30 minutes de préférence 10 minutes à 15 minutes.
- [0076] *Etape de récupération d'un flux M3 et d'un flux M4 d)*
- [0077] En aval du réacteur d'hydrotraitement, un flux M3 enrichi en matières solubles et un flux M4 appauvri en matières solubles sont récupérés.
- [0078] Le flux M3 peut être récupéré en aval d'un ou plusieurs filtres, ledit ou lesdits filtres pouvant être présents dans le réacteur et/ou en aval du réacteur sur la ligne de flux M3.
- [0079] Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, la récupération du flux M3 enrichi en matières solubles lors de l'étape d) est mise en œuvre à travers au moins un filtre, de préférence ledit au moins un filtre est présent dans le réacteur d'hydrotraitement.
- [0080] Lorsque le filtre est présent dans le réacteur d'hydrotraitement, cela permet d'augmenter la surface filtrante et d'avoir des filtres de plus grande surface spécifique, notamment en comparaison avec un filtre présent dans la tuyauterie.
- [0081] En outre, lorsque le filtre est en dehors du réacteur d'hydrotraitement, il peut être soit dans la tuyauterie soit dans un autre réacteur en aval du réacteur d'hydrotraitement, mais dans ces deux cas, le filtre se bouchera plus rapidement que lorsque le filtre est dans le réacteur d'hydrotraitement.
- [0082] Le filtre permet de limiter la taille des particules solides dans le flux de matière organique hydrotraitée M3, aussi appelé flux enrichi en matières solubles.
- [0083] Le filtre peut comprendre une ou plusieurs couches de filtration, pouvant avoir éventuellement des tailles de maille différentes, de préférence les couches de filtration externes ont des mailles de tailles supérieure aux couches de filtration internes.
- [0084] Selon un mode de réalisation, le filtre présente une maille de taille inférieure à 100 µm, de préférence inférieure à 50 µm, de préférence encore inférieure à 40 µm. Lorsque le filtre comprend plusieurs couches de filtration, alors la maille la plus fine

aura de préférence une taille inférieure à 100 μm , de préférence inférieure à 50 μm , de préférence encore inférieure à 40 μm .

- [0085] Selon un mode de réalisation particulier, un deuxième filtre est présent dans le réacteur d'hydrotraitement ou en aval du réacteur d'hydrotraitement sur une ligne de sortie de flux M3' distincte de la ligne de flux M3. Ainsi, le deuxième filtre est configuré de telle sorte à ce que de la matière enrichie en matières solubles soit extraite du réacteur via ce deuxième filtre. Ce deuxième flux extrait via le deuxième filtre sera dénommé M3'. Le deuxième filtre permettra d'extraire de la matière hydrotraitée (enrichie en matières solubles) lorsque le premier filtre sera saturé et le temps que le premier filtre soit nettoyé. Une fois le premier filtre nettoyé, il reprendra son rôle de filtration. Cette deuxième sortie de matière enrichie en matières solubles sera ainsi avantageusement ouverte pendant la période de backflush mise en œuvre sur le premier filtre.
- [0086] Avantageusement selon ce mode de réalisation, le deuxième filtre aura une maille de taille différente de celle du premier filtre (filtre permettant l'extraction du flux M3), de préférence une maille de taille supérieure à celle du premier filtre.
- [0087] Ainsi, selon ce mode de réalisation, le deuxième filtre aura de préférence une maille de taille inférieure à 200 μm , de préférence inférieure à 100 μm .
- [0088] Selon un mode de réalisation particulier, le premier filtre présente une maille de taille inférieure à 40 μm et le deuxième filtre présente une maille de taille inférieure à 100 μm .
- [0089] Ce deuxième filtre pourra également comprendre une ou plusieurs couches de filtration pouvant éventuellement avoir des mailles de taille différentes, de préférence les couches de filtration externes ont des mailles de tailles supérieure aux couches de filtration internes. Lorsque le deuxième filtre comprend plusieurs couches de filtration, alors de préférence, la maille la plus fine présente une taille inférieure à 200 μm , de préférence inférieure à 100 μm .
- [0090] Selon un mode de réalisation, la récupération du flux M3 lors de l'étape d) est contrôlée par une détermination de la différence de pression entre la pression dans le réacteur d'hydrotraitement et la pression dans le flux M3 à la sortie du réacteur en aval du filtre. Selon un mode de réalisation, la récupération du flux M3 est réalisée, typiquement par ouverture d'une vanne V1 sur la ligne de flux M3 en aval du filtre, tant que la différence de pression sera inférieure à une valeur seuil prédéterminée, par exemple lorsque la différence de pression est inférieure à 10 bars.
- [0091] Ce contrôle de la différence de pression permet de s'assurer que le filtre n'est pas excessivement bouché.
- [0092] Selon un mode de réalisation, l'extraction du flux M3 est mise en œuvre en partie haute du réacteur d'hydrotraitement, par une ligne de sortie verticale (par rapport à la

gravité). Ainsi, selon ce mode de réalisation, le flux M3 est de préférence extrait par un flux circulant du bas vers le haut (par rapport à la gravité).

- [0093] De préférence, le réacteur d'hydrotraitement comporte au moins une sortie en partie haute, au moins une sortie en partie basse, et éventuellement au moins une deuxième sortie en partie haute.
- [0094] Au sens de la présente invention, l'expression « partie basse » s'oppose à l'expression « partie haute ». Ainsi, une sortie en partie haute se situera à une altitude supérieure à la sortie en partie basse. De même, une sortie en partie haute se situera à une altitude supérieure à une entrée en partie basse.
- [0095] Le procédé de l'invention comprend ainsi une introduction d'un flux M2, une extraction d'un flux M3 et une extraction d'un flux M4. De préférence, l'entrée de mélange M2 se fait via une entrée E1 du réacteur d'hydrotraitement, la sortie du flux M3 se fait via une sortie S1 et la sortie de flux M4 se fait via une sortie S2.
- [0096] Ainsi, selon un mode de réalisation avantageux, l'entrée E1 se situe à une altitude inférieure à la sortie S1 et l'entrée E1 se situe à une altitude supérieure à la sortie S2 pour extraire le flux M4.
- [0097] Lorsqu'un deuxième filtre est présent, un flux M3' est extrait du réacteur via une troisième sortie S1', distincte des sorties S1 et S2. Ainsi, de préférence, selon ce mode de réalisation, la sortie S1' se situe à une altitude supérieure à l'entrée E1, l'entrée E1 étant elle-même à une altitude supérieure à la sortie S2. De façon préférentielle, les sorties S1 et S1' sont à des altitudes proches voire identiques.
- [0098] L'ensemble de ces configurations (E1, S1, S2 et le cas échéant S1') permet ainsi d'optimiser les temps de séjour et de favoriser la solubilisation de la matière dans le réacteur.
- [0099] Selon un mode de réalisation, le procédé comprend en outre une étape e) pendant laquelle de l'eau ES2 à une température d'au moins 374°C est injectée dans la ligne de flux M3 sorti du réacteur d'hydrotraitement en aval du filtre, de préférence ladite eau est à une pression d'au moins 225 bars, de préférence encore ladite eau injectée dans la ligne de flux M3 est le cas échéant (i.e. lorsque l'étape b) comprend une injection d'eau ES) à la même température et à la même pression que l'eau injectée dans le flux M1p lors de l'étape b).
- [0100] Ainsi, cette injection d'eau ES2, de préférence eau supercritique, est mise en œuvre à contre-courant du flux M3 sortant du réacteur d'hydrotraitement. Selon un mode de réalisation, cette eau injectée dans la ligne de flux M3 à contre-courant, est obtenue par le même procédé que celui décrit pour l'eau injectée à l'étape b) (avantageusement échange de chaleur X1 puis chauffage supplémentaire).
- [0101] Typiquement, lors de cette injection d'eau à contre-courant dans le flux M3, le flux M3 n'est plus extrait du réacteur d'hydrotraitement, typiquement par fermeture d'une

vanne V1 présente en aval du réacteur d'hydrotraitement et en aval du filtre sur la ligne de sortie de flux M3. L'injection d'eau ES2 a alors typiquement lieu entre le filtre et la vanne V1.

- [0102] Cette injection d'eau ES2 dans le flux M3 permet d'effectuer un rétro-lavage (en anglais « backflush ») du premier filtre. Cette étape de lavage peut être mise en œuvre en même temps que la récupération du flux M4 par la sortie basse du réacteur, par exemple en ouvrant une vanne V2 sur la ligne de flux M4. Ainsi, cette injection d'eau ES2 à contre-courant pourra être déclenchée lorsque la différence de pression entre la pression dans le réacteur d'hydrotraitement et la pression dans le flux M3 à la sortie du réacteur en aval du filtre dépassera un certain seuil prédéterminé, par exemple à partir de 10 bars.
- [0103] Selon un mode de réalisation du procédé de l'invention, lorsqu'une injection d'eau ES2, de préférence d'eau supercritique, à contre-courant est mise en œuvre dans le flux M3, alors de préférence le réacteur comporte en outre une sortie en partie basse et la sortie du réacteur en partie basse est ouverte (pendant ladite injection d'eau), via l'ouverture d'une vanne V2 en aval du réacteur d'hydrotraitement sur la ligne de flux M4, afin d'extraire un flux M4 appauvri en matières solubles.
- [0104] Au sens de la présente invention, on entend par « flux enrichi en matières solubles », un flux comprenant une proportion massique de matières solubles supérieure à la proportion massique de matières solubles dans le mélange M2.
- [0105] Au sens de la présente invention, on entend par « flux appauvri en matières solubles », un flux comprenant une proportion massique de matières solubles inférieure à la proportion massique de matières solubles dans le mélange M2.
- [0106] Au sens de la présente invention, une matière soluble sera une matière obtenue après filtration dans un filtre de 40 µm (matière non retenue par ledit filtre de 40 µm) puis séchage d'une matière initiale.
- [0107] Ainsi, selon un mode de réalisation, le ratio entre la concentration de matières solubles du flux M3 et la concentration de matières solubles du flux M4 est d'au moins 2, de préférence d'au moins 4, de préférence encore d'au moins 6, voire d'au moins 10.
- [0108] Selon un mode de réalisation mettant en œuvre un deuxième filtre, lors du rétro-lavage du premier filtre, la sortie de flux M3 est fermée (grâce par exemple à une vanne V1) et il est possible qu'un flux M3' enrichi en matières solubles soit extrait du réacteur via le deuxième filtre pendant ledit rétro-lavage du premier filtre.
- [0109] De préférence, chacune des sorties de flux M3 et M3' est située en partie haute du réacteur, afin de permettre une sortie verticale du flux, du bas vers le haut.
- [0110] Ainsi, selon ce mode de réalisation, une première vanne V1 est présente sur la sortie de flux M3 et une deuxième vanne V1' est présente sur la sortie de flux M3'. De préférence selon ce mode de réalisation, lorsque la première vanne V1 est ouverte,

alors soit la deuxième vanne V1' est ouverte soit la vanne V2 est ouverte soit les deux vannes V1' et V2 sont ouvertes.

- [0111] Selon le mode de réalisation mettant en œuvre deux filtres, lesdits filtres peuvent être (i) dans le réacteur d'hydrotraitement ou (ii) en aval du réacteur d'hydrotraitement ou (iii) un des deux filtres peut être dans le réacteur et l'autre filtre peut être en aval du réacteur. Selon ce mode de réalisation, deux flux enrichis en matières solubles M3 et M3' sont alors obtenus en aval du réacteur d'hydrotraitement et en aval desdits filtres. De façon avantageuse, les deux lignes de flux M3 et M3' sont combinées, typiquement en aval des vannes V1 et V1'.
- [0112] Selon un mode de réalisation particulièrement avantageux, le procédé de l'invention comprend en outre au moins une étape d'échange de chaleur X1 permettant de récupérer de la chaleur du flux M3, éventuellement combiné au flux M3' pour chauffer au moins partiellement l'eau W1 destinée à être injectée pour l'étape de chauffage b). En aval de l'échange de chaleur X1, le flux M3 (éventuellement combiné au flux M3') qui aura été refroidi sera dénommé flux M5' et l'eau W1 qui aura été chauffée sera dénommé eau W2.
- [0113] Typiquement, selon ce mode de réalisation, le procédé de l'invention comprend en outre au moins une étape de chauffage de l'eau W2, en aval dudit échange de chaleur X1, permettant de chauffer l'eau à la température d'au moins 374°C avant son injection à l'étape b).
- [0114] Lorsque le procédé de l'invention comprend une étape d'échange de chaleur X1, ladite étape d'échange de chaleur X1 est de préférence mise en œuvre avec de l'eau ayant une pression d'au moins 225 bars, elle sera ainsi de préférence mise en œuvre après une étape de mise sous pression de l'eau W1 jusqu'à une pression d'au moins 225 bars.
- [0115] De façon préférentiellement, selon le mode de réalisation mettant en œuvre deux filtres, l'échange de chaleur X1 est mis en œuvre en aval de la recombinaison des lignes de flux M3 et M3'.
- [0116] Selon un mode de réalisation, le procédé de l'invention comprend en outre une étape d'échange de chaleur X2 permettant de récupérer de la chaleur du flux M5' pour chauffer le mélange M1p en amont de l'injection d'eau de l'étape b) du procédé. Cet échange de chaleur permet alors d'obtenir un flux M5'' refroidi.
- [0117] Le flux M1p en aval de l'échange de chaleur X2 pourra typiquement avoir une température allant de 90 à 170°C.
- [0118] Ladite étape d'échange de chaleur X2 peut être combinée à une autre étape de chauffage externe pour chauffer le mélange M1p à la température désirée lors de la mise en œuvre de l'étape b), il pourra s'agir notamment d'un chauffage par injection d'eau à une température d'au moins 374°C.

- [0119] Le flux M5'' pourra typiquement avoir une température allant de 100 à 200°C.
- [0120] De préférence, selon ce mode de réalisation, le procédé d'hydrotraitement selon l'invention comprend en outre :
- une étape de refroidissement d'au moins une fraction du flux M5'' permettant d'obtenir de la vapeur et un flux M6 enrichi en matières solubles, et
 - une étape d'injection d'au moins une partie de ladite vapeur pour préchauffer le mélange M1 en amont de l'étape a) de mise sous pression.
- [0121] L'étape de refroidissement peut être mise en œuvre à l'aide d'un dispositif de refroidissement choisi parmi un échangeur de chaleur intégré ou non dans un cycle de rankine, flash, scrubber, de préférence à l'aide d'un flash.
- [0122] La vapeur produite lors du refroidissement est, selon ce mode de réalisation, utilisée pour préchauffer le mélange M1 en amont de l'étape a) de mise sous pression.
- [0123] De préférence, selon ce mode de réalisation, le mélange M1 est préchauffée en amont de l'étape a) de mise sous pression à une température allant de 50 à 170°C, préférentiellement de 50 à 90°C, grâce à la vapeur issue du refroidissement d'au moins une fraction du flux M5''. Il conviendra de noter que le mélange M1 pourra éventuellement être déjà sous pression, avant l'étape a) définie dans l'invention.
- [0124] L'invention permet ainsi une meilleure optimisation de la viscosité de la biomasse qui subit des traitements à fortes pressions. En effet, la difficulté de pompage à ces hautes pressions nécessite une viscosité minimale de la biomasse à pomper afin de rentrer dans les spécifications des pompes à très haute pression.
- [0125] Par injection de vapeur dans le mélange M1, on utilise l'ensemble des possibilités pour diminuer la viscosité de la biomasse jusqu'à une valeur acceptable pour les technologies de pompage tout en minimisant la dilution de la biomasse qui peut causer des surcoûts de dimensionnement des équipements aval (temps de séjour à respecter...).
- [0126] Selon un mode de réalisation, le refroidissement d'au moins une fraction du flux M5' ou le cas échéant M5'' est mis en œuvre à une pression régulée en fonction de la température de préchauffage du mélange M1 en amont de l'étape a) de mise sous pression.
- [0127] En effet, la pression et la température sont liées pour de la vapeur saturée. Le maintien d'une pression constante permet de contrôler la température de la vapeur et donc la température maximum pouvant être atteinte par le produit réchauffé par la vapeur (mélange M1 dans le cas de l'invention).
- [0128] Par exemple, la pression peut être maintenue entre 2 et 10 bars.
- [0129] Selon un mode de réalisation, le procédé selon l'invention comprend en outre une étape supplémentaire de refroidissement d'au moins une fraction du flux M6 (enrichi en matières solubles) pour obtenir un flux M6' suivie d'une étape d'introduction dudit flux M6' dans un digesteur pour permettre la digestion de la matière organique contenu dans le flux M6'.

- [0130] L'étape de refroidissement supplémentaire permet par exemple de refroidir le flux M6 à une température inférieure ou égale à 100°C, de préférence inférieure ou égale à 60°C, de préférence encore inférieure ou égale à 40°C.
- [0131] Selon un mode de réalisation, le flux M6' refroidi est ensuite introduit dans un digesteur pour subir une étape de digestion.
- [0132] La digestion peut être mise en œuvre selon tout procédé de digestion connue de l'homme du métier.
- [0133] Selon un mode de réalisation, le procédé de traitement selon l'invention comprend au moins une étape de digestion anaérobie mise en œuvre sur le flux M6'.
- [0134] La digestion anaérobie peut être mésophile ou thermophile.
- [0135] Lorsqu'une digestion mésophile est mise en œuvre, alors la température dans le digesteur va de 33°C à 37°C et le temps de séjour est de 16 à 22 jours.
- [0136] Lorsqu'une digestion thermophile est mise en œuvre, alors la température dans le digesteur va de 55° à 60°C et le temps de séjour est de 10 à 12 jours.
- [0137] Le temps de séjour et la température sont deux facteurs influençant la bonne dégradation des boues et donc l'optimisation de la production d'énergie.
- [0138] Lorsque le flux à digérer est suffisamment liquide, la digestion peut être de type UASB et les temps de séjour réduit.
- [0139] A l'issue de l'étape de digestion, un biogaz est obtenu.
- [0140] Ce biogaz comprend typiquement un mélange essentiellement constitué de méthane, de dioxyde de carbone et d'eau. Le biogaz peut éventuellement comprendre d'autres gaz, tels que l'hydrogène, l'oxygène, l'azote, le sulfure d'hydrogène mais ces autres gaz représentent collectivement moins de 10 % en poids du biogaz, du poids total du biogaz.
- [0141] Selon un mode de réalisation, au moins une fraction du flux M3 enrichi en matières solubles sortant du réacteur est envoyée vers une ou plusieurs étapes de traitement postérieur.
- [0142] Dans le mode de réalisation mettant en œuvre deux filtres, les deux lignes de flux M3 et M3' sont avantageusement recombinaées en amont des étapes de traitement postérieur.
- [0143] Parmi les traitements postérieurs pouvant être mis en œuvre, on peut citer une étape de chauffage complémentaire, une étape de gazéification hydrothermale. Selon ce mode de réalisation, le(s) échange(s) de chaleur (X1, X2) décrits dans la présente invention et la digestion décrite dans l'invention seront mis en œuvre le cas échéant, en aval desdits traitements postérieurs.
- [0144] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé comprend :
- [0145] a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression d'au moins 40 bars, afin d'obtenir un flux M1p,

- [0146] b) une étape de chauffage comprenant au moins une injection d'eau à une température d'au moins 374°C et à une pression d'au moins 225 bars dans le flux du mélange M1p afin d'obtenir un flux M2 comprenant de l'eau et de la matière organique,
- [0147] c) une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,
- [0148] d) une récupération en aval du réacteur d'un flux M3 enrichi en matières solubles et d'un flux M4 appauvri en matières solubles,
- [0149] ledit procédé comprenant en outre :
- une étape de mise sous pression d'eau W1 jusqu'à une pression d'au moins 225 bars,
 - une étape d'échange de chaleur X1 en aval de ladite mise sous pression d'eau, permettant de récupérer de la chaleur du flux M3 pour chauffer au moins partiellement l'eau W1 destinée à être injectée à l'étape b), permettant d'obtenir en aval de l'échange X1, un flux refroidi M5' et un flux d'eau chauffée W2,
 - une étape de chauffage supplémentaire mise en œuvre sur le flux d'eau chauffée W2, en aval dudit échange de chaleur X1, permettant de chauffer l'eau à la température d'au moins 374°C avant son injection à l'étape b),
 - une étape d'échange de chaleur X2, en aval de l'échange de chaleur X1, permettant de récupérer de la chaleur du flux M5' pour chauffer le mélange M1p en amont de l'injection d'eau de l'étape b) du procédé, cet échange de chaleur X2 permettant alors d'obtenir un flux M5'' refroidi.
- [0150] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé comprend :
- [0151] a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression allant de 20 à 350 bars, afin d'obtenir un flux M1p,
- [0152] b) une étape de chauffage comprenant au moins une injection d'eau à une température d'au moins 374°C et à une pression d'au moins 225 bars dans le flux du mélange M1p afin d'obtenir un flux M2 comprenant de l'eau et de la matière organique,
- [0153] c) une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement via une entrée E1 par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,
- [0154] d) une récupération d'un flux M3 enrichi en matières solubles en aval d'un filtre présent dans le réacteur ou en aval du réacteur, ledit filtre ayant une taille de maille inférieure à 40 µm,
- [0155] e) une étape d'injection d'eau à une température d'au moins 374°C dans la ligne de flux M3 en aval du réacteur et en aval du filtre, à contre-courant dudit flux M3, ladite eau étant à la même température et à la même pression que l'eau injectée lors de

l'étape b),

[0156] ledit réacteur d'hydrotraitement comportant en outre :

- une première sortie S1 configurée pour extraire de la matière M3 enrichie en matières solubles,
- une deuxième sortie S2 configurée pour extraire de la matière M4 appauvrie en matières solubles,

[0157] ledit procédé comprenant en outre une récupération, via une troisième sortie S1' différente de S1, d'un flux enrichi en matières solubles M3' en aval d'un deuxième filtre présent dans le réacteur ou en aval du réacteur, ledit deuxième filtre ayant une taille de maille supérieure à celle du premier filtre,

[0158] l'entrée E1 étant située à une altitude inférieure aux sorties S1 et S1' et à une altitude supérieure à la sortie S2,

[0159] ledit procédé étant caractérisé en ce que lorsque de l'eau est injectée lors de l'étape e), alors :

- aucun flux M3 n'est extrait du réacteur et
- un flux M4 est extrait du réacteur,
- de préférence un flux M3' est extrait du réacteur.

[0160] Selon un mode de réalisation particulier de l'invention, le procédé comprend :

[0161] a) Une mise sous pression du mélange M1 à une pression allant de 20 à 350 bars, afin d'obtenir un flux M1p,

[0162] b) une étape de chauffage comprenant au moins une injection d'eau à une température d'au moins 374°C et à une pression d'au moins 225 bars dans le flux du mélange M1p afin d'obtenir un flux M2 comprenant de l'eau et de la matière organique,

[0163] c) une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement via une entrée E1 par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,

[0164] d) une récupération d'un flux M3 enrichi en matières solubles en aval d'un filtre présent dans le réacteur ou en aval du réacteur, ledit filtre ayant une taille de maille inférieure à 40 µm,

[0165] e) une étape d'injection d'eau à une température d'au moins 374°C dans la ligne de flux M3 en aval du réacteur et en aval du filtre, à contre-courant dudit flux M3, ladite eau étant à la même température et à la même pression que l'eau injectée lors de l'étape b),

[0166] ledit réacteur d'hydrotraitement comportant en outre :

- une première sortie S1 configurée pour extraire de la matière M3 enrichie en matières solubles,
- une deuxième sortie S2 configurée pour extraire de la matière M4 appauvrie

en matières solubles,

[0167] ledit procédé comprenant en outre :

- une étape de mise sous pression d'eau W1 jusqu'à une pression d'au moins 225 bars,
- une récupération, via une troisième sortie S1' différente de S1, d'un flux enrichi en matières solubles M3' en aval d'un deuxième filtre présent dans le réacteur ou en aval du réacteur, ledit deuxième filtre ayant une taille de maille supérieure à celle du premier filtre,
- une étape d'échange de chaleur X1 en aval de ladite mise sous pression d'eau, permettant de récupérer de la chaleur du flux M3, éventuellement combiné à M3', pour chauffer au moins partiellement l'eau W1 destinée à être injectée à l'étape b), permettant d'obtenir en aval de l'échange X1, un flux refroidi M5' et un flux d'eau chauffée W2,
- une étape de chauffage supplémentaire mise en œuvre sur le flux d'eau chauffée W2, en aval dudit échange de chaleur X1, permettant de chauffer l'eau W2 à la température d'au moins 374°C avant son injection à l'étape b),
- une étape d'échange de chaleur X2, en aval de l'échange de chaleur X1, permettant de récupérer de la chaleur du flux M5' pour chauffer le mélange M1p en amont de l'injection d'eau de l'étape b) du procédé, cet échange de chaleur X2 permettant alors d'obtenir un flux M5'' refroidi.

[0168] l'entrée E1 étant située à une altitude inférieure aux sorties S1 et S1' et à une altitude supérieure à la sortie S2,

[0169] ledit procédé étant caractérisé en ce que lorsque de l'eau est injectée lors de l'étape e), alors :

- aucun flux M3 n'est extrait du réacteur et
- un flux M4 est extrait du réacteur,
- de préférence un flux M3' est extrait du réacteur.

[0170] L'invention concerne également une installation pour la mise en œuvre du procédé d'hydrotraitement selon l'invention.

[0171] Les [Fig.1] à [Fig.6] illustrent des modes de réalisation de l'invention, sans en limiter la portée.

[0172] L'installation selon l'invention comprend :

- une ligne d'amenée de mélange M1,
- une pompe de mise sous pression 2 alimentée par la ligne d'amenée de mélange M1 et comportant une ligne de sortie de mélange M1p,
- un dispositif de chauffage 11 en aval de la pompe 2 comprenant une entrée pour la ligne de mélange M1p et une sortie pour la ligne de flux M2,
- en aval du dispositif d'injection de l'eau ES, un réacteur d'hydrotraitement 1

comportant au moins une entrée E1 pour le flux M2 et au moins une sortie S1 pour le flux M3 et au moins une sortie S2 pour le flux M4, l'entrée E1 étant configurée de telle sorte à introduire un mouvement cyclonique du flux M2 dans le réacteur 1 via l'entrée E1.

- [0173] Selon un mode de réalisation de l'installation, le dispositif de chauffage 11 est choisi parmi un ou plusieurs éléments parmi : un dispositif d'injection d'eau, un dispositif de chauffage externe, ledit dispositif de chauffage externe pouvant être choisi parmi un dispositif de chauffage électrique, un échangeur de chaleur par un fluide chaud (gaz/liquide), un dispositif de chauffage par micro-ondes, ou une combinaison de ceux-ci.
- [0174] Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, le dispositif de chauffage 11 comprend au moins un dispositif d'injection d'eau ES dans la ligne de mélange M1p. Ce mode de réalisation est illustré dans les Figures.
- [0175] Selon un mode de réalisation, le dispositif de chauffage 11,11' comprend un échangeur de chaleur 8 et un dispositif d'injection d'eau ES dans la ligne de mélange M1p, de préférence, l'échangeur de chaleur 8 est en amont du dispositif d'injection d'eau ES. Ce mode de réalisation est illustré sur la [Fig.6].
- [0176] Comme illustré à la [Fig.1], selon un mode de réalisation, l'installation selon l'invention comprend :
- une ligne d'amenée de mélange M1,
 - une pompe de mise sous pression 2 alimentée par la ligne d'amenée de mélange M1 et comportant une ligne de sortie de mélange M1p,
 - un dispositif de chauffage 11 comprenant un dispositif d'injection de l'eau ES dans la ligne de mélange M1p en aval de la pompe de mise sous pression 2,
 - un réacteur d'hydrotraitement 1 comportant au moins une entrée E1 pour le flux M2, au moins une sortie S1 pour le flux M3 et au moins une sortie pour le flux M4, l'entrée E1 étant configurée de telle sorte à introduire un mouvement cyclonique dans le réacteur 1 via l'entrée E1.
- [0177] Selon un mode de réalisation, le réacteur d'hydrotraitement 1 comporte en outre au moins un filtre F1, le filtre étant de préférence disposé au sein du réacteur, sur la ligne de sortie de flux M3 disposé de telle manière que la matière organique hydrotraitée M3 passe à travers le filtre avant de sortir du réacteur par la sortie S1.
- [0178] La [Fig.1] illustre un mode de réalisation avantageux de l'invention dans lequel un filtre F1 est présent dans le réacteur 1, de telle sorte que le flux M3 traverse le filtre F1 avant d'être extrait du réacteur 1. Selon un mode de réalisation, le filtre F1 comprend au moins une maille de taille inférieure à 100 μm , de préférence inférieure à 50 μm , de préférence encore inférieure à 40 μm .
- [0179] Une vanne V1 peut être présente en aval du réacteur 1 afin de contrôler le flux M3

sortant du réacteur.

[0180] La [Fig.1] illustre également le mouvement cyclonique.

[0181] La [Fig.1] illustre également un mode de réalisation avantageux de l'invention dans lequel l'installation comprend en outre une deuxième ligne d'amenée d'eau ES2 dans le flux M3 à la sortie du réacteur 1. La ligne d'amenée d'eau ES2 est configurée pour introduire l'eau, de préférence de l'eau supercritique, à contre-courant du flux M3.

[0182] La [Fig.1] illustre également un mode de réalisation avantageux de l'invention dans lequel le réacteur 1 comporte une la sortie S1 en partie haute et une sortie S2 en partie basse du réacteur 1.

[0183] Avantageusement, l'installation comprend en outre une unité de contrôle permettant de contrôler l'injection d'eau ES2 et la sortie S2. En effet, de préférence, la sortie S2 est ouverte (grâce à la vanne V2) lorsque de l'eau est injectée via la ligne d'amenée ES2.

[0184] La [Fig.2] illustre un mode de réalisation du procédé selon l'invention mettant en œuvre un échange de chaleur X1 tel que défini dans l'invention. L'installation illustrée à la [Fig.2] montre une étape d'échange de chaleur via un échangeur de chaleur 6. L'échangeur de chaleur 6 permet de récupérer la chaleur présente dans le flux M3 sortant du réacteur d'hydrotraitement 1 pour la transférer à l'eau afin de préchauffer l'eau.

[0185] Selon un mode de réalisation illustré à la [Fig.2], l'installation selon l'invention comprend :

[0186] - un échangeur de chaleur 6 en aval du réacteur d'hydrotraitement, ledit échangeur de chaleur 6 permettant de récupérer la chaleur du flux M3 pour obtenir un flux M6' refroidi et de transférer cette chaleur à l'eau W1 en amont du dispositif d'injection de l'eau ES pour obtenir un flux d'eau chauffée W2,

[0187] - un dispositif de chauffage de l'eau 7, en aval de l'échangeur de chaleur 6 et en amont du dispositif d'injection de l'eau ES, ledit dispositif de chauffage 7 étant alimenté par l'eau W2 et permet d'obtenir de l'eau ES à une température d'au moins 374°C.

[0188] De préférence, lorsque l'installation comprend une ligne d'injection d'eau ES2, ladite eau ES2 est introduite dans la ligne de flux M3 via une ligne d'amenée d'eau sortant du dispositif de chauffage 7 (cas de la [Fig.2]) ou sortant d'une dérivation de la ligne d'amenée d'eau ES.

[0189] Selon un mode de réalisation non représenté, l'installation selon l'invention comprend sur la ligne d'amenée d'eau W1, une pompe de mise sous pression permettant avantageusement de porter l'eau à une pression d'au moins 225 bars.

[0190] Selon un mode de réalisation, l'installation comprend en outre un turbulateur statique 10 alimenté par la ligne de flux M2, ledit turbulateur statique étant en amont du

réacteur d'hydrotraitement 1. Le mélange sortant du turbulateur 10 alimente le réacteur d'hydrotraitement 1. Ce mode de réalisation est illustré sur la [Fig.3].

- [0191] Le turbulateur statique peut être choisi parmi une hélice, des pales ou des coudes ou des combinaisons de ceux. Ainsi, par exemple, la ligne d'amenée de flux de mélange M2 située entre le dispositif d'injection d'eau ES et le réacteur d'hydrotraitement 1 peut comprendre un ou plusieurs coudes permettant d'apporter de la turbulence améliorant ainsi les échanges entre l'eau et la boue.
- [0192] Comme illustré à la [Fig.3], le turbulateur 10 peut être un système de coudes.
- [0193] Selon le mode de réalisation illustré à la [Fig.4], l'installation comprend en outre un deuxième filtre F1', une autre sortie en partie haute du réacteur 1, sortie S1', permettant d'extraire un flux M3' comprenant la matière organique hydrotraitée (flux enrichi en matières solubles). Une vanne V1' peut également être présente afin de contrôler l'extraction du flux M3'.
- [0194] De préférence, le filtre F1' présente une maille de taille inférieure à 200 µm.
- [0195] Selon un mode de réalisation particulier, le filtre F1 comprend une couche de filtration présentant une maille de taille inférieure à 40 µm et le filtre F1' comprend une couche de filtration présentant une maille de taille inférieure à 100 µm.
- [0196] De préférence, la sortie S1 et la sortie S1' sont situées en partie haute du réacteur d'hydrotraitement 1 et permettent de préférence une extraction verticale, du bas vers le haut de matière organique hydrotraitée, respectivement M3 et M3'.
- [0197] De préférence, selon ce mode de réalisation, l'installation comprend une ligne d'injection du flux M3' dans la ligne de flux M3 en aval de la vanne V1, et le cas échéant en amont de l'échangeur de chaleur 6, permettant ainsi de recombinaison les lignes de flux M3 et M3'.
- [0198] La [Fig.5] illustre un mode de réalisation du procédé selon l'invention. L'installation illustrée à la [Fig.5] comprend :
- [0199] - un échangeur de chaleur 6 en aval du réacteur d'hydrotraitement 1, ledit échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur du flux M3, éventuellement combiné au flux M3', pour obtenir un flux M5' et de transférer cette chaleur à l'eau W1 en amont du dispositif de chauffage 7, permettant d'obtenir une eau chauffée W2,
- [0200] - un dispositif de chauffage de l'eau 7, en aval de l'échangeur de chaleur 6 alimenté par l'eau chauffée W2 et en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
- [0201] - un dispositif de refroidissement 4 alimenté par au moins une fraction du flux M5' permettant de produire de la vapeur et un flux refroidi M6,
- [0202] - un dispositif d'injection 3 de ladite vapeur produite dans le flux de mélange M1 en amont de la pompe de mise sous pression 2, ledit dispositif d'injection 3 pouvant être un réacteur,
- [0203] - un dispositif de refroidissement 9 en aval du dispositif de refroidissement 4

- permettant de refroidir au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux M6', et
- [0204] - un digesteur 5 alimenté par le flux M6'.
- [0205] La [Fig.6] illustre un mode de réalisation du procédé selon l'invention. L'installation illustrée à la [Fig.6] comprend :
- [0206] - un échangeur de chaleur 6 en aval du réacteur d'hydrotraitement 1, ledit échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur du flux M3, éventuellement combiné au flux M3', pour obtenir un flux M5' et de transférer cette chaleur à l'eau W1 en amont d'un dispositif de chauffage 7, permettant d'obtenir une eau chauffée W2,
- [0207] - un dispositif de chauffage de l'eau 7, en aval de l'échangeur de chaleur 6 alimenté par l'eau chauffée W2 et en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
- [0208] - un échangeur de chaleur 8 permettant de récupérer de la chaleur du mélange M5' pour obtenir un mélange M5'' et de transférer cette chaleur au mélange M1p en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
- [0209] - un dispositif de refroidissement 4 alimenté par au moins une fraction du flux M5' permettant de produire de la vapeur et un flux refroidi M6,
- [0210] - un dispositif d'injection de ladite vapeur produite dans le flux de mélange M1 en amont de la pompe de mise sous pression 2, ledit dispositif d'injection 3 pouvant être un réacteur,
- [0211] - un dispositif de refroidissement 9 en aval du dispositif de refroidissement 4 permettant de refroidir au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux M6', et
- [0212] - un digesteur 5 alimenté par le flux M6'.
- [0213] Selon un mode de réalisation illustré à la [Fig.6], le dispositif de chauffage 11, 11' comprend un échangeur de chaleur 8 et un dispositif d'injection d'eau ES. Selon le mode de réalisation illustré à la [Fig.6], l'étape de chauffage b) du procédé comprend deux sous-étapes :
- une première sous-étape d'échange de chaleur entre le flux M1p et flux M3, ledit flux M3 ayant éventuellement été soumis à un ou plusieurs échanges de chaleur entre la sortie du réacteur et cet échange de chaleur avec M1p,
 - une deuxième sous-étape d'injection d'eau ES à une température d'au moins 374°C et de préférence à une pression d'au moins 225 bars, dans la ligne de flux M1p en aval de la première sous-étape.
- [0214] Selon un mode de réalisation non représenté sur les Figures, l'installation selon l'invention comprend en outre au moins un dispositif de traitement postérieur alimenté par au moins une fraction du flux M3 en aval du réacteur d'hydrotraitement 1. Lorsque l'installation comprend en outre au moins un échangeur de chaleur 6, alors ledit dispositif de traitement postérieur est en amont dudit échangeur de chaleur 6. De préférence, ledit dispositif de traitement postérieur est choisi parmi une étape de chauffage complémentaire, une étape de gazéification hydrothermale.

Revendications

- [Revendication 1] Procédé d'hydrotraitement d'un mélange M1 comprenant au moins de la matière organique, ledit procédé comprenant :
- a. Une mise sous pression du mélange M1 à une pression allant de 20 à 350 bars, afin d'obtenir un flux M1p,
 - b. une étape de chauffage du mélange M1p à une température allant de 170 à 430°C, afin d'obtenir un flux de mélange M2,
 - c. une introduction d'au moins une fraction du flux M2 dans un réacteur d'hydrotraitement par une injection tangentielle permettant un mouvement cyclonique,
 - d. une récupération en aval du réacteur d'un flux M3 enrichi en matières solubles et d'un flux M4 appauvri en matières solubles.
- [Revendication 2] Procédé d'hydrotraitement selon la revendication 1, dans lequel la récupération du flux M3 lors de l'étape d) est mise en œuvre à travers au moins un filtre, ledit filtre comprenant au moins une couche de filtration ayant de préférence une taille de maille inférieure à 100 µm, de préférence inférieure à 50 µm, de préférence encore inférieure à 40 µm, ledit filtre étant de préférence dans le réacteur d'hydrotraitement.
- [Revendication 3] Procédé d'hydrotraitement selon la revendication 1 ou 2, dans lequel l'étape b) comprend au moins une étape d'injection d'eau ES à une température d'au moins 374°C dans le flux du mélange M1p afin d'obtenir le flux M2, l'eau injectée étant de préférence à une pression d'au moins 225 bars.
- [Revendication 4] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la récupération du flux M3 lors de l'étape d) est contrôlée par une détermination de la différence de pression entre la pression dans le réacteur d'hydrotraitement et la pression dans le flux M3 en aval du filtre et en aval du réacteur.
- [Revendication 5] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel le réacteur d'hydrotraitement est maintenu à une température allant de 170°C à 430°C.
- [Revendication 6] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel la récupération du flux M3 est mise en œuvre en partie haute du réacteur d'hydrotraitement, par une ligne de sortie verticale, et

la récupération du flux M4 est mise en œuvre en partie basse du réacteur.

[Revendication 7] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 2 à 6, comprenant en outre, en aval du filtre et en aval du réacteur, une étape e) d'injection d'eau à une température d'au moins 374°C dans le flux M3, à contre-courant dudit flux, le cas échéant ladite eau étant de préférence à la même température et à la même pression que l'eau injectée lors de l'étape b).

[Revendication 8] Procédé d'hydrotraitement selon la revendication 7, dans lequel, lorsque l'injection d'eau à contre-courant de l'étape e) est mise en œuvre, alors la sortie du réacteur en partie basse est ouverte afin d'extraire un flux M4.

[Revendication 9] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel le flux de mélange M2 est introduite dans le réacteur avec une vitesse allant de 0,5 à 20 m/s, de préférence de 0,5 à 15 m/s, de préférence de 2 à 10 m/s.

[Revendication 10] Procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 3 à 9, comprenant en outre

- au moins une étape d'échange de chaleur X1 permettant de récupérer de la chaleur du flux M3 pour chauffer au moins partiellement l'eau destinée à être injectée à l'étape b), un flux refroidi M5' étant alors obtenu, et comprenant éventuellement au moins une étape de chauffage supplémentaire de l'eau, en aval de l'échange de chaleur X1 permettant de chauffer l'eau à la température d'au moins 374°C avant son injection à l'étape b) et le cas échéant avant son injection à l'eau e), et
- éventuellement au moins une étape d'échange de chaleur X2 permettant de récupérer de la chaleur du flux M5' pour chauffer le mélange M1p en amont de l'injection d'eau de l'étape b), un flux refroidi M5'' étant alors obtenu.

[Revendication 11] Procédé d'hydrotraitement selon la revendication 10, comprenant en outre :

- au moins une étape de refroidissement d'au moins une fraction du flux M5' ou le cas échéant du flux M5'' permettant d'obtenir de la vapeur et un flux M6 comprenant de la matière organique hydrotraitée, et

- une étape d'injection d'au moins une partie de ladite vapeur pour préchauffer le mélange M1 en amont de l'étape a) de mise sous pression, ledit mélange M1 étant de préférence préchauffé à une température allant de 50 à 170°C, préférentiellement de 50 à 90°C,
- éventuellement une étape de refroidissement d'au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux refroidi M6' et éventuellement une étape de digestion du flux M6'.

[Revendication 12] Procédé d'hydrotraitement selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel le réacteur d'hydrotraitement comporte une surépaisseur qui résiste à l'abrasion sur au moins une portion de sa surface interne.

[Revendication 13] Installation pour la mise en œuvre du procédé d'hydrotraitement selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, ladite installation comprenant :

- une ligne d'amenée de mélange M1,
- une pompe de mise sous pression (2) alimentée par la ligne d'amenée de mélange M1 et comportant une ligne de sortie de mélange M1p,
- un dispositif de chauffage (11) en aval de la pompe (2) comprenant une entrée pour la ligne de mélange M1p et une sortie pour la ligne de flux M2,
- un réacteur d'hydrotraitement (1) comprenant au moins une entrée E1 pour le flux M2, une sortie S1 pour le flux M3 enrichi en matières solubles et une sortie S2 pour le flux appauvri en matières solubles, l'entrée E1 étant configurée de telle sorte à introduire un mouvement cyclonique dans le réacteur (1) via l'entrée E1.

[Revendication 14] Installation selon la revendication 13, dans laquelle le réacteur d'hydrotraitement (1) comporte en outre :

- au moins un premier filtre F1, ledit premier filtre étant disposé de telle manière que le flux M3 enrichi en matières solubles passe à travers le filtre avant de sortir du réacteur par la sortie S1,
- et éventuellement au moins un deuxième filtre F1', ledit

deuxième filtre F1' étant disposé de telle manière que le flux M3' enrichi en matières solubles passe à travers ledit deuxième filtre F1' avant de sortir du réacteur (1) par une sortie S1',

de préférence, les sorties S1 et S1' sont situées en partie haute du réacteur d'hydrotraitement 1 et permettent de préférence une extraction verticale, du bas vers le haut de matière organique hydrotraitée, respectivement M3 et M3'.

[Revendication 15] Installation selon la revendication 13 ou 14, dans laquelle le dispositif de chauffage (11) comprend au moins un dispositif d'injection d'eau ES dans la ligne de mélange M1p, ladite installation comprenant en outre de préférence :

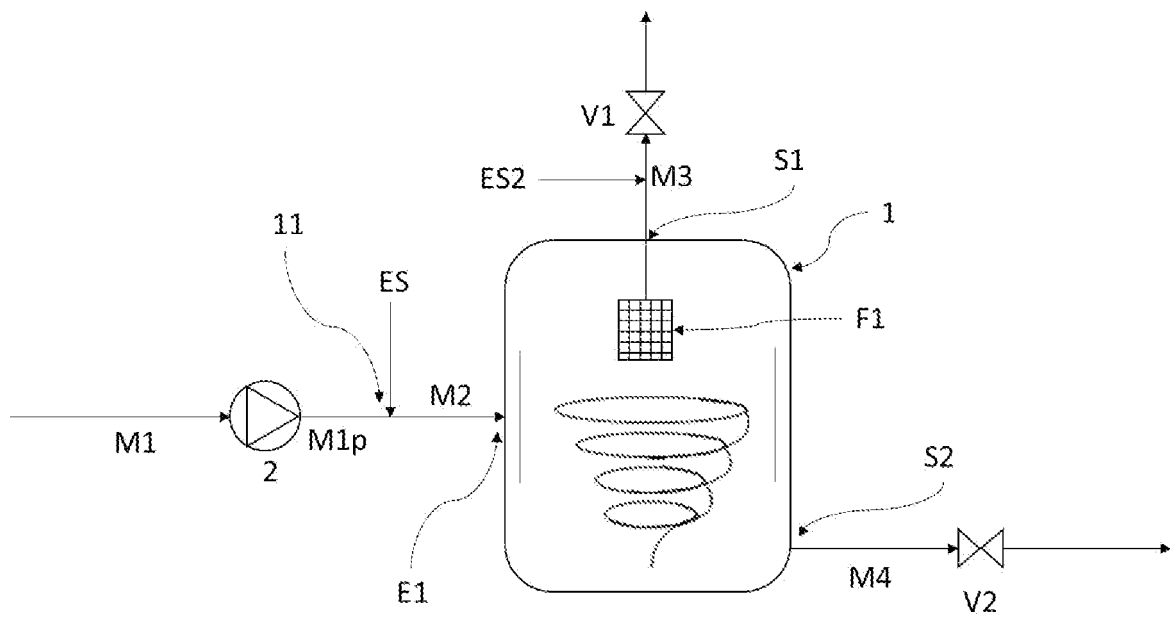
- un échangeur de chaleur (6) en aval du réacteur d'hydrotraitement (1), ledit échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur dans la ligne de flux M3, éventuellement combiné à la ligne de flux M3', pour obtenir un flux M5' et de transférer cette chaleur à l'eau en amont du dispositif d'injection de l'eau ES, et
- éventuellement un dispositif de chauffage de l'eau (7), en aval de l'échangeur de chaleur (6) et en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,

ladite installation comprenant de préférence en outre :

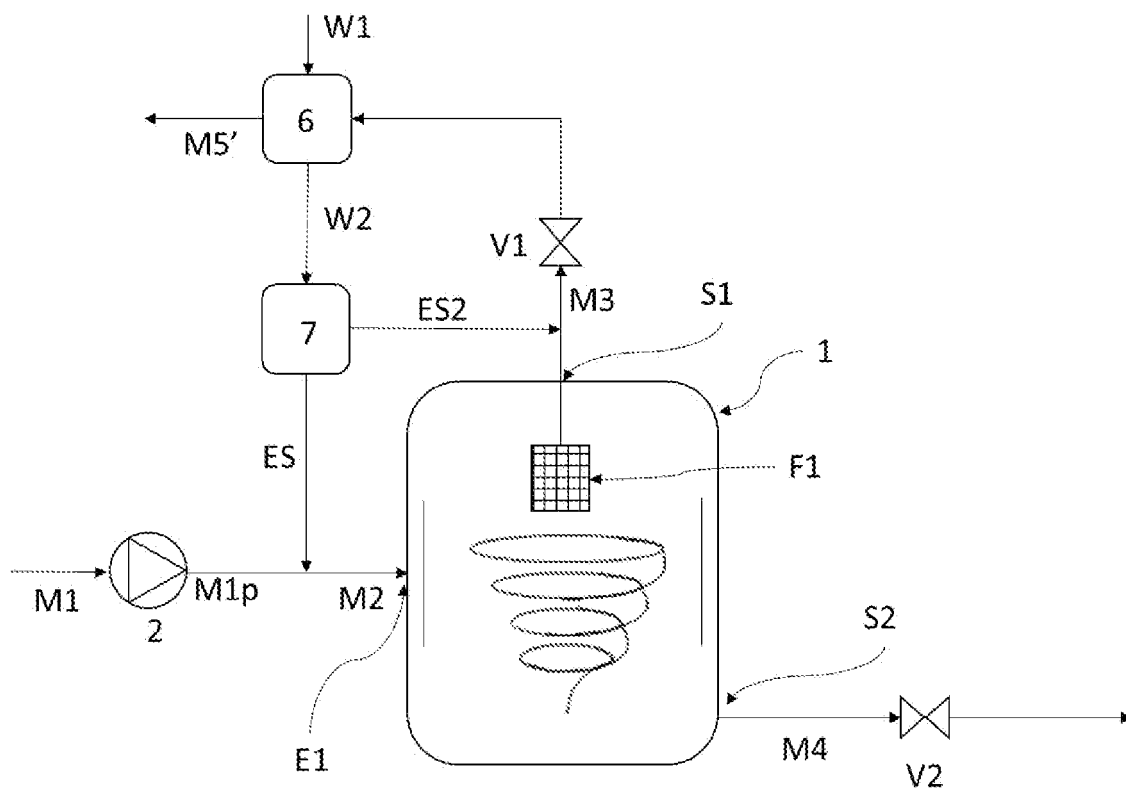
- éventuellement un échangeur de chaleur (8) permettant de récupérer de la chaleur du mélange M5' pour obtenir un mélange M5'' et de transférer cette chaleur au mélange M1p en amont du dispositif d'injection de l'eau ES,
- Un dispositif de refroidissement (4) alimenté par au moins une fraction du flux M5' ou le cas échéant M5'' permettant de produire de la vapeur et un flux refroidi M6,
- Un dispositif d'injection (3) de ladite vapeur produite dans le flux de mélange M1 en amont de la pompe de mise sous pression (2),
- Eventuellement un dispositif de refroidissement (9) en aval du dispositif de refroidissement (4) alimenté par au moins une

- fraction du flux M6 permettant de refroidir au moins une fraction du flux M6 pour obtenir un flux M6', et
- Eventuellement un digesteur (5) alimenté par le flux M6'.

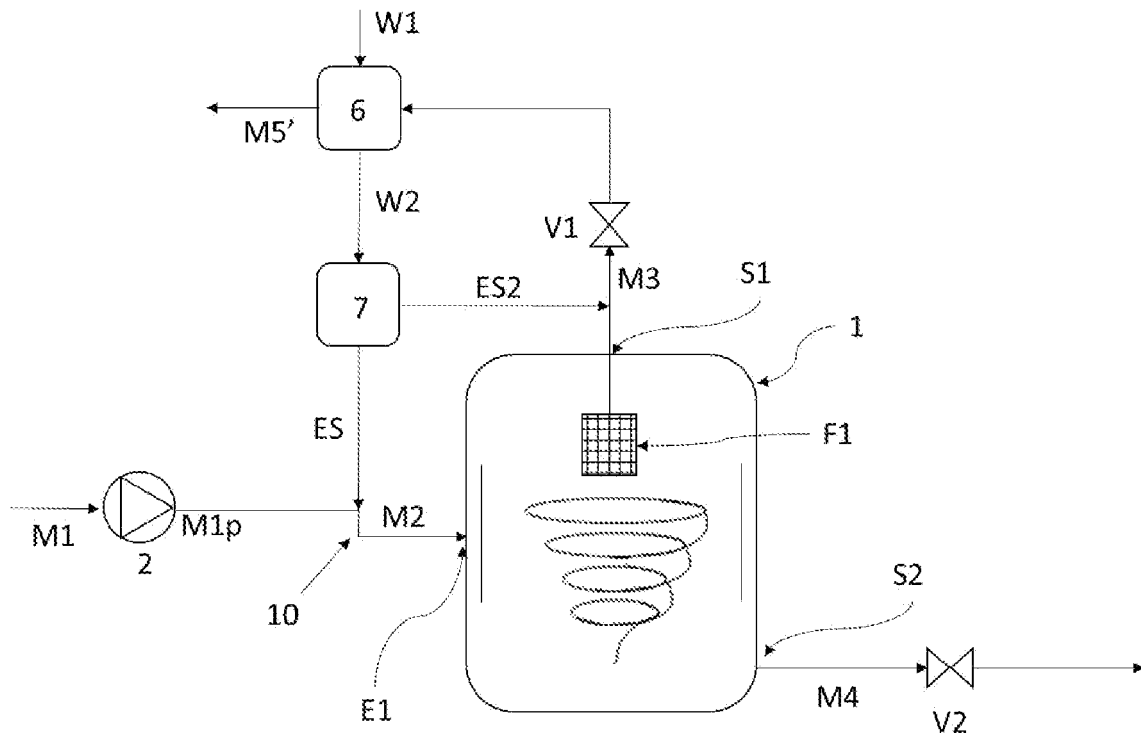
[Fig. 1]



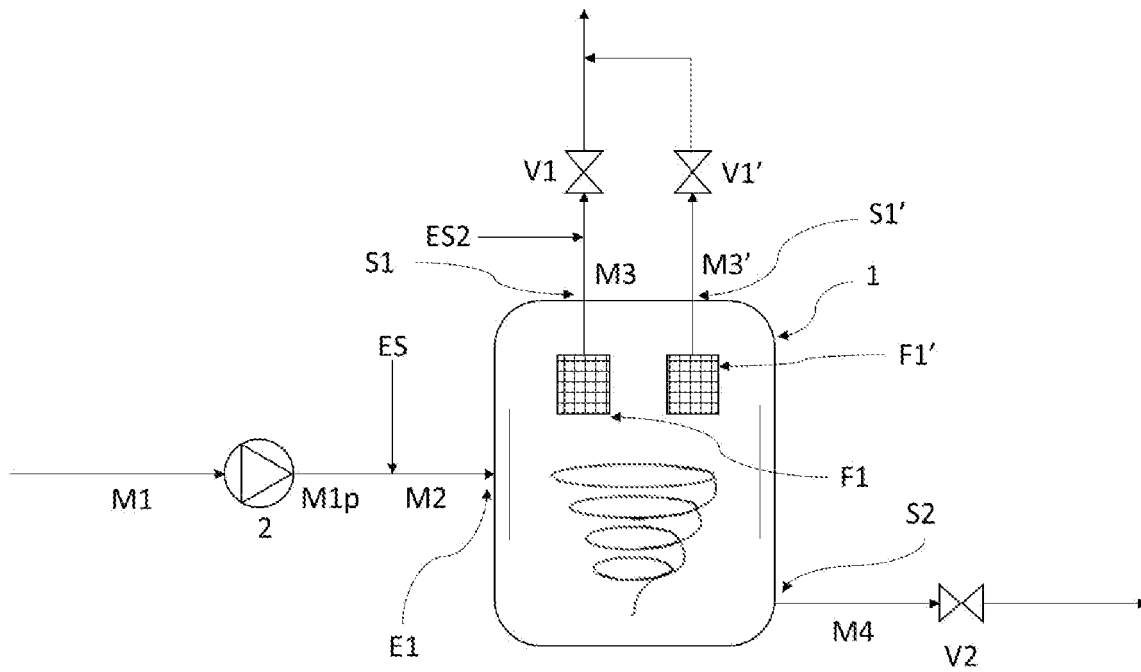
[Fig. 2]



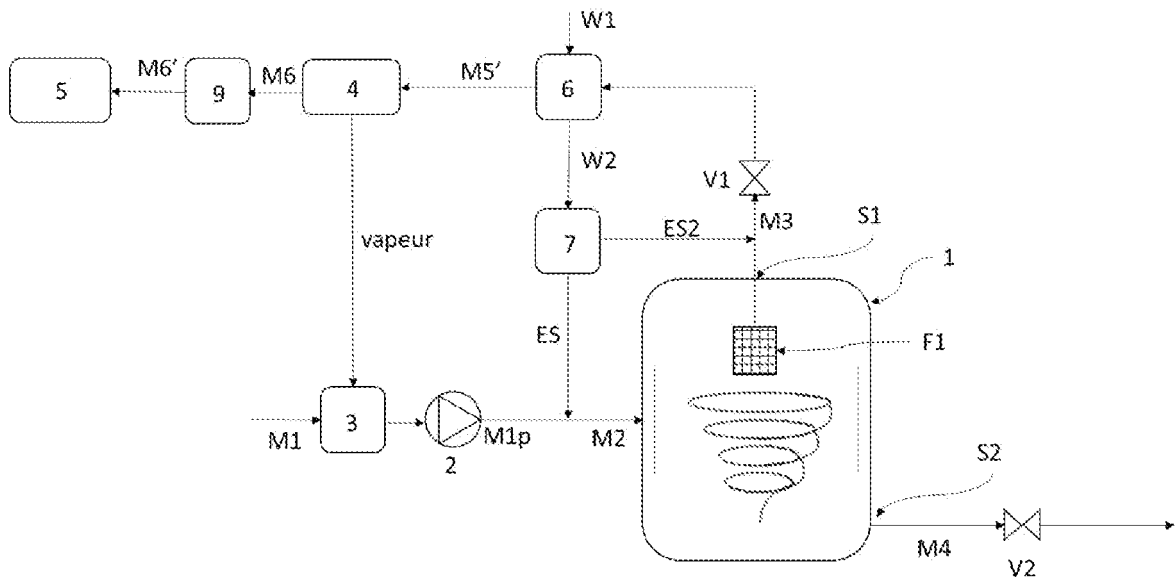
[Fig. 3]



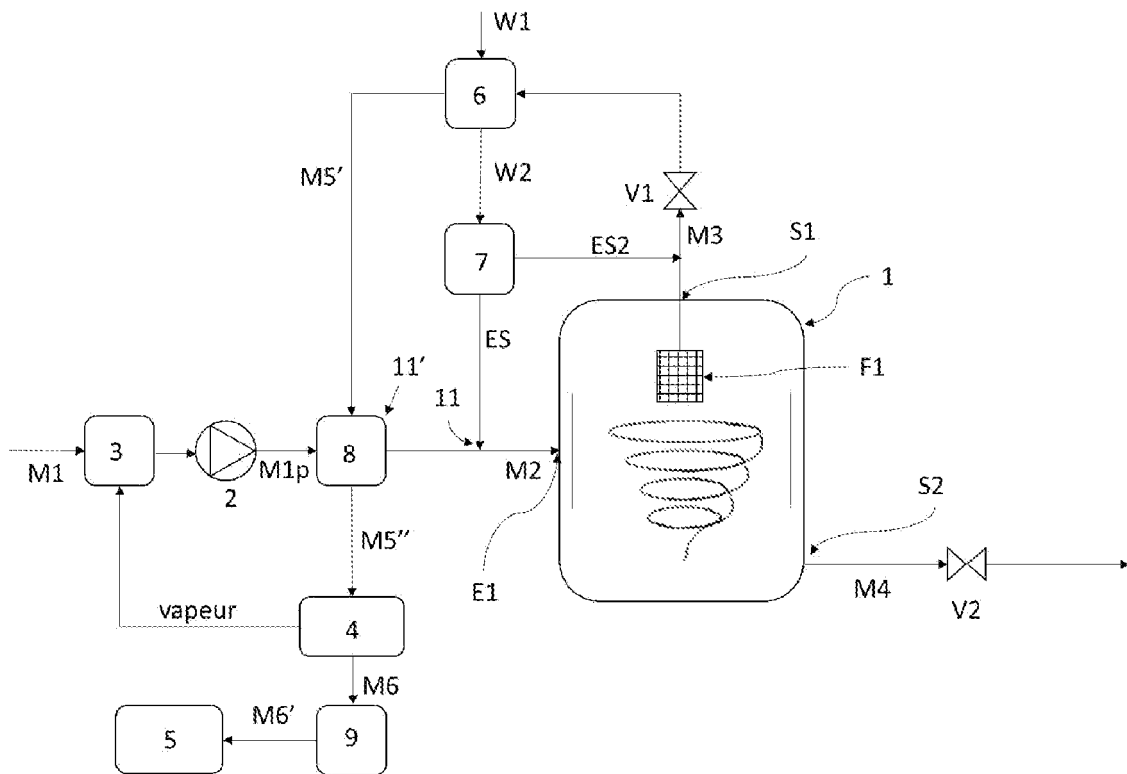
[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 910568
FR 2209946

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2017/197858 A1 (PARDO PIERRE EMMANUEL [FR] ET AL) 13 juillet 2017 (2017-07-13) * alinéas [0062] - [0169]; figures 1-4 * -----	1-15	C02F11/13 C02F11/08
X	US 2018/010057 A1 (COPPOLA EDWARD N [US] ET AL) 11 janvier 2018 (2018-01-11) * alinéas [0030] - [0049]; figures 1-2 * -----	1-15	
A	US 2012/073189 A1 (NOGUCHI AKITERU [JP] ET AL) 29 mars 2012 (2012-03-29) * le document en entier * -----	1-15	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
			C02F C10L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
30 avril 2023		Thibault, Valerie	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2209946 FA 910568**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-04-2023**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2017197858 A1	13-07-2017	AU 2016273355 A1	09-02-2017
		CN 106795022 A	31-05-2017
		EP 3152168 A1	12-04-2017
		EP 3760594 A1	06-01-2021
		ES 2821957 T3	28-04-2021
		FR 3037057 A1	09-12-2016
		PT 3152168 T	24-09-2020
		US 2017197858 A1	13-07-2017
		WO 2016193463 A1	08-12-2016
US 2018010057 A1	11-01-2018	CA 3029015 A1	11-01-2018
		EP 3481919 A1	15-05-2019
		JP 6886480 B2	16-06-2021
		JP 2019527615 A	03-10-2019
		KR 20190018026 A	20-02-2019
		US 2018010057 A1	11-01-2018
		US 2020002629 A1	02-01-2020
WO 2018009808 A1	11-01-2018		
US 2012073189 A1	29-03-2012	AR 055922 A1	12-09-2007
		CA 2606319 A1	09-11-2006
		CN 101189190 A	28-05-2008
		EP 1894893 A1	05-03-2008
		JP 4888911 B2	29-02-2012
		JP WO2006117934 A1	18-12-2008
		KR 20080011163 A	31-01-2008
		MY 139790 A	30-10-2009
		TW I391334 B	01-04-2013
		US 2009032464 A1	05-02-2009
		US 2012073189 A1	29-03-2012
		WO 2006117934 A1	09-11-2006