



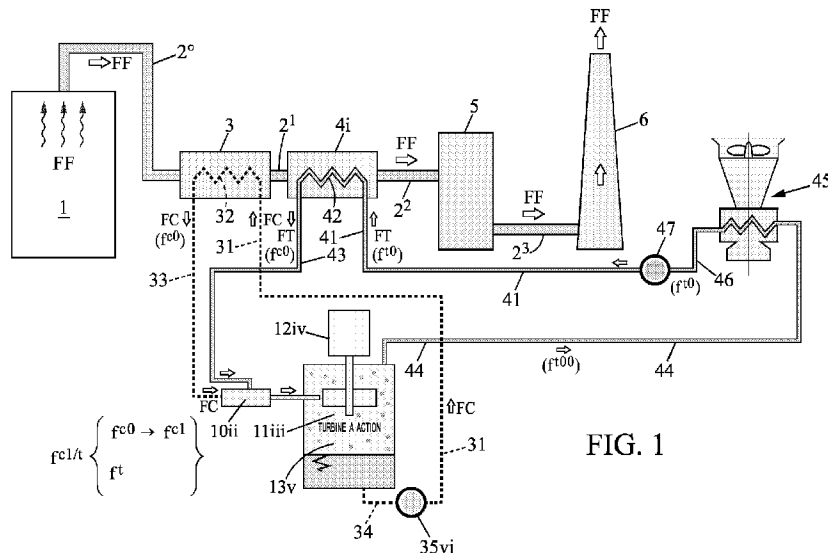
(12) **DEMANDE DE BREVET CANADIEN**
CANADIAN PATENT APPLICATION

(13) **A1**

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2019/06/25
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2020/01/02
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2020/12/23
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2019/051550
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2020/002818
(30) Priorité/Priority: 2018/06/28 (FR18 55910)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *F01K 9/00* (2006.01),
F01K 21/00 (2006.01), *F01K 25/04* (2006.01),
F01K 25/06 (2006.01)
(71) Demandeur/Applicant:
HEVATECH, FR
(72) Inventeurs/Inventors:
CHAIX, JEAN-EDMOND, FR;
BOUCHARD, PATRICK, FR;
LE GUEN, GUILLAUME, FR
(74) Agent: NORTON ROSE FULBRIGHT CANADA
LLP/S.E.N.C.R.L., S.R.L.

(54) Titre : PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONVERSION D'ENERGIE THERMIQUE
(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CONVERTING THERMAL ENERGY



(57) **Abrégé/Abstract:**

L'invention concerne en particulier un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique en énergie mécanique, puis, de préférence, en électricité et/ou en énergie frigorifique. Le perfectionnement recherché consiste notamment en une amélioration du rendement énergétique. Pour ce faire, on met en œuvre au moins un flux f^{c0} de fluide FC au moins en partie liquide; on transfère au flux f^{c0} de l'énergie thermique à convertir; on pulvérise le flux f^{c0} chauffé pour générer un flux f^{c1} fragmenté de fluide FC. En parallèle, on met en œuvre au moins un flux f^{t0} de fluide FT, généralement au moins en partie liquide; on transfère au flux f^{t0} de fluide FT de l'énergie thermique à convertir pour générer au moins un flux f^t qui peut être sous forme liquide ou sous forme d'un mélange liquide/vapeur à saturation dont le titre vapeur peut varier de 0% à 100%, voire sous la forme de vapeur surchauffée; on détend le flux f^t dans au moins une enceinte recevant également le flux f^{c1} fragmenté de fluide FC, pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$; on convertit alors l'énergie cinétique de ce flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique; cette dernière étant éventuellement transformée en énergie électrique, voire en énergie frigorifique; on sépare, d'une part, FT et, d'autre part, FC; on récupère, d'une part, un flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT et, d'autre part, un flux f^{c0} au moins en partie liquide de FC; on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{c0} de FC; on condense le flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT en un flux f^{t0} au moins en partie liquide de FT; on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{t00} de FT. L'invention vise également un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

WO 2020/002818 A1

HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

liquid form or in the form of a saturated liquid/vapour mixture, the vapour title of which can vary from 0% to 100%, or indeed in the form of superheated vapour; the stream f_1 is expanded in at least one chamber also receiving the fragmented stream f_{c1} of fluid FC, in order to form a two-phase mixed stream $f^{c1/t}$; the kinetic energy of this accelerated stream $f^{c1/t}$ is then converted into mechanical energy; the latter optionally being transformed into electrical energy, or indeed into refrigerating energy; FT and FC are separated; an at least partially gaseous stream f^{t00} of FT and an at least partially liquid stream f^{c0} of FC are recovered; the stream f^{c0} of FC is compressed and its circulation speed is increased; the at least partially gaseous stream f_{100} of FT is condensed into an at least partially liquid stream f^{t0} of FT; the stream f^{t00} of FT is compressed and its circulation speed is increased. The invention also relates to a device for implementing this method.

(57) **Abrégé** : L'invention concerne en particulier un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique en énergie mécanique, puis, de préférence, en électricité et/ou en énergie frigorifique. Le perfectionnement recherché consiste notamment en une amélioration du rendement énergétique. Pour ce faire, on met en œuvre au moins un flux f^{c0} de fluide FC au moins en partie liquide; on transfère au flux f^{c0} de l'énergie thermique à convertir; on pulvérise le flux f^{c0} chauffé pour générer un flux f^{c1} fragmenté de fluide FC. En parallèle, on met en œuvre au moins un flux f^{t0} de fluide FT, généralement au moins en partie liquide; on transfère au flux f^{t0} de fluide FT de l'énergie thermique à convertir pour générer au moins un flux f^t qui peut être sous forme liquide ou sous forme d'un mélange liquide/vapeur à saturation dont le titre vapeur peut varier de 0% à 100%, voire sous la forme de vapeur surchauffée; on détend le flux f^t dans au moins une enceinte recevant également le flux f_{c1} fragmenté de fluide FC, pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$; on convertit alors l'énergie cinétique de ce flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique; cette dernière étant éventuellement transformée en énergie électrique, voire en énergie frigorifique; on sépare, d'une part, FT et, d'autre part, FC; on récupère, d'une part, un flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT et, d'autre part, un flux f^{c0} au moins en partie liquide de FC; on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{c0} de FC; on condense le flux f_{100} au moins en partie gazeux de FT en un flux f^{t0} au moins en partie liquide de FT; on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{t00} de FT. L'invention vise également un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

PROCEDE ET DISPOSITIF DE CONVERSION D'ENERGIE THERMIQUE

5 **Domaine technique**

Le domaine de l'invention est celui des technologies de valorisation de la chaleur, en particulier de la chaleur fatale industrielle.

L'invention concerne en particulier un procédé de conversion d'énergie thermique en énergie mécanique, puis, de préférence, en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique.

10 L'invention vise également un dispositif pour la mise en œuvre de ce procédé.

Etat de l'art - Problème technique

La chaleur fatale est la chaleur résiduelle issue d'un procédé et non utilisé par celui-ci (fumée, buée de séchage, échappement d'un moteur thermique,...)

15 Les sources de chaleur fatale sont très diversifiées. Il peut s'agir de sites de production d'énergie (les centrales nucléaires), de sites de production industrielle, de bâtiments tertiaires d'autant plus émetteurs de chaleur qu'ils en sont fortement consommateurs comme les hôpitaux, de réseaux de transport en lieu fermé, ou encore de sites d'élimination comme les unités de traitement thermique de déchets.

Pour ce qui concerne la chaleur fatale industrielle, les secteurs de la sidérurgie, de la chimie, du ciment, 20 de l'agro-alimentaire ou encore du verre, génèrent des quantités énormes de chaleur perdues par dissémination dans l'atmosphère.

À titre d'exemple, 36 % de la consommation de combustible de l'industrie est perdue sous forme de chaleur.

Les gaz d'échappement sont une autre source de chaleur fatale.

25 La chaleur fatale représente un gisement de l'ordre de 50 % de la consommation mondiale d'énergie, tous domaines confondus.

La directive européenne 2012/27/UE relative à l'efficacité énergétique rend obligatoire pour les émetteurs de chaleur fatale situés à proximité d'un réseau de chaleur, la réalisation d'une analyse coûts-avantages afin d'étudier les possibilités de valorisation de la chaleur fatale. Si la solution est jugée rentable, elle doit 30 être mise en œuvre. De même, tout projet de réseau de chaleur doit également évaluer les différents potentiels de récupération de chaleur fatale.

Dans ce contexte, la demande de brevet WO2012089940A2 décrit un dispositif de conversion d'une énergie thermique en une énergie mécanique comportant :

- 35
- une ligne d'approvisionnement en premier fluide,
 - une ligne d'approvisionnement en fluide caloporteur,
 - un générateur de vapeur muni :
 - o d'une première entrée connectée à la ligne d'approvisionnement du premier fluide, le premier fluide empruntant un premier chemin entre la première entrée et une première sortie,
 - 40 o d'une deuxième entrée recevant le fluide caloporteur, le fluide caloporteur empruntant un deuxième chemin entre la deuxième entrée et une deuxième sortie, le deuxième chemin étant distinct du premier chemin, le premier chemin étant couplé thermiquement au deuxième chemin, de

manière à former de la vapeur à partir du premier fluide, ladite vapeur sortant du générateur par la première sortie,

- une chambre munie :

o d'une première entrée connectée à la première sortie du générateur de vapeur, le premier fluide empruntant un premier chemin dans la chambre entre la première entrée et une première sortie, la chambre étant configurée pour réaliser la détente isotherme du premier fluide dans la chambre au moyen d'une détente fractionnée par une pluralité de détentes élémentaires isothermes,

o d'une deuxième entrée connectée à la ligne d'approvisionnement en fluide caloporteur, le fluide caloporteur empruntant un deuxième chemin distinct du premier chemin entre la deuxième entrée et une deuxième sortie, la deuxième sortie de la chambre étant connectée à la deuxième entrée du générateur de vapeur,

Le premier chemin étant couplé thermiquement au deuxième chemin de manière à chauffer le premier fluide entre chaque détente,

- un dispositif de mélange connecté à la première sortie de la chambre et à la deuxième sortie du générateur de vapeur et configuré de manière à mélanger le premier fluide sous forme vapeur avec un fluide caloporteur pour obtenir un mélange double phase.

Le fluide caloporteur est chauffé des moyens de captation d'énergie solaire.

Le fluide caloporteur est par exemple de l'huile tandis que le premier fluide est un flux thermodynamique, par exemple de l'eau ou un mélange eau/glycérol. Ce mélange double phase est un flux de fluide caloporteur sous forme de gouttelettes d'huile et de fluide thermodynamique sous forme de vapeur d'eau, à haute température. L'énergie cinétique de ce flux est transformée en énergie mécanique au moyen d'une turbine du type turbine Pelton, entraînant un alternateur électrique. On récupère le mélange huile/eau en sortie turbine et on sépare les 2 fluides, qui sont ensuite réutilisés dans cette conversion énergétique de chaleur en énergie mécanique puis en électricité.

Dans ce procédé et ce dispositif selon WO2012089940A2, le fluide caloporteur est chauffé par un concentrateur solaire et concourt ensuite à la transformation en vapeur du fluide thermodynamique puis au réchauffement du fluide thermodynamique entre chaque détente. Ce procédé et ce dispositif selon WO2012089940A2 ne sont pas spécifiquement adaptés à la transformation en énergie électrique de l'énergie thermique provenant de chaleur fatale, laquelle peut avoir une large plage de température. Par ailleurs, les performances de ce procédé et de ce dispositif connus peuvent être améliorées notamment en termes de rendement énergétique et d'extension de la gamme des puissances électriques générées.

Objectifs de l'invention

Dans ce contexte, la présente invention vise à satisfaire à au moins l'un des objectifs énoncés ci-après.

☞ L'un des objectifs essentiels de la présente invention est de fournir un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique, de préférence de chaleur fatale, en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique, le perfectionnement recherché consistant en une amélioration du rendement énergétique de la conversion.

☞ L'un des objectifs essentiels de la présente invention est de fournir un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique provenant d'une source de chaleur fatale, en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique, le perfectionnement recherché

consistant en une adaptabilité du procédé à des sources de chaleur fatale dont la température varie dans une large gamme .

☞ L'un des objectifs essentiels de la présente invention est de fournir un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique, de préférence de chaleur fatale, en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique, qui soit économique en termes de production et de maintenance.

☞ L'un des objectifs essentiels de la présente invention de fournir un procédé perfectionné de conversion d'énergie thermique, de préférence de chaleur fatale, en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique, qui soit en adéquation avec les contraintes environnementales.

☞ L'un des objectifs essentiels de la présente invention est de fournir un dispositif industriel, fiable, performant, économique et robuste, pour la mise en œuvre du procédé tel que visé dans l'un des objectifs ci-dessus.

Brève description de l'invention

Ces objectifs, parmi d'autres, sont atteints par la présente invention qui concerne, en premier lieu, un procédé de conversion d'énergie thermique, de préférence de chaleur fatale, contenue dans un fluide au moins en partie gazeux dit fluide fatal (FF), en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;

ledit procédé mettant en œuvre au moins un fluide thermodynamique FT et au moins un fluide caloporteur FC, dans lequel :

- I. on met en œuvre un flux f^{c0} de fluide FC au moins en partie liquide;
- II. on transfère au flux f^{c0} de l'énergie thermique à convertir issue du fluide FF;
- III. on pulvérise le flux f^{c0} chauffé en (II) pour générer un flux f^{c1} fragmenté de fluide FC;
- IV. en parallèle, on met en œuvre un flux f^{t0} de fluide FT au moins en partie liquide;
- V. puis on transfère au flux f^{t0} de fluide FT de l'énergie thermique à convertir issue du fluide FF, pour générer un flux f^t , dont la température est supérieure à celle du flux f^{c0} , le fluide FT du flux f^t étant:
 - i. en phase liquide;
 - ii. en phase liquide et en phase vapeur;
 - iii. en phase vapeur à saturation;
 - iv. ou en phase vapeur surchauffée ;
- VI. au besoin, on chauffe le flux f^t , pour le vaporiser de sorte que son titre en vapeur soit supérieur ou égal à 0,9; de préférence à 0,95;
- VII. on injecte le flux f^t dans au moins une enceinte recevant également le flux f^{c1} de fluide FC, pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$, le rapport Rd du débit massique du fluide FT sur le débit massique total du fluide FC et du fluide FT, étant compris entre 1 et 20%, de préférence entre 3 et 18%, et, plus préférentiellement encore entre 5 et 15 %;
- VIII. ce flux $f^{c1/t}$ est ensuite accéléré et détendu;

- IX. on convertit l'énergie cinétique de ce flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique; cette dernière étant éventuellement transformée en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
- X. on sépare, d'une part, FT et, d'autre part, FC ;
- XI. on récupère, d'une part, un flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT et, d'autre part, un flux f^{c0} au moins en partie liquide de FC ;
- XII. on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{c0} de FC;
- XIII. on condense le flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT en un flux f^{t0} au moins en partie liquide de FT;
- XIV. on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{t0} de FT;
- caractérisé
- en ce que ce procédé comprend la mise en œuvre d'au moins une boucle de circulation de FT et d'au moins une boucle de circulation de FC;
- ces deux boucles ayant en commun:
- au moins un Injecteur-Mélangeur-Accélérateur (IMA) dans lequel le flux f^{c0} et le flux f^t sont destinés à être injectés/mélangés/accélérés;
 - au moins un convertisseur du flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique;
 - éventuellement au moins un transformateur de cette énergie mécanique en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
 - au moins un séparateur de FT et de FC;
- la boucle de circulation de FT comportant au moins un échangeur thermique entre FT (étape V, voire VI) et FF, au moins un condenseur de FT et au moins une pompe de mise en circulation de FT dans cette boucle;
- la boucle de circulation de FC comportant un échangeur thermique entre FC (étape II) et FF et au moins une pompe de mise en circulation de FC dans cette boucle.

Il est du mérite des inventeurs d'avoir imaginé de mettre en œuvre deux boucles fluides : une de fluide caloporteur et une de fluide thermodynamique, chacune de ces boucles comportant des moyens de mise en circulation du fluide et des moyens de récupération de la chaleur fatale par échange thermique entre le fluide fatal et le fluide caloporteur dans l'une des boucles, ou le fluide thermodynamique dans l'autre boucle.

Cela fait du procédé selon l'invention une technique de conversion thermocinétique qui soit économique, fiable, performante, éco-compatible et à rendement amélioré.

Cette amélioration de l'efficacité de la transformation de la chaleur fatale et énergie mécanique, et préférentiellement en énergie électrique ou froid, est premièrement obtenue par une maximisation de la récupération de l'énergie fatale disponible par le réchauffage par échangeurs sur le flux de chaleur fatale d'un fluide caloporteur FC captant les hautes températures, complété par le réchauffage d'un fluide thermodynamique FT afin de capter les températures inférieures. Ce dispositif à deux fluides permet d'épuiser la quasi-totalité de l'énergie thermique valorisable.

Ce système jouit en effet d'un faible coût d'investissement et de maintenance.

Sa simplicité, sa robustesse, son caractère relativement silencieux, sa facilité d'implantation et de mise en œuvre, son fonctionnement à très faible pression (1-10 bars), sa sécurité, son respect de

l'environnement (pas de pression dans les capacités, pas de fluide organique), sa flexibilité (diversité des sources de chaleur), sa modularité (plusieurs jets sur une même turbine), son pourcentage important de chaleur fatale valorisée grâce aux 2 fluides, le fait qu'ils produisent une source froide de l'ordre de 80°C permettant une valorisation complémentaire, son coût d'installation réduit, sa rentabilité financière, sont des atouts parmi d'autres du système selon l'invention.

Cette optimisation de la quantité de chaleur fatale captée est complétée par une optimisation du dispositif IMA (Injecteur-Mélangeur-Accélérateur) de transformation de l'énergie thermique en énergie cinétique, obtenue par un ratio adapté de proportion entre le fluide thermodynamique FT et le fluide caloporteur FC, éventuellement complété par une accélération du fluide thermodynamique FT en amont de son mélange avec le fluide caloporteur FC. Ainsi, dans son principe inventif, le procédé comprend pour la mise en œuvre de l'étape VII, le choix d'un rapport R_d du débit massique du fluide FT sur le débit massique total du fluide FC et du fluide FT, est compris entre 1 et 20%, de préférence entre 3 et 18%, et, plus préférentiellement encore entre 5 et 15 %.

Conformément à l'invention, l'énergie thermique à convertir est contenue dans un fluide fatal FF, dont une partie des calories est transférée tout d'abord vers FC (étape II), et dont une autre partie des calories est ensuite transférée vers FT pour son réchauffement et, de préférence, pour sa vaporisation (étapes V et VI).

Selon une modalité intéressante de l'invention, la température de FF à la sortie des échangeurs de chauffage de FC et FT peut être avantageusement adaptée, avant que FF ne soit évacué à l'extérieur. En effet, quand FF est chargé en particules solides, FF est évacué à l'extérieur, de préférence, après avoir été soumis à un traitement d'extraction de ces particules solides par filtration, ce qui impose une température maximale de FF, afin de ne pas dégrader les filtres (typiquement <200 °C).

Grâce à l'utilisation de 2 fluides FT et FC chauffés directement par le fluide fatal FF, la température finale du FF est adaptée aux contraintes de filtration, s'il y a lieu, avant son évacuation à l'extérieur et/ou aux contraintes de corrosion, car il est possible de dimensionner de façon optimale les échangeurs thermiques mis en œuvre dans ce procédé, et en particulier la température de FF à la sortie de l'échangeur FF/FT pour le chauffage de FT.

Selon une possibilité intéressante de l'invention, la température du fluide FF à l'issue des étapes II, V voire VI, est comprise entre 100 et 200 °C et plus préférentiellement encore, entre 180 °C et 200°C. Ces valeurs de température pour FF au cours du procédé, augmente la compatibilité de ce dernier avec une grande multiplicité de processus industriels générant de la chaleur fatale.

Avantageusement, lors l'étape VII, l'injection du flux f^t du fluide thermodynamique FT dans une enceinte d'injection de l'IMA se fait à une vitesse comprise entre 40 et 300 m/s, de préférence entre 50 et 150 m/s et, plus préférentiellement encore, entre 60 et 100 m/s.

Lors l'étape VIII, le flux f^t est préférentiellement accéléré et détendu dans au moins une chambre de profil adapté, de préférence dans une tuyère.

Dans une variante remarquable, avant l'étape VIII, le flux f^t est soumis, lors d'au moins une étape (VIII°) de pré-accélération par détente, de préférence quasi-isotherme ou polytropique, du flux f^t , dans au moins

une chambre de profil adapté, de préférence dans une tuyère; cette étape (VIII°) étant avantageusement mise en œuvre dans la même chambre de profil adapté que celle de l'étape (VII).

Selon une autre disposition innovante du procédé conforme à l'invention, FT est un liquide aqueux, de préférence choisi dans le groupe comprenant -idéalement constitué par- l'eau, le glycérol et leurs mélanges. En outre, FC est choisi parmi les huiles végétales ou minérales, de préférence parmi les huiles non miscibles à l'eau et/ou ayant une température d'apparition d'un vernissage supérieure ou égale à 200°C, de préférence à 300°C, et, plus préférentiellement encore parmi les huiles végétales; FC étant idéalement choisi dans le groupe comprenant -idéalement composé de- : l'huile de ricin et/ou l'huile d'olive.

Suivant une caractéristique préférée de l'invention, le fluide fatal FF présente initialement une température supérieure ou égale à 200 °C et préférentiellement supérieure ou égale à 300 °C, et/ou est choisi parmi les fluides gazeux et, plus préférentiellement encore, dans le groupe comprenant - idéalement composé de-: l'air chaud, les vapeurs d'eau, les gaz d'échappement de moteurs, les fumées, en particulier les fumées industrielles, les chaleurs de flamme et les chaleurs de séchoirs, ou parmi les fluides liquides (e.g. comme c'est le cas dans les installations solaires à concentration).

Cela concerne en particulier les incinérateurs de déchets, les installations de production de chaleur à partir de la biomasse, les industries telles que les aciéries, les cimenteries, les verreries, ainsi que les moteurs thermiques notamment de groupe électrogène.

Le procédé selon invention se singularise en ce qu'il met en œuvre au moins l'une des caractéristiques suivantes :

C1. la pression de service Pf^{c0} (en bars) du flux f^{c0} avant la pulvérisation de l'étape III et après la compression du flux f^{c0} de FC à l'étape XII, est telle que - dans un ordre croissant de préférence- :

$$3 \leq Pf^{c0} \leq 30 ; 5 \leq Pf^{c0} \leq 25 ; 10 \leq Pf^{c0} \leq 15$$

C2. la pression de service Pf^t (en bars) du flux f^t avant l'injection lors de l'étape VII et après la compression du flux f^{t00} de FC à l'étape XIV, est telle que - dans un ordre croissant de préférence- :

$$3 \leq Pf^t \leq 30 ; 5 \leq Pf^t \leq 25 ; 10 \leq Pf^t \leq 15$$

C3. Pf^{c0} et Pf^t sont identiques ou différentes, de préférence identiques;

C4. La pression $Pf^{c1/t}$ du flux $f^{c1/t}$ après l'étape IX de conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique, en bars et dans un ordre croissant de préférence, est telle :

$$Pf^{c1/t} \leq 2 ; 0,3 \leq Pf^{c1/t} \leq 1,5 ; \text{ de l'ordre de 1 bar (pression atmosphérique).}$$

Avantageusement, la taille des gouttelettes de FC composant le flux fragmenté généré à l'étape (III) est comprise entre 100 et 600 μm , de préférence entre 200 et 400 μm .

Dans une variante performante de l'invention, on fait en sorte que la détente du flux f^t dans l'enceinte de l'IMA recevant également le flux f^{c1} fragmenté de fluide FC, engendre un effet d'accélération (parfois appelé effet de trompe) provoqué par un flux moteur à savoir le flux f^t de FT, sur un flux aspiré à savoir le flux f^{c1} de FC.

Dans un autre de ses aspects, la présente invention a pour objet un dispositif simple et efficace, en particulier pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention, caractérisé en ce qu'il comprend au moins une boucle de circulation de FT et au moins une boucle de circulation de FC,

ces deux boucles ayant en commun:

- 5 i. au moins un Injecteur-Mélangeur-Accélérateur (IMA) dans lequel le flux f^{c0} et le flux f^t sont destinés à être injectés/mélangés/accélérés;
- ii. au moins un convertisseur du flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique;
- iii. éventuellement au moins un transformateur de cette énergie mécanique en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
- 10 iv. au moins un séparateur de FT et de FC;

- la boucle de circulation de FT comportant au moins un échangeur thermique entre FT (étape V, voire VI) et FF, au moins un condenseur de FT et au moins une pompe de mise en circulation de FT dans cette boucle;

- 15 - la boucle de circulation de FC comportant un échangeur thermique entre FC (étape II) et FF et au moins une pompe de mise en circulation de FC dans cette boucle.

De préférence, l'IMA comprend au moins un mélangeur à buses du flux f^{c0} fragmenté et du flux f^t sous forme de vapeur.

- 20 Pour augmenter encore l'énergie cinétique du flux producteur de mouvement mécanique, l'IMA comprend avantageusement au moins une tuyère d'accélération connectée à la sortie du ou des mélangeurs.

De préférence, le convertisseur du flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique, est constitué par au moins une turbine, de préférence une turbine à action.

Sur une caractéristique intéressante de l'invention:

- 25 → le transformateur de l'énergie mécanique en énergie électrique, est constitué par au moins un alternateur et/ou au moins une génératrice,
- ou le transformateur de l'énergie mécanique en énergie frigorifique est constitué par au moins une machine frigorifique comprenant au moins un compresseur comportant au moins un arbre susceptible d'être entraîné en rotation par une source d'énergie mécanique.

30

Par exemple, ce transformateur de l'énergie mécanique en énergie frigorifique est constitué par au moins un entraînement direct de l'arbre du compresseur de la machine frigorifique.

Dans un mode de réalisation, le mélangeur est un mélangeur à buses qui comprend:

- 35 • au moins un fragmenteur du flux f^{c0} sous forme de gouttelettes, ledit fragmenteur comportant au moins une buse, préférentiellement plusieurs afin de minimiser les pertes de charge sur le flux f^{c0} ;
- au moins une chambre de mélange du flux f^{c0} après fragmentation et du flux f^t sous forme d'eau et/ou de vapeur, cette chambre de mélange convergeant dans le sens des
- 40 flux FT et FC;
- au moins un conduit d'admission de FT dans la chambre de mélange ;
- au moins une canalisation d'admission de FC dans la chambre de mélange;

la chambre de mélange comportant une sortie disposée à son point de convergence, cette sortie débouchant dans au moins un conduit d'accélération;

le conduit d'admission de FT comprenant un segment interne et axial par rapport à la chambre de mélange, ce segment interne et axial étant muni d'au moins une buse terminale d'éjection de FT, qui
5 comporte un orifice de sortie de FT disposé au voisinage de la partie d'extrémité de plus petite dimension de la chambre de mélange convergente ;

la canalisation d'admission de FC communiquant avec une pluralité de buses d'éjection de FC qui sont réparties sur le pourtour du segment interne et axial d'admission de FT, et qui comporte des orifices de sortie de FC en amont de l'orifice de sortie de FT;

10 le segment interne et axial du conduit d'admission de FT étant de préférence équipé d'un organe d'accélération, avantageusement formé par un venturi.

Définitions

Dans tout le présent exposé, tout singulier désigne indifféremment un singulier ou un pluriel.

15 Les définitions données ci-après à titre d'exemples, peuvent servir à l'interprétation du présent exposé :

- "*fluide*" : corps liquide et/ou gazeux
- "*fluide fatal FF*" : fluide porteur de la chaleur fatale destinée à être convertie en énergie mécanique
- 20 • "*fluide thermodynamique FT*" : fluide au moins en partie vaporisable au moyen des calories de l'énergie thermique à convertir et provenant du fluide fatal FF
- "*vapeur*" : état gazeux du fluide
- "*fluide caloporteur FC*" : fluide liquide apte à absorber les calories de l'énergie thermique à convertir et provenant du fluide fatal FF, sans passer entièrement à l'état gazeux ;
- 25 • "*environ*" ou "*sensiblement*" signifie à plus ou moins 10 % près, voire plus ou moins 5% près, rapporté à l'unité de mesure utilisée;
- "*compris entre Z1 et Z2*" signifie que l'une et/ou l'autre des bornes Z1, Z2 est incluse ou non dans l'intervalle [Z1, Z2] ;
- « *non miscible à l'eau* » s'entend dans les conditions de température et de pression qui
30 sont celles du procédé selon l'invention.
- La « *température d'apparition d'un vernissage* » est la température à partir de laquelle on a un changement des caractéristiques de viscosité de l'huile, en particulier une augmentation marquée de la viscosité.

Description détaillée de l'invention

Cette description est faite en référence aux figures annexées dans lesquelles :

- La figure 1 est un schéma synoptique du système selon invention qui comprend le
40 procédé avec ses modalités opératoires et le dispositif avec ses éléments constitutifs.

- La figure 2A est un schéma du système selon invention faisant apparaître les flux de fluide thermodynamique FT et de fluide caloporteur FC à différents endroits du dispositif et à différents moments du procédé.
- La figure 2B est un diagramme d'entropie de la température T du fluide thermodynamique FT en fonction de l'entropie S, correspondant au système de la figure 2A.
- La figure 3A est un schéma d'une variante double détente du système selon invention faisant apparaître les flux de fluide thermodynamique FT et de fluide caloporteur FC à différents endroits du dispositif et à différents moments du procédé.
- La figure 3B est un diagramme d'entropie de la température T du fluide thermodynamique FT en fonction de l'entropie S, correspondant au système de la figure 3A.
- La figure 4 est une vue en coupe de l'injecteur-mélangeur-accélérateur (IMA) selon un premier mode de réalisation.
- La figure 5 est une vue schématique en coupe partielle de la turbine et de l'alternateur du dispositif montré sur les figures 1 & 2A.

PROCEDE

Mode préféré de mise en œuvre du procédé selon invention

La figure 1 annexée illustre schématiquement le principe et les moyens du système selon invention de conversion d'énergie thermique en énergie mécanique puis électrique.

Le pavé -1- symbolise une source de chaleur fatale contenue dans un fluide fatal (FF). Il peut s'agir par exemple d'un procédé industriel émetteur de fumées (FF).

FF (température T^0) est acheminé par une canalisation 2° au travers d'un premier échangeur 3i, puis par une canalisation 2¹ (FF à une température T^1), au travers d'un 2° échangeur 4i en série avec l'échangeur 3i. Au sortir de l'échangeur 4i, FF (température T^2) est amené via une canalisation 2², dans une installation de traitement des fumées FF, symbolisé par le pavé 5. Ce traitement est, par exemple, une filtration effectuée au moyen d'un filtre à manches.

FF débarrassé d'au moins une partie des éléments solides, est évacué par la canalisation 2³ jusqu'à une cheminée 6 qui libère FF dans l'air ambiant.

Le dispositif symbolisé sur la figure 1 comporte par ailleurs un injecteur-mélangeur-accélérateur (IMA) 10ii produisant un flux double phase mélangé et accéléré $f^{c1/t}$, un convertisseur 11iii de l'énergie cinétique du flux double phase mélangé et accéléré $f^{c1/t}$, en énergie mécanique, et un transformateur 12iv de cette énergie mécanique en énergie électrique. Le convertisseur 11iii est par exemple une turbine à action de type Pelton et le transformateur 12iv, une génératrice électrique.

Suivant l'invention, il est prévu une boucle de circulation de fluide FC et une boucle de circulation de fluide FT.

La boucle FC comprend :

- l'échangeur thermique 3i;
 - une canalisation 31 d'alimentation de FC dans l'échangeur 3i;
 - un serpentin 32, siège du transfert de calories de FF vers FC (à titre d'alternative au serpentin, il est possible de mettre en œuvre un échangeur fonctionnant selon une autre technologie, par exemple : tube de fumée, plaques...) ;
 - une canalisation 33 de transfert de FC de l'échangeur 3i vers l'IMA 10ii;
 - l'IMA 10ii;
 - la turbine 11iii;
 - la génératrice 12iv;
 - un séparateur de FC et de FT comprenant une capacité 13v et disposé en sortie de turbine 11iii
 - une canalisation 34 de récupération/recyclage de FC, connectée à la capacité de séparation 13v;
 - une pompe 35 de mise en circulation de FC,
- cette pompe 35 étant reliée, d'une part, à la capacité de séparation 13v par la canalisation 34, et, d'autre part, à l'échangeur 3i, par la canalisation 31.

La boucle FT comprend :

- l'échangeur thermique 4i;
 - une canalisation 41 d'alimentation de FT dans l'échangeur 4i;
 - un serpentin 42, siège du transfert de calories de FF vers FC (à titre d'alternative au serpentin, il est possible de mettre en œuvre un échangeur fonctionnant selon une autre technologie, par exemple : tube de fumée, plaques...) ;
 - siège du transfert de calories de FF vers FT ;
 - une canalisation 43 de transfert de FT de l'échangeur 4i vers l'IMA 10ii;
 - l'IMA 10ii;
 - la turbine 11iii;
 - la génératrice 12iv;
 - un séparateur 13v de FC et de FT, en sortie de turbine 11iii
 - une canalisation 44 de récupération/recyclage de FT vapeur, connectée au séparateur 13v;
 - un condenseur 45 de FT;
 - une canalisation 46 de recueil de FT liquide à la sortie du condenseur 45;
 - une pompe 47 de mise en circulation de FT,
- cette pompe 47 étant reliée, d'une part, au condenseur 45 par la canalisation 46, et, d'autre part, à l'échangeur 4i, par la canalisation 41.

FT est avantageusement sélectionné dans le groupe comprenant : l'eau, le glycérol, et leurs mélanges.

FC est avantageusement sélectionné parmi les huiles végétales ou minérales, non miscibles avec l'eau, par exemple l'huile de ricin et/ou l'huile d'olive.

Le fluide fatal FF est constitué e.g. par des fumées.

Dans les figures 2A&2B, FT est, par exemple, de l'eau repérée par les références e1 à e6, FC est, par exemple, de l'huile de ricin, repérée par les références h1 à h3, et les fumées FF sont repérées par les références f1 à f3.

- 5 Comme montré sur les figures 2A&2B, dans la boucle FC, un flux liquide f^{co} d'huile h1, à la température Th1, par exemple comprise entre 200 et 350°C, et à une pression Ph1, chemine dans la canalisation 34, grâce à la pompe à huile 35 de mise en circulation de f^{co} , puis un flux liquide f^{co} d'huile h2 à une pression Ph2 supérieure à Ph1, parvient à l'entrée huile de l'échangeur thermique 3i *fumées f1/huile h2*, par la canalisation 31.
- 10 Les fumées f1 pénètrent dans l'échangeur via une autre entrée, et, de préférence, à contre-courant du flux liquide f^{co} .
- La pression de service Pf^{co} (en bars) du flux f^{co} avant la pulvérisation de l'étape III et après la compression du flux f^{co} de FC à l'étape XII, est par exemple comprise entre 10 et 20 bars.
- Le flux f^{co} d'huile h3 chauffé dans l'étape (II) est recueilli en sortie d'échangeur 3i par la canalisation 33, à la température Th3 > Th1 & Th2, par exemple comprise entre 200 et 350°C, puis pénètre dans l'IMA 10ii.
- 15 La vitesse V du flux f^{co} est, par exemple, comprise entre 10 et 20 m/s.
- L'IMA 10ii comprend un fragmenteur qui transforme ce flux liquide f^{co} d'huile h3 en brouillard de gouttelettes h3. La taille de ces gouttelettes est par exemple comprise entre 200 et 400 µm.
- 20 Comme montré sur les figures 2A&2B, dans la boucle FT, un flux liquide f^{to} d'eau e1, à une température inférieure à celle de condensation Te_{cond} , chemine dans la canalisation 46, grâce à la pompe à eau 47 de mise en circulation de f^{to} , puis un flux liquide f^{to} d'eau e2, à une température Te2, par exemple comprise entre 40 et 80 °C, inférieure à Te_{cond} , parvient à l'entrée eau de l'échangeur thermique 4i *fumées f2/eau e2*, par la canalisation 41.
- 25 Les fumées f2 en provenance de l'échangeur thermique 3i *fumées f1/huile h2*, pénètrent dans l'échangeur 4i via une autre entrée, et, de préférence, à contre-courant du flux liquide f^{to} .
- La pression de service Pf^t (en bars) du flux f^t avant la pulvérisation de l'étape III et après la compression du flux f^{to} de FC à l'étape XIV est par exemple identique à Pf^{co} et comprise entre 10 et 20 bars.
- Le flux f^t d'eau e3 chauffé dans l'étape (V) et au moins en partie constitué de vapeur, est recueilli en sortie d'échangeur 4i par la canalisation 43, à la température $Te3 > Te1$ & $Te2$, par exemple comprise
- 30 entre 180 et 250°C, puis pénètre dans l'IMA 10ii.
- $Te3$ correspond avantageusement à la température d'évaporation Te_{vap} du FT, en l'occurrence de l'eau.
- La vitesse V du flux f^t de vapeur est, par exemple, comprise entre 60 et 100 m/s.
- 35 L'étape éventuelle (VI) de chauffage du flux f^t d'eau e3 flux f^t , pour le vaporiser de sorte que son titre en vapeur soit supérieur ou égal à 0,9; de préférence à 0,95, est réalisée par un dimensionnement adapté de l'échangeur 4i.
- La partie commune aux boucles FT et FC qui comprend les éléments du dispositif IMA 10ii, turbine 11iii, alternateur 12iv et séparateur 13v, est ensuite le siège:
- 40
- de l'étape (III) de pulvérisation du flux f^{co} chauffé dans l'étape (II) pour générer un flux f^{c1} fragmenté de gouttelettes de fluide FC, en l'occurrence huile;

- de l'étape (VII) d'injection du flux f^t dans au moins une enceinte recevant également le flux f^{c1} de fluide FC, pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$ e3m;
- de l'étape (VIII) d'accélération et de détente du flux $f^{c1/t}$ mélangé biphasique e3m.

5 Cette accélération augmente la vitesse du flux f^{c1} mélangé au flux f^t , de 10 à 20 m/s, à une vitesse $V_f^{c1/t}$ supérieure ou égale à 100 m/s, par exemple comprise entre 120 et 140 m/s. Ce flux $f^{c1/t}$ mélangé biphasique e3m, devient le flux $f^{c1/t}$ mélangé biphasique accéléré e4.

10 Lors de l'étape (VII) pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$, on règle les débits massiques des fluides FT et FC de telle sorte que le rapport $R_d = \text{débit massique de FT} / \Sigma \text{ débits massiques de FT \& FC}$ = 1 à 20%, par exemple 10 %.

15 La figure 2B qui représente le cycle décrit par le flux f^t de vapeur e3 entre la source chaude et la source froide dans l'espace T température et S entropie, montre que la détente de l'étape (VII), est une détente isotherme jusqu'au mélange du flux f^t de vapeur et du flux f^{c1} fragmenté, qui induit une détente quasi-isotherme jusqu'au flux $f^{c1/t}$ e3m.

Cela correspond à l'étape (VIII) d'accélération et de détente du flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$.

Cela suppose de faire en sorte par le dimensionnement des échangeurs 3i & 4i que $Th3$ soit > à $Te3$.

20 L'accélération subie par le flux $f^{c1/t}$ e3m dans l'IMA 10ii produit un flux accéléré $f^{c1/t}$ e4, qui est projeté sur les aubes de la turbine 11iii, par exemple de type Pelton 9, utile comme convertisseur de l'énergie cinétique en une énergie mécanique de rotation transmise à l'alternateur 12iv qui produit de l'énergie électrique, tout ceci dans le cadre de l'étape (IX).

25 Avant la séparation de l'étape (X), le flux $f^{c1/t}$ e4 devenu e5 et libéré d'une grande partie de son énergie cinétique, est caractérisé par une pression $P_f^{c1/t}$ environ égale ou égale à la pression atmosphérique.

Après la séparation de l'étape (X), le flux $f^{c1/t}$ e5 se divise en un flux f^{t100} e6 et en un flux f^{c0} h1. $f^{c1/t}$ et f^{t100} sont récupérés séparément selon l'étape (XI).

30 La figure 2B montre que les températures $Te3m$, $Te4$, $Te4$, $Te5$ et $Te6$ sont égales entre elles et sont supérieures à la température $Te_{vap} = Te3$.

Dans l'étape (XII), on comprime et on augmente la vitesse de circulation de f^{c0} .

35 Le flux f^{t00} de vapeur d'eau e6 voit sa température chuter pour atteindre la température $Te1$ du flux f^{t0} au moins en partie d'eau liquide e1, lors de l'étape de condensation selon l'étape (XIII).

Dans l'étape (XIV), on comprime et on augmente la vitesse de circulation de f^{t0} .

Autre Variante de ce mode préféré de mise en œuvre du procédé selon invention

40 Suivant une possibilité intéressante de l'invention, on fait en sorte que la détente du flux f^t dans l'enceinte recevant également le flux f^{c1} de brouillard de fluide FC, engendre un effet de trompe provoqué par un flux moteur à savoir le flux f^t de FT, sur un flux aspiré à savoir le flux f^{c1} de FC.

Cet effet de trompe est déterminé par la configuration de l'enceinte de mélange de l'IMA 10ii.
Des exemples de réalisation d'une telle configuration sont donnés ci-après.

Variante "double détente" de ce mode préféré de mise en œuvre du procédé selon invention

- 5 Il s'agit dans cette variante d'exécuter une étape (VIII°) de pré-accélération du flux f^t par détente, de préférence polytropique, du flux f^t .

La figure 3A montre le schéma du système selon cette variante "double détente".

- 10 Cela correspond au schéma du système selon le mode préféré de réalisation montrée à la figure 2A, à la différence près, que le flux f^t de vapeur d'eau e3 est introduite, via la canalisation 43.1 reliée à la sortie de l'échangeur 4i, dans un accélérateur 14 de vapeur seule, dans lequel ce flux f^t est soumis à une détente, de préférence polytropique, qui fait chuter la température de $T_{\text{evap}} = T_{\text{e3}}$ par exemple comprise entre 210 et 230°C, jusqu'à une température $T_{\text{e3i}} > T_{\text{evap}} = T_{\text{e3}}$, par exemple comprise entre 180 et 205 °C. (Voir figure 3B).

- 15 Le flux f^t de vapeur d'eau e3i est ensuite admis, par l'intermédiaire de la canalisation 43.2, dans l'IMA 10ii.

Le reste du système selon cette variante "double détente" correspond à la description faite pour le système selon le mode préféré de mise en œuvre du procédé selon invention.

20 DISPOSITIF

Dans un autre de ses aspects, la présente invention concerne un dispositif notamment pour la mise en œuvre du procédé selon l'invention. Ce dispositif comprend :

Échangeur thermique 3i

- 25 Il s'agit par exemple d'un échangeur fumées/huile tubulaire (à contre-courant).

Échangeur thermique 4i

Il s'agit par exemple d'un échangeur fumées/eau à plaques (à contre-courant).

30 Accélérateur 14 de vapeur seule

Il s'agit par exemple d'une tuyère de détente dont le profil est optimisé pour accélérer la vitesse du flux de vapeur de FT.

IMA 10ii

35

De préférence, le (ou les) mélangeur(s) 10M compris dans l'IMA 10ii peu(ven)t être un(des) mélangeur(s) dans le(s)quel(s) le fragmenteur est un fragmenteur à buses et/ou tout autre dispositif connu en soi comprenant un fragmenteur adapté.

- 40 De préférence, le (ou les) accélérateur(s) 10A compris dans l'IMA 10ii peu(ven)t être une (des) tuyère(s) d'accélération dimensionnées pour être soniques au col (Vitesse du fluide = vitesse du son dans le milieu).

Mode de réalisation avec un mélangeur à buses

Comme montré sur la figure 4, le mélangeur à buses comprend de préférence:

- 5 • au moins une chambre 50 de mélange du flux f^{c0} sous forme de brouillard et du flux f^t sous forme de vapeur ou de mélange vapeur/eau, cette chambre de mélange 50 convergeant dans le sens des flux f^t et f^{c1} ;
- au moins un conduit 51 d'admission du flux f^t de FT dans la chambre 50 de mélange ;
- au moins une canalisation 52 d'admission de FC dans la chambre 50 de mélange;

10 La chambre 50 de mélange a dans cet exemple de réalisation une forme générale d'ogive, pourvue d'une paroi amont 53, d'une paroi longitudinale 54, et d'une partie terminale aval 55 de convergence. La paroi amont 53 est reliée au conduit 51 d'admission de FT à l'intérieur de la chambre 50 de mélange. Un porte-tuyère 56 connecte le conduit d'admission 51 à une tuyère 57 terminale d'éjection du flux f^t de vapeur e3i dans l'enceinte 58 de la chambre de mélange 50. Le porte-tuyère 56 comprend dans sa partie terminale
15 une tuyère 57 permettant de réaliser l'étape (VIII) d'accélération et de détente du flux f^t , de préférence quasi isotherme ou par défaut polytropique, du flux f^t de vapeur e3 (figure 3A) de manière à obtenir le flux f^t de vapeur e3i éjecté.

 Le porte-tuyère 56 est un segment interne et axial par rapport à la chambre de mélange. La tuyère 57 terminale d'éjection de FT comporte un orifice de sortie 57^s du flux f^t de vapeur e3, disposé au voisinage
20 de la partie d'extrémité de plus petite dimension de la chambre 50 ogivale convergente.

 La canalisation 52 d'admission du flux f^{c0} de FC dans la chambre 50 de mélange s'étend dans une direction orthogonale par rapport au conduit 51 d'admission du flux f^t de FT. Cette canalisation de 52 débouche dans une pré-chambre 60 circulaire située dans la partie amont de la chambre 50 en ogive.
25 Cette pré chambre 60 distribue le flux f^{c0} de FC un ensemble de buses 61,62 périphériques réparties de manière homogène autour du porte-tuyère 56, selon 2 niveaux, un niveau amont central : buses 62 et un niveau aval périphérique : buses 61. Ces buses 61,62 dont les orifices de sortie de FC sont en amont de l'orifice de sortie 57^s du flux f^t de FT, produisent le brouillard de gouttelettes de FC (flux f^{c1}) dans l'enceinte 58 de la chambre 50 de mélange.

30 La partie terminale aval 55 de convergence de la chambre 50 de mélange est solidarisée à la paroi longitudinale 54 de cette chambre 50 de mélange, au moyen d'un système amont de brides et de boulons désignés par la référence générale 63 sur la figure 4. Un joint 64 circulaire d'étanchéité est disposé entre cette partie terminale aval 55 et la paroi longitudinale 54. Un autre système aval 66 de brides et de boulons permet la solidarisation de la partie terminale aval 55 de la chambre en ogive 50 à un conduit
35 d'accélération 67. Ce dernier est constitué par une tuyère (dont seule la partie amont et représentée sur la figure 4), recueille le flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$ (référéncé e3m sur la figure 3A) pour lui faire subir une accélération.

 Les buses 61 et 62, qui sont par exemple et en l'occurrence celles qui comportent une partie d'extrémité en forme hélicoïdale (« tire-bouchon »).

40 Le porte tuyère 56 avec un rétreint amont 59, de même que la tuyère d'accélération 67 sont également des pièces connues en elle-même et appropriées à l'exercice de la fonction accélération de fluide vapeur ou biphasique vapeur/huile.

Sur une caractéristique remarquable de l'invention, l'extrémité de l'orifice de sortie 57^s de la tuyère 57 terminale d'éjection est placée à une distance d de la partie terminale amont de l'entrée du conduit d'accélération 67 de diamètre D , telle que : $D \leq d \leq 3D$, de préférence, $1,5D \leq d \leq 2,5D$.

5

Sur une autre caractéristique remarquable de l'invention, la structure convergente ogivale de la chambre de mélange 50, le positionnement relatif de la tuyère 57 en aval des buses 61/62 permet de générer un effet de trompe par lequel le flux f^t de FT est un fluide moteur qui entraîne le fluide aspiré constitué par le brouillard de gouttelettes de fluide FC (huile) flux f^c .

10

Cet effet de trompe permet de réduire la pression en sortie de la pompe 35 du fluide FC et donc de réduire la puissance consommée.

Convertisseur énergie cinétique/énergie mécanique 11iii

15

Il s'agit par exemple d'une turbine de type Pelton, telle que celle décrite dans la demande de brevet PCT WO2012/089940A2, en particulier sur les figures de 3 et 4 et dans les parties correspondantes de la description.

Cet exemple de convertisseur d'énergie cinétique 11iii est décrit à nouveau ci-après en référence à la figure 5.

20

Le convertisseur d'énergie cinétique 11iii comprend une enceinte calorifugée 150 formée de deux demi-coques 152 bombées de forme elliptique avantageusement soudées sur deux brides 154. La soudure des deux demi-coques 152 forme une enceinte 150 étanche d'axe B sensiblement vertical et perpendiculaire à l'axe A de l'injecteur 151. Le fond de l'enceinte 150 forme par exemple le réservoir de fluide caloporteur FC (huile) où celui-ci est récolté après son passage dans le convertisseur 11iii, comme cela sera décrit ultérieurement.

25

30

Une cuve 155 est disposée à l'intérieur de l'enceinte 150. Cette cuve 155 est formée d'un fond 156 de forme sensiblement tronconique ou en forme d'entonnoir et d'une paroi 157 de forme sensiblement cylindrique s'étendant à partir du fond 156, le fond 156 et la paroi 157 s'étendant selon l'axe B. Une roue à action 158 cylindrique est montée en rotation sur la cuve 155 par l'intermédiaire d'un arbre 159 s'étendant selon l'axe B sensiblement vertical. La roue à action 158 est disposée en regard de l'injecteur 20 de sorte que le jet injecté par celui-ci entraîne la roue à action 158 et l'arbre 159 en rotation de sorte à transformer l'énergie cinétique axiale du jet en énergie cinétique de rotation de l'arbre 159. La roue à action 158 est disposée dans l'enceinte 150.

35

40

La roue à action 158 comprennent une pluralité d'aubes 160 s'étendant sensiblement radialement et présentant une forme concave. La concavité 161 des aubes 160 est tournée vers l'injecteur 151 de sorte que le jet injecté provenant de l'injecteur atteint lesdites concavités 161 et entraîne la rotation de la roue 158. La concavité des aubes 160 présente une forme asymétrique par rapport à un axe C passant par le fond 162 des concavités et sensiblement perpendiculaire à ces concavités, c'est-à-dire sensiblement parallèle à l'axe A situé au-dessus de l'axe C. Cette asymétrie détermine pour chaque aube 160 une partie supérieure 163 s'étendant au-dessus de l'axe C et une partie inférieure 164 s'étendant en dessous de l'axe C. La partie supérieure 163 et la partie inférieure 164 présentent des rayons de courbure et des

longueurs différents. En particulier, le rayon de courbure de la partie inférieure 164 est plus grand que le rayon de courbure de la partie supérieure 163, tandis que la longueur de la partie inférieure 164 est supérieure à la longueur de la partie supérieure 163.

L'injecteur 151 est agencé pour injecter le jet sur la partie supérieure 163 des aubes 160. La position de l'injection du jet sur les aubes 160 ainsi que la forme particulière de celles-ci permettent d'allonger le trajet du jet dans les aubes 160 et d'améliorer la stratification de ce jet en sortie des aubes, ce qui permet la séparation ultérieure du fluide caloporteur et du gaz à haute température. L'angle de sortie du jet des aubes 160, c'est-à-dire l'angle formé entre la tangente à l'extrémité de la partie inférieure de l'aube et l'axe horizontal C, est sensiblement compris entre 8° et 12° de sorte que le jet en sortie d'aube 160 présente une énergie cinétique plus importante que dans une turbine Pelton classique où l'angle de sortie des aubes est sensiblement compris entre 4° et 8°. Ce surcroît d'énergie cinétique permet d'améliorer la séparation du fluide caloporteur et du gaz à haute température.

Séparateur 13v = déflecteur 165

En sortie d'aube 160, le jet pénètre dans un déflecteur 165 s'étendant sous les aubes 160 et agencé pour réorienter le fluide reçu vers la paroi 157 de la cuve 155. Le déflecteur 165 permet de stratifier le mélange du fluide caloporteur et du gaz à haute température, comme représenté sur la figure 4 du WO2012/089940A2. En particulier le déflecteur 165, plus particulièrement représenté sur la figure 3 du WO2012/089940A2, présente une forme agencée pour récupérer le mélange sortant de la roue 158 selon une direction sensiblement verticale et pour réorienter de façon continue ce mélange selon une direction sensiblement horizontale, comme représenté sur la figure 4 du WO2012/089940A2, de façon à ce qu'il sorte du déflecteur 165 de façon tangentielle à la paroi 157 de la cuve 155, c'est-à-dire que le mélange sort du déflecteur 165 en longeant la paroi 157 de la cuve 155. A cet effet, le déflecteur 165 comprend au moins une ouverture d'entrée 166 du mélange de fluide caloporteur et de gaz haute température en sortie de la roue à action 158, ladite ouverture s'étendant dans un plan sensiblement perpendiculaire à l'axe B de la roue 158, c'est-à-dire un plan sensiblement horizontal, et une ouverture de sortie 167 du mélange, ladite ouverture s'étendant au voisinage de la paroi 157 de la cuve 155 et dans un plan sensiblement vertical. L'ouverture d'entrée 166 et l'ouverture de sortie 167 sont reliées l'une à l'autre par une enveloppe 168 présentant une forme courbe, comme représenté sur la figure 3 du WO2012/089940A2. Selon le mode de réalisation particulier représenté sur la figure 3 du WO2012/089940A2, des parois internes s'étendent à l'intérieur de l'enveloppe 168 sensiblement parallèlement à celle-ci de sorte à définir des canaux de circulation du mélange dans l'enveloppe et à séparer plusieurs ouvertures d'entrée et un nombre correspondant d'ouvertures de sortie.

La séparation du fluide caloporteur et du gaz haute température commence dans les aubes 160 par la centrifugation du mélange due à la forme des aubes 160. En passant dans le déflecteur 165, le reste du mélange est stratifié et passe de façon continue d'un écoulement selon la direction de sortie de la roue 158 à un écoulement tangentiel à la paroi 157 de la cuve 155, comme représenté sur la figure 4 du WO2012/089940A2. Cet écoulement tangentiel provoque une centrifugation du mélange, du fait de la forme cylindrique de la paroi 157, ce qui permet d'achever la séparation du gaz haute température et du fluide caloporteur par effet cyclone. Ainsi, la séparation du mélange est réalisée de façon optimale de sorte que le fluide caloporteur et le gaz à haute température sont séparés à plus de 98 %. Le fait de

prévoir une roue à action 158 en rotation autour d'un axe B sensiblement vertical permet de créer l'effet cyclone sur la paroi de la cuve, du fait qu'il est possible de placer un déflecteur 165 réorientant le mélange de façon adéquate.

- 5 Selon un mode de réalisation, le convertisseur d'énergie comprend plusieurs injecteurs 151, par exemple six, comme dans une turbine Pelton classique et un nombre égal de déflecteurs 165.

10 Une fois séparé, le fluide caloporteur est entraîné vers le fond de la cuve 155 par la gravité, tandis que le gaz haute température, formé par de la vapeur d'eau se déplace vers le haut de l'enceinte 150. La partie supérieure de l'enceinte 150 comprend des moyens de récupération 169 du flux f^t vapeur haute température séparé du fluide caloporteur FC. Le flux f^t vapeur haute température sort de l'enceinte par ces moyens de récupération 169 et circule dans le reste de l'installation comme cela sera décrit ultérieurement.

15 Le fond 156 de la cuve 155 comprend des moyens de récupération 170 du fluide caloporteur, afin que celui-ci passe dans le réservoir 171 en sortant de la cuve 157. Ces moyens de récupération 170 sont par exemple formés par des trous d'écoulement pratiqués dans le fond 156 de la cuve 155 et communiquant entre la cuve 155 et le fond de l'enceinte 150.

20 Le fluide caloporteur récupéré sert notamment à lubrifier au moins un palier à butée lisse 70 de type hydrodynamique par l'intermédiaire duquel l'arbre 159 de la roue à action 158 est monté en rotation sur le fond 156 de la cuve 155. En effet, le palier à butée lisse 172 baigne dans le fluide caloporteur récupéré par les moyens de récupération 173. Un tel palier 172 permet d'assurer la rotation de l'arbre 159 à grande vitesse dans un environnement à haute température avec une durée de vie importante, au contraire des classiques roulements à billes. En outre, l'installation du palier 172 à l'intérieur de l'enceinte 150 permet de ne pas avoir de problème d'étanchéité et d'éviter les fuites de caloporteur qui pourraient être dangereuse. Selon le mode de réalisation représenté sur la figure 7, le convertisseur 11iii comprend deux paliers à butée lisse 172. Dans le réservoir 171, une pompe de circulation 173 de fluide caloporteur FC (huile), par exemple de type volumétrique est montée sur l'arbre 159 par l'intermédiaire d'un joint homocinétique 174. Cette pompe est reliée à une conduite de sortie 175 reliant l'intérieur de l'enceinte 150 à l'extérieur et permettant de faire circuler le fluide caloporteur vers le reste de l'installation 1. Ainsi, la pompe de circulation 72 est agencée pour aspirer le fluide caloporteur FC du réservoir 171 et pour l'injecter dans la conduite de sortie 175. La pompe de circulation est dépourvue de moteur d'entraînement puisque son actionnement est assuré par la rotation de l'arbre 159 de la roue à action 158 entraîné par le jet injecté par l'injecteur 151.

Transformateur énergie mécanique en énergie électrique : alternateur 12iv

40 Comme montré sur la figure 5, l'arbre 159 de la roue à action 158 sort de l'enceinte 151 par l'intermédiaire d'un piston 184 agencé pour assurer l'étanchéité entre l'intérieur de l'enceinte 151 et l'extérieur de l'enceinte 151, par exemple un piston suédois. L'arbre 159 entraîne en rotation le rotor de l'alternateur 12iv, avantageusement du type à aimant permanent. Cet alternateur 12iv permet de transformer l'énergie cinétique de rotation de l'arbre 159 en énergie électrique. L'alternateur 12iv est

refroidi, au niveau de son entrefer, par un ventilateur 180 monté sur son rotor et par une conduite de circulation d'eau, formant la culasse réfrigérante 181, qui gaine son stator. L'eau alimentant la culasse réfrigérante 181 provient d'une source d'alimentation en eau et est amenée à la culasse par une pompe volumétrique 182 actionnée par l'arbre 159 par l'intermédiaire d'un réducteur 183. Ainsi la pompe 108 est
5 dépourvue de moteur d'actionnement. La culasse réfrigérante 181 sert au refroidissement de l'alternateur 12iv et au préchauffage de l'eau, comme décrit précédemment.

Condenseur 45

Le flux f^t de vapeur d'eau collectée par les moyens de récupération 169 prévus dans l'enceinte 151 de la
10 figure 5 est refroidi par un condenseur 45 pour être transformé en un flux f^{t0} de fluide thermodynamique FT (eau) liquide avant d'être recyclé.

Il peut s'agir par exemple de condenseur de type aéroréfrigérant ou d'un échangeur dont le secondaire est alimenté par de l'eau à une température inférieure à 60 °C (rivière, canal, ...).

REVENDEICATIONS

1. Procédé de conversion d'énergie thermique, de préférence de chaleur fatale, contenue dans un fluide au moins en partie gazeux dit fluide fatal (FF), en énergie mécanique, et, préférentiellement en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
 ledit procédé mettant en œuvre au moins un fluide thermodynamique FT et au moins un fluide caloporteur FC, dans lequel :
 - I. on met en œuvre un flux f^{c0} de fluide FC au moins en partie liquide;
 - II. on transfère au flux f^{c0} de l'énergie thermique à convertir issue du fluide FF;
 - III. on pulvérise le flux f^{c0} chauffé en (II) pour générer un flux f^{c1} fragmenté de fluide FC;
 - IV. en parallèle, on met en œuvre un flux f^{t0} de fluide FT au moins en partie liquide;
 - V. puis on transfère au flux f^{t0} de fluide FT de l'énergie thermique à convertir issue du fluide FF, pour générer un flux f^t , dont la température est supérieure à celle du flux f^{t0} , le fluide FT du flux f^t étant:
 - i. en phase liquide;
 - ii. en phase liquide et en phase vapeur;
 - iii. en phase vapeur à saturation;
 - iv. ou en phase vapeur surchauffée ;
 - VI. au besoin, on chauffe le flux f^t , pour le vaporiser de sorte que son titre en vapeur soit supérieur ou égal à 0,9; de préférence à 0,95;
 - VII. on injecte le flux f^t dans au moins une enceinte recevant également le flux f^{c1} de fluide FC, pour former un flux mélangé biphasique $f^{c1/t}$, le rapport Rd du débit massique du fluide FT sur le débit massique total du fluide FC et du fluide FT, étant compris entre 1 et 20%, de préférence entre 3 et 18%, et, plus préférentiellement encore entre 5 et 15 %;
 - VIII. ce flux $f^{c1/t}$ est ensuite accéléré et détendu;
 - IX. on convertit l'énergie cinétique de ce flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique; cette dernière étant éventuellement transformée en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
 - X. on sépare, d'une part, FT et, d'autre part, FC ;
 - XI. on récupère, d'une part, un flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT et, d'autre part, un flux f^{c0} au moins en partie liquide de FC ;
 - XII. on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{c0} de FC;
 - XIII. on condense le flux f^{t00} au moins en partie gazeux de FT en un flux f^{t0} au moins en partie liquide de FT;
 - XIV. on comprime et on augmente la vitesse de circulation du flux f^{t0} de FT;
- caractérisé
- en ce que ce procédé comprend la mise en œuvre d'au moins une boucle de circulation de FT et d'au moins une boucle de circulation de FC;
- ces deux boucles ayant en commun:
- i. au moins un Injecteur-Mélangeur-Accélérateur (IMA) dans lequel le flux f^{c0} et le flux f^t sont destinés à être injectés/mélangés/accélérés;
 - ii. au moins un convertisseur du flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique;

iii. éventuellement au moins un transformateur de cette énergie mécanique en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;

iv. au moins un séparateur de FT et de FC;

- la boucle de circulation de FT comportant au moins un échangeur thermique entre FT (étape V, voire VI) et FF, au moins un condenseur de FT et au moins une pompe de mise en circulation de FT dans cette boucle;

- la boucle de circulation de FC comportant un échangeur thermique entre FC (étape II) et FF et au moins une pompe de mise en circulation de FC dans cette boucle.

2. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce que, lors de l'étape VII, l'injection du flux f^t du fluide thermodynamique FT dans une enceinte d'injection de l'IMA se fait à une vitesse comprise entre 40 et 300 m/s, de préférence entre 50 et 150 m/s et, plus préférentiellement encore, entre 60 et 100 m/s.

3. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce que l'on fait en sorte que la détente du flux f^t dans l'enceinte de l'IMA recevant également le flux f^{c1} fragmenté de fluide FC, engendre un effet provoqué par un flux moteur à savoir le flux f^t de FT, sur un flux aspiré à savoir le flux f^{c1} de FC.

4. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce que, avant l'étape VIII, le flux f^t est soumis, lors d'au moins une étape (VIII°) de pré-accélération par détente, de préférence quasi-isotherme, du flux f^t , dans au moins une chambre de profil adapté, de préférence dans une tuyère; cette étape (VIII°) étant avantageusement mise en œuvre dans la même chambre de profil adapté que celle de l'étape (VIII).

5. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce que FT est un liquide aqueux, de préférence choisi dans le groupe comprenant -idéalement constitué par- l'eau, le glycérol et leurs mélanges; et en ce que FC est choisi parmi les huiles végétales ou minérales, de préférence parmi les huiles non miscibles à l'eau et/ou ayant une température d'apparition d'un vernissage supérieure ou égale à 200° C, de préférence à 300° C, et, plus préférentiellement encore parmi les huiles végétales; FC étant idéalement choisi dans le groupe comprenant - idéalement composé de- : l'huile de ricin et/ou l'huile d'olive.

6. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce que le fluide fatal FF présente initialement une température supérieure à 200 °C et préférentiellement supérieure à 300 °C, et/ou est choisi parmi les fluides gazeux et, plus préférentiellement encore, dans le groupe comprenant -idéalement composé de-: l'air chaud, les vapeurs d'eau, les gaz d'échappement de moteurs, les fumées, en particulier les fumées industrielles, et les chaleurs de séchoirs ou parmi les fluides liquides (e.g. comme c'est le cas dans les installations solaires à concentration).

7. Procédé selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé par au moins l'une des caractéristiques suivantes :

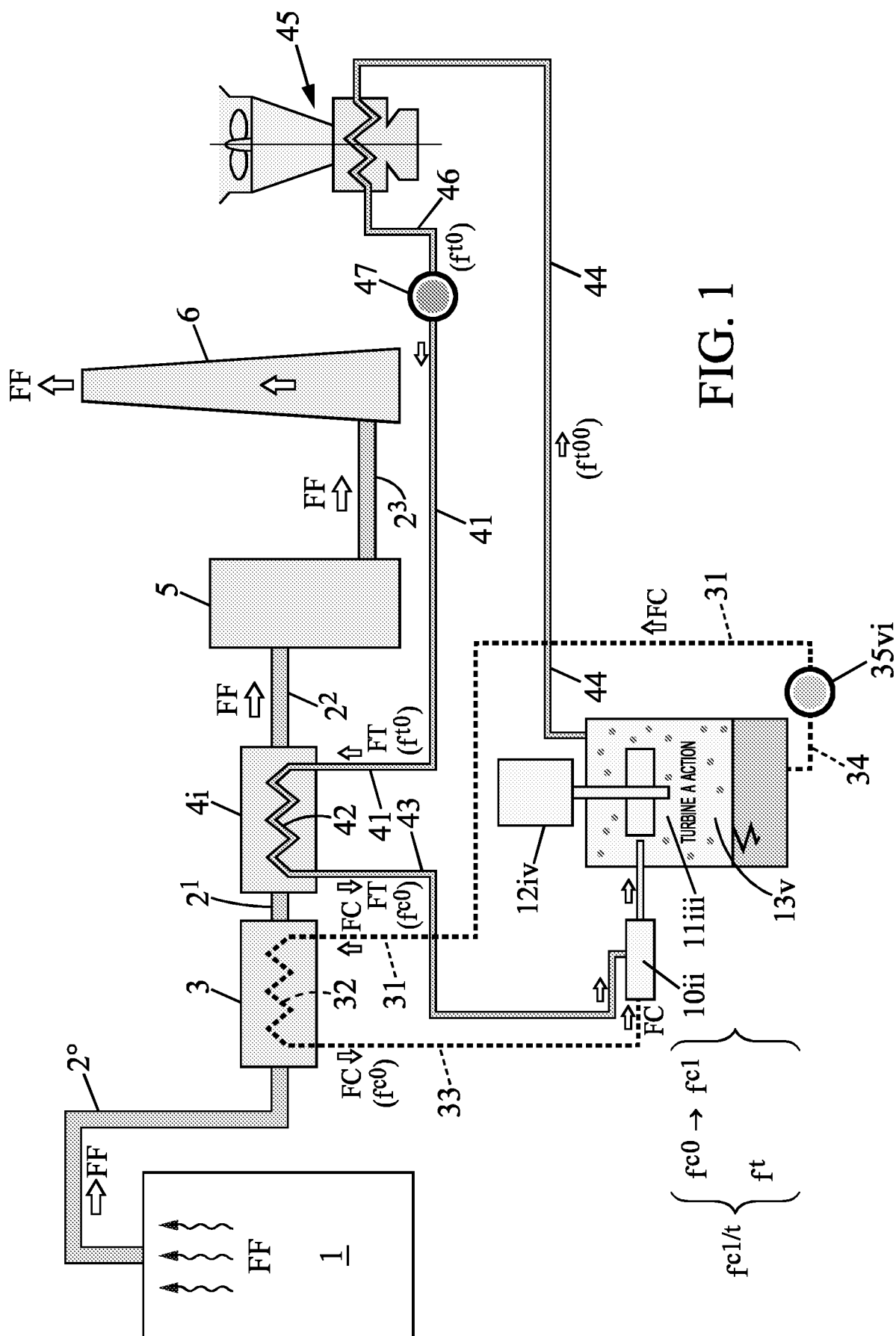
- C1. la pression de service Pf^{c0} (en bars) du flux f^{c0} avant la pulvérisation de l'étape III et après la compression du flux f^{c0} de FC à l'étape XII, est telle que - dans un ordre croissant de préférence- :
- $$3 \leq Pf^{c0} \leq 30 ; 5 \leq Pf^{c0} \leq 25 ; 10 \leq Pf^{c0} \leq 15$$
- 5 C2. la pression de service Pf^t (en bars) du flux f^t avant l'injection lors de l'étape VII et après la compression du flux f^{t00} de FC à l'étape XIV, est telle que - dans un ordre croissant de préférence- :
- $$3 \leq Pf^t \leq 30 ; 5 \leq Pf^t \leq 25 ; 10 \leq Pf^t \leq 15$$
- C3. Pf^{c0} et Pf^t sont identiques ou différentes, de préférence identiques;
- 10 C4. La pression $Pf^{c1/t}$ du flux $f^{c1/t}$ après l'étape IX de conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique, en bars et dans un ordre croissant de préférence, est telle :
- $$Pf^{c1/t} \leq 2 ; 0,3 \leq Pf^{c1/t} \leq 1,5 ; \text{égale ou environ égale à la pression atmosphérique.}$$
8. Dispositif en particulier pour la mise en œuvre du procédé, selon l'une au moins des revendications précédentes caractérisé en ce qu'il comprend au moins une boucle de circulation de FT et au moins une boucle de circulation de FC,
- 15 d'au moins une boucle de circulation de FT et d'au moins une boucle de circulation de FC;
- ces deux boucles ayant en commun:
- 20 i. au moins un Injecteur-Mélangeur-Accélérateur (IMA) dans lequel le flux f^{c0} et le flux f^t sont destinés à être injectés/mélangés/accélérés;
 - ii. au moins un convertisseur du flux accéléré $f^{c1/t}$ en énergie mécanique;
 - iii. éventuellement au moins un transformateur de cette énergie mécanique en énergie électrique et/ou en énergie frigorifique;
 - iv. 25 au moins un séparateur de FT et de FC;
- la boucle de circulation de FT comportant au moins un échangeur thermique entre FT (étape V, voire VI) et FF, au moins un condenseur de FT et au moins une pompe de mise en circulation de FT dans cette boucle;
- la boucle de circulation de FC comportant un échangeur thermique entre FC (étape II) et FF et au moins une pompe de mise en circulation de FC dans cette boucle.
- 30 9. Dispositif selon la revendication 8 caractérisé en ce que l'IMA comprend au moins un mélangeur à buses du flux f^{c0} fragmenté et du flux f^t sous forme de vapeur.
10. Dispositif selon la revendication 9 caractérisé en ce que le mélangeur à buses comprend:
- 35 • au moins un fragmenteur du flux f^{c0} sous forme de gouttelettes, ledit fragmenteur comportant au moins une buse, préférentiellement plusieurs afin de minimiser les pertes de charge sur le flux f^{c0} ;
 - au moins une chambre de mélange du flux f^{c0} après fragmentation et du flux f^t sous forme d'eau et/ou de vapeur, cette chambre de mélange convergeant dans le sens des
 - 40 flux FT et FC;
 - au moins un conduit d'admission de FT dans la chambre de mélange ;
 - au moins une canalisation d'admission de FC dans la chambre de mélange;

en ce que la chambre de mélange comporte une sortie disposée à son point de convergence, cette sortie débouchant dans au moins un conduit d'accélération;

en ce que le conduit d'admission de FT comprend un segment interne et axial par rapport à la chambre de mélange, ce segment interne et axial étant muni d'au moins une buse terminale d'éjection de FT, qui
5 comporte un orifice de sortie de FT disposé au voisinage de la partie d'extrémité de plus petite dimension de la chambre de mélange convergente ;

en ce que la canalisation d'admission de FC communique avec une pluralité de buses d'éjection de FC qui sont réparties sur le pourtour du segment interne et axial d'admission de FT, et qui comporte des orifices de sortie de FC en amont de l'orifice de sortie de FT;

10 le segment interne et axial du conduit d'admission de FT étant de préférence équipée d'un organe d'accélération, avantageusement formé par un venturi.

$1/5$ 

2/5

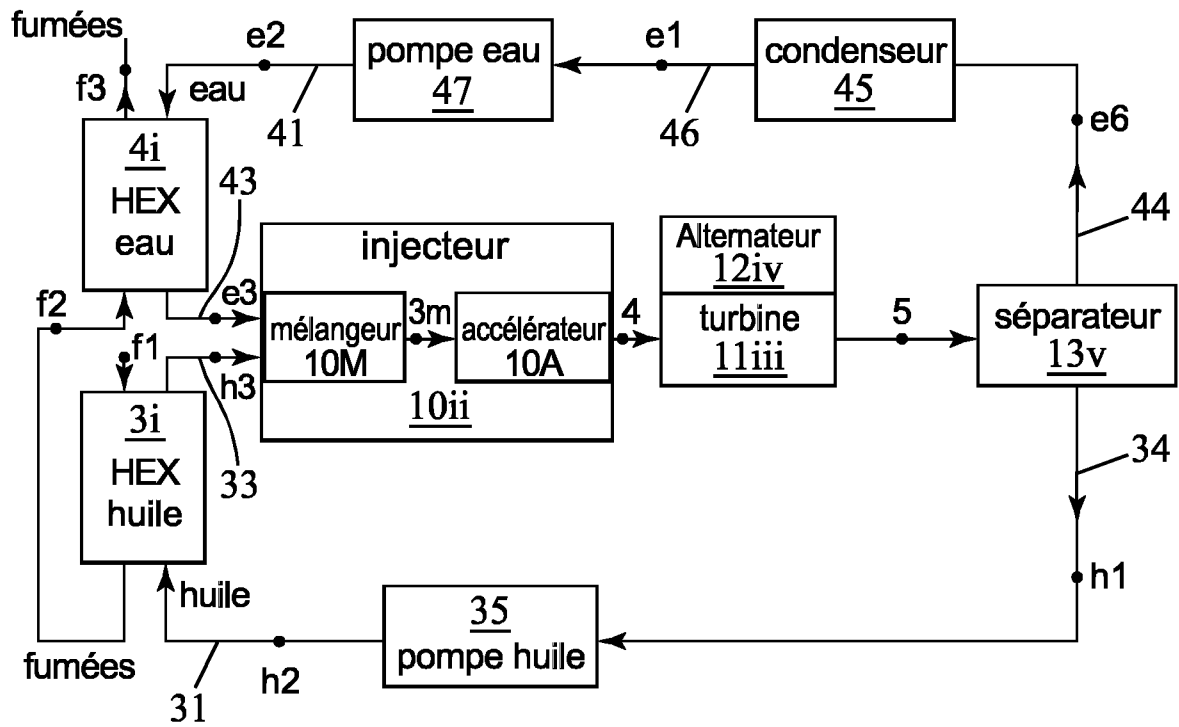


FIG. 2A

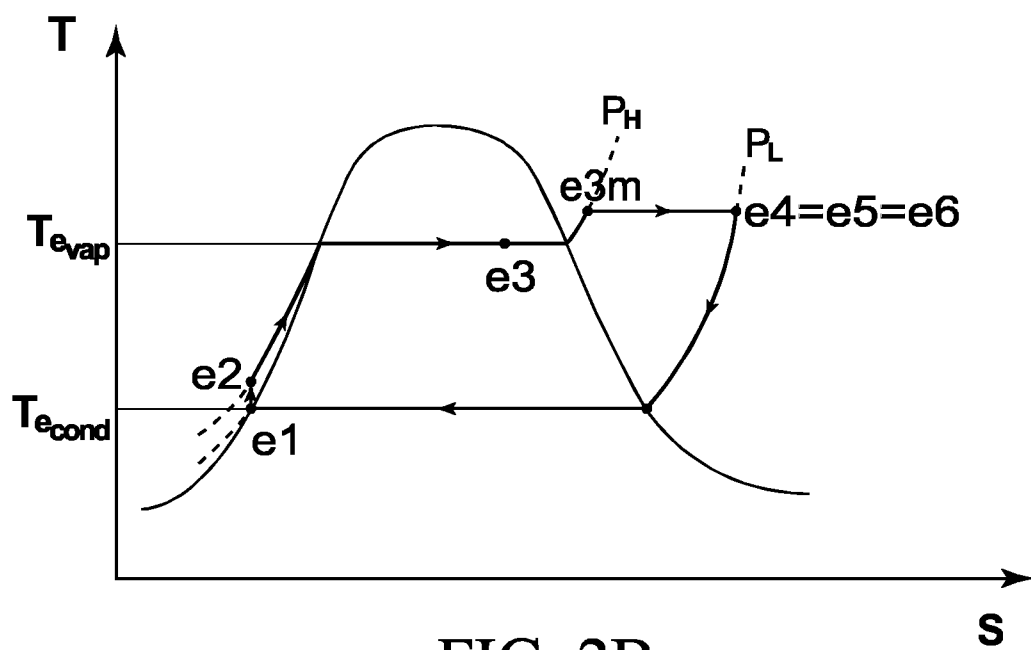


FIG. 2B

3/5

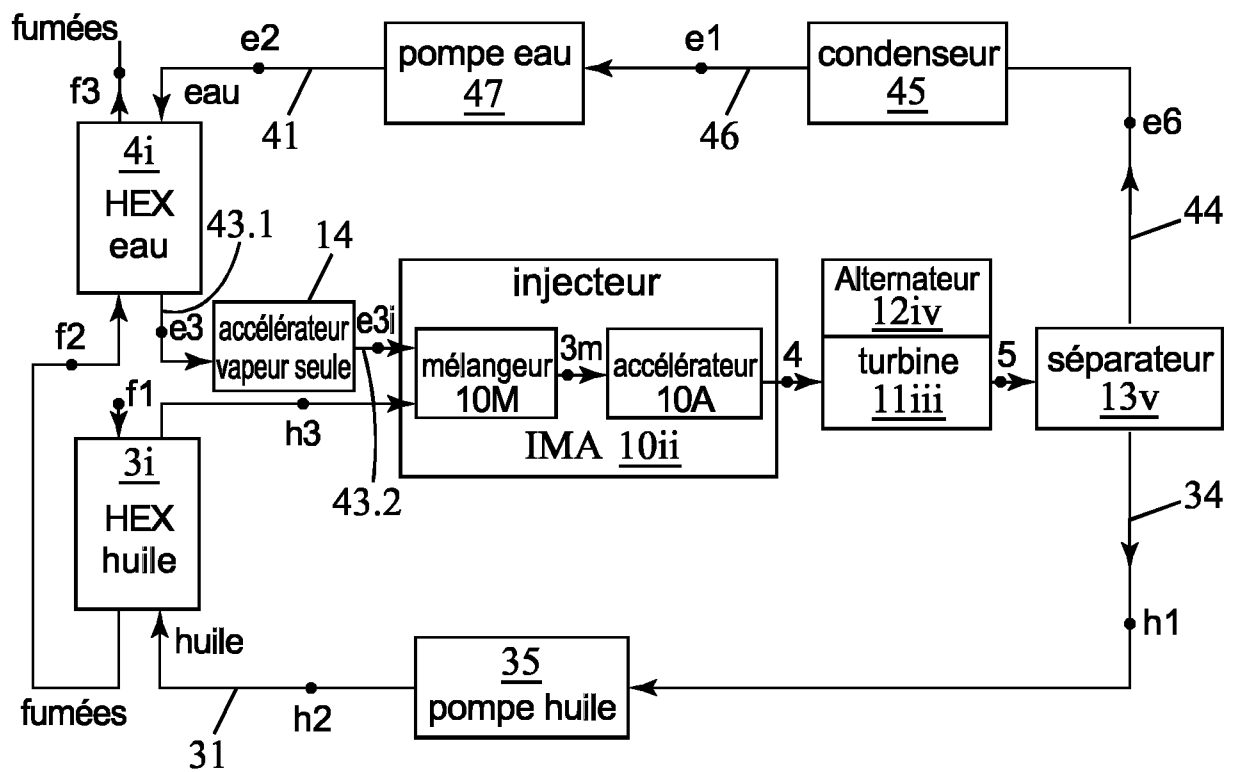


FIG. 3A

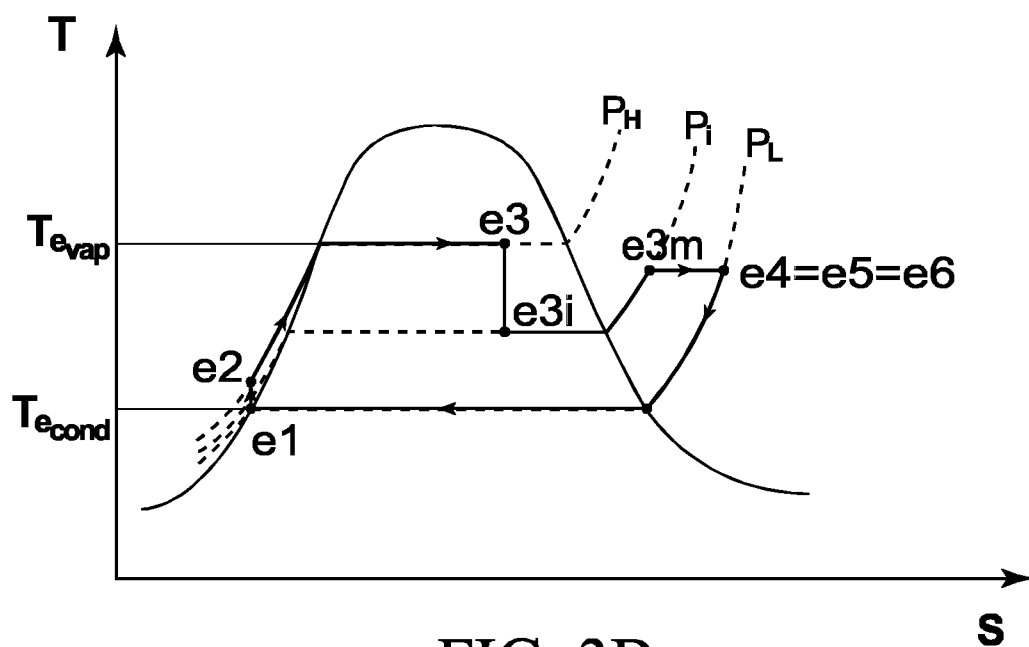


FIG. 3B

4/5

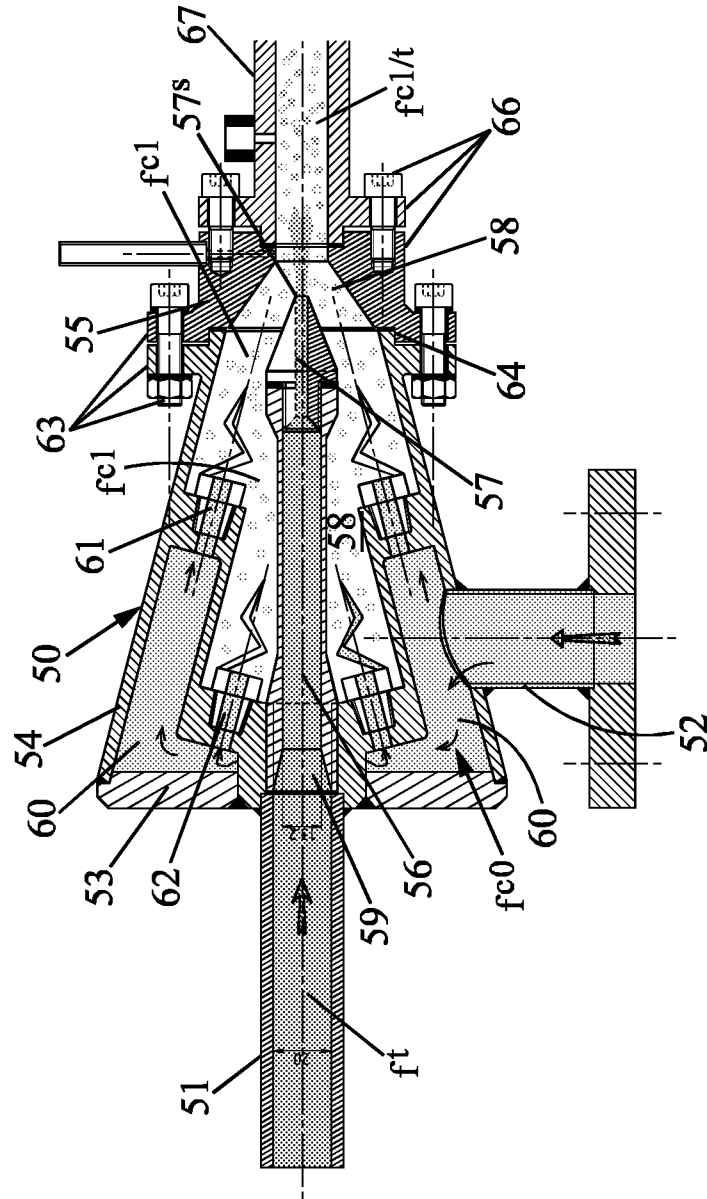


FIG. 4

5/5

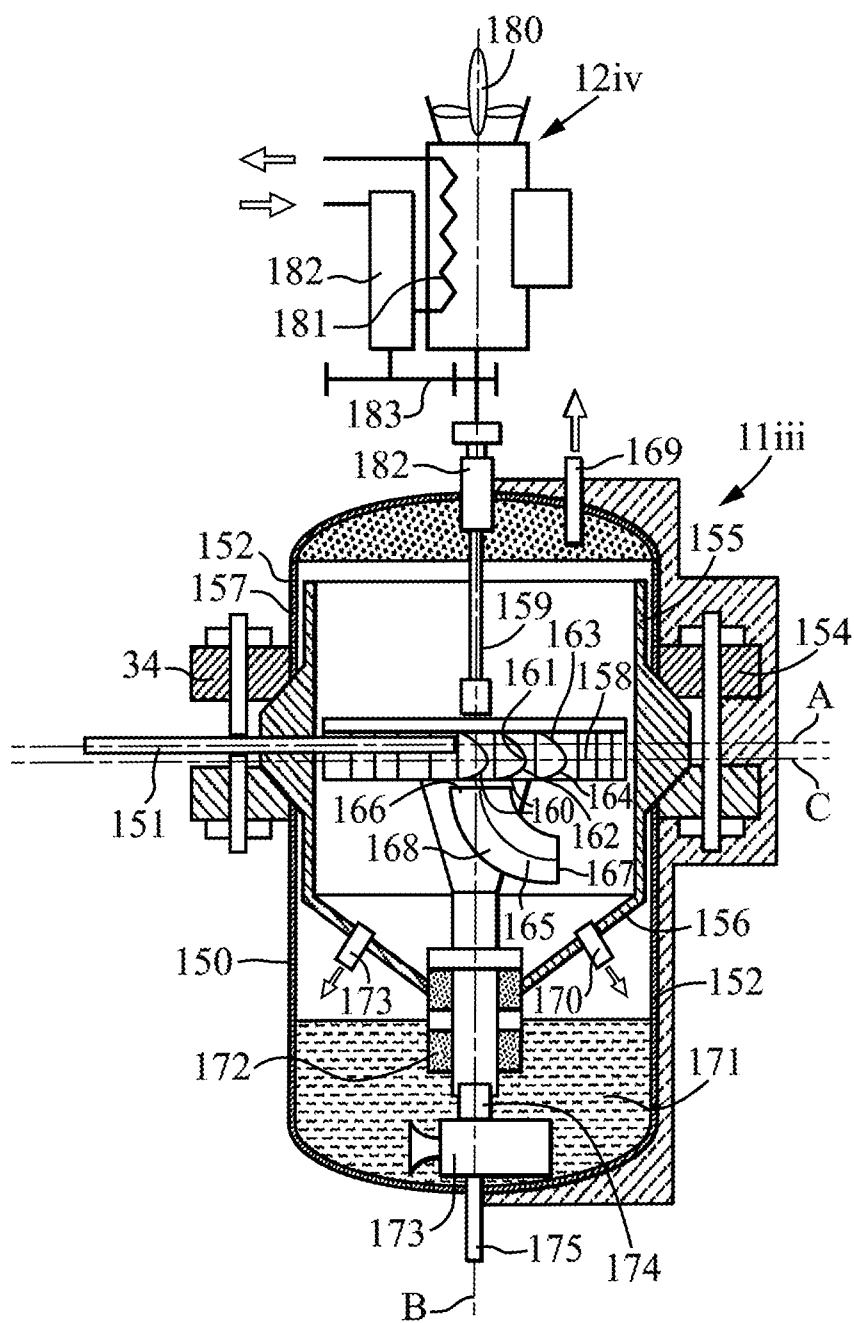


FIG. 5

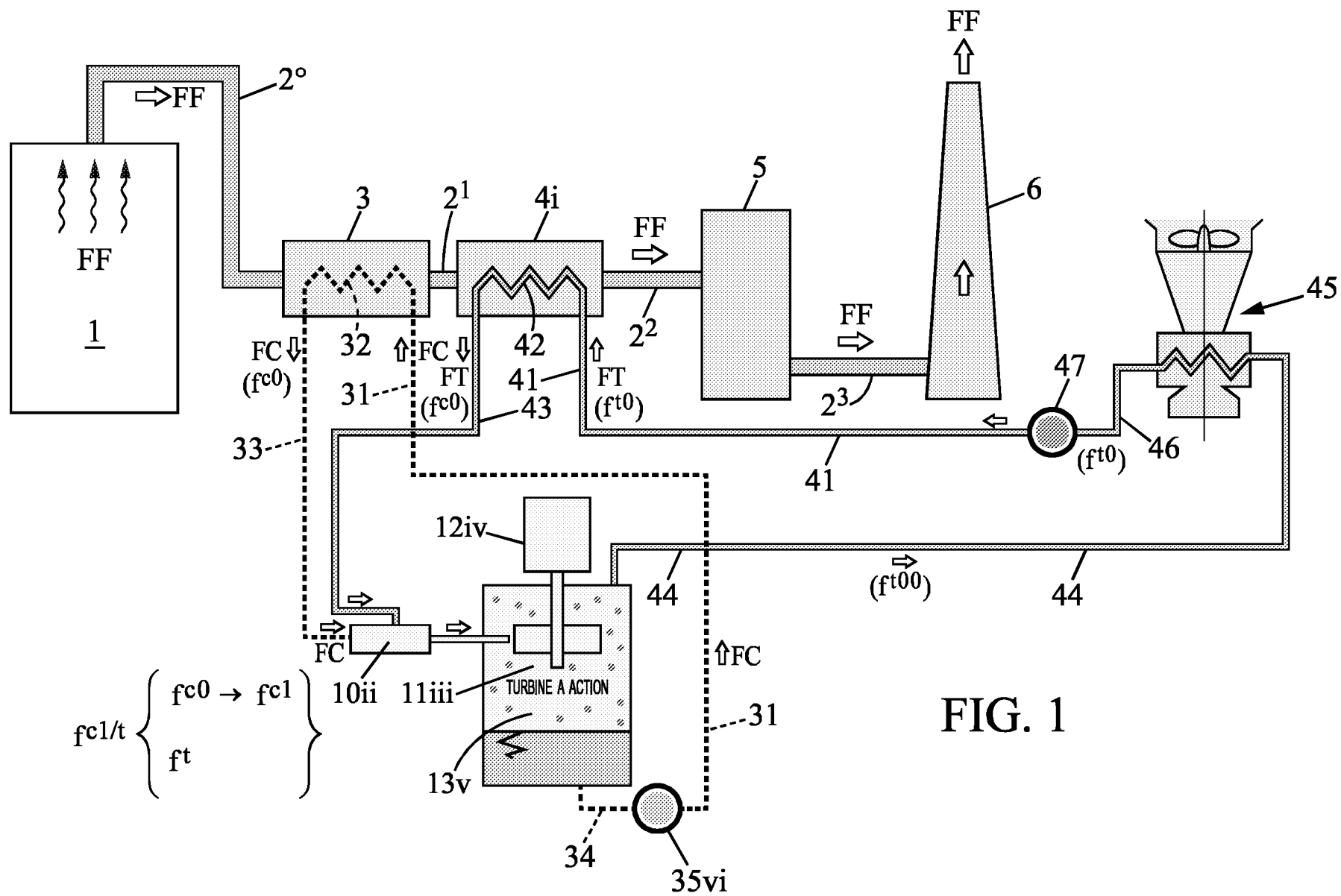


FIG. 1