

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 06.08.12.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la  
demande : 07.02.14 Bulletin 14/06.

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 :

71 Demandeur(s) : DEGREMONT Société anonyme —  
FR.

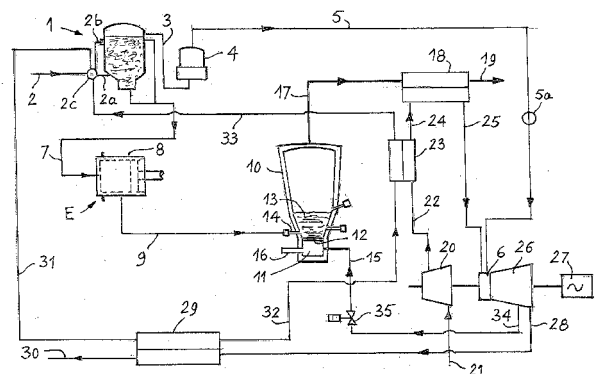
72 Inventeur(s) : BOURDAIS JEAN-LOUIS.

73 Titulaire(s) : DEGREMONT Société anonyme.

74 Mandataire(s) : CABINET ARMENGAUD AINE.

54 PROCEDE ET INSTALLATION DE PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DE DECHETS  
FERMENTESCIBLES, EN PARTICULIER DE BOUES DE STATION D'EPURATION.

57 Procédé de production optimisée d'électricité à partir  
d'une part, de l'énergie thermique contenue dans des fu-  
mées provenant de l'incinération (10) de déchets fer-  
mentescibles, notamment de boues de station d'épuration, et  
d'autre part de biogaz, notamment obtenu par digestion (1)  
de déchets ou de boues, selon lequel: on comprime de l'air  
(20); on réchauffe cet air comprimé par échange de chaleur  
(18) avec les fumées (17); on mélange l'air comprimé ré-  
chauffé avec le biogaz sous pression; on assure la combus-  
tion de ce mélange sous pression, et au moins une partie  
des gaz issus de cette combustion est détendue pour entraî-  
ner un générateur électrique (27), notamment un alterna-  
teur.



## PROCEDE ET INSTALLATION DE PRODUCTION D'ELECTRICITE A PARTIR DE DECHETS FERMENTESCIBLES, EN PARTICULIER DE BOUES DE STATION D'EPURATION.

L'invention est relative à un procédé de production optimisée d'électricité à partir de déchets fermentescibles, en particulier de boues de station d'épuration, procédé du genre de ceux selon lesquels on utilise d'une part, l'énergie thermique contenue dans des fumées provenant de l'incinération de déchets fermentescibles, et d'autre part du biogaz, notamment obtenu par digestion de déchets ou de boues.

Plus particulièrement, l'invention est en relation avec le développement d'une gamme de fours à lit fluidisé connus sous la marque enregistrée THERMYLIS® de la Société DEGREMONT, avec externalisation de l'énergie par une fabrication d'électricité.

Un domaine d'application avantageux est celui des sites de traitement de déchets utilisant un ou plusieurs digesteurs pour la production de biogaz et possédant en aval une installation thermique qui incinère les déchets en sortie du digesteur. Les fumées sortant de l'incinération sont à une température minimale de 850°C. Ces installations thermiques sont celles qui touchent de près ou de loin le traitement des boues, des ordures ménagères, du bois et autres matières organiques.

L'invention a notamment pour but de :

- récupérer l'énergie dans les fumées d'un four d'incinération et de la valoriser au mieux en élevant le niveau d'énergie pour améliorer le rendement,  
- réduire la dangerosité des équipements de récupération d'énergie actuels faisant intervenir des moyens tels que :

- un circuit d'huile thermique, en particulier sous pression de 6 bars, inflammable, avec risque de carbonisation dans les circuits en cas d'incident, et risque de corrosion, ou

- un circuit d'eau surchauffée ou de vapeur, généralement sous pression de plus de 10 bars ; en plus de l'aspect sécurité, ce circuit nécessite un traitement de l'eau, et requiert, dans le cas d'un circuit à vapeur, un condenseur ; ce condenseur doit être à basse température, notamment 50°C, pour augmenter le rendement.

Plus particulièrement, l'invention vise à assurer l'optimisation énergétique d'une filière de traitement de boues par digestion et incinération pour la production d'énergie électrique.

Selon l'invention, le procédé de production optimisée d'électricité à partir d'une part, de l'énergie thermique contenue dans des fumées provenant de l'incinération de déchets fermentescibles, notamment de boues de station d'épuration, et d'autre part de biogaz, notamment obtenu par digestion de déchets ou de boues, est caractérisé en ce que :

- 5 - on comprime de l'air,
- on réchauffe cet air comprimé par échange de chaleur avec les fumées,
- on mélange l'air comprimé réchauffé avec le biogaz mis sous pression pour l'injection dans la chambre de combustion,
- 10 - on assure la combustion de ce mélange sous pression,
- et au moins une partie des gaz issus de cette combustion est détendue pour entraîner un générateur électrique, notamment un alternateur.

De préférence les gaz issus de la combustion sont détendus dans une turbine à gaz. Toutefois ces gaz pourraient aussi être détendus dans au moins un moteur à piston à mouvement rotatif, ou à mouvement alternatif.

Avantageusement, l'air est comprimé à environ 8 bars, de préférence selon une compression adiabatique (car souvent polytropique) pour sortir de la compression à environ 280°C.

Dans le cas où les fumées sont à une température d'au moins environ 850°C, l'air comprimé est réchauffé par échange de chaleur à une température d'au moins environ 630°C, tandis que les fumées sont refroidies à environ 220°C.

Une partie de la chaleur des gaz détendus est avantageusement récupérée par échange de chaleur avec un réseau de fluide caloporteur (en général d'eau chaude) envoyé à la digestion, pour assurer une alimentation en chaleur de la digestion.

Un soutirage des gaz en cours de détente peut être effectué avant la fin de la détente pour alimenter une boîte à vent du dispositif d'incinération des boues.

Un soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente peut être effectué pour alimenter un séchage, partiel ou total, des boues digérées ou non, en vue de leur incinération ou non.

Un soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente peut être effectué pour alimenter un circuit à cycle de Rankine organique ORC produisant en complément de l'électricité. La source froide du circuit ORC peut être utilisée pour alimenter en chaleur la digestion.

Avantageusement le biogaz utilisé avec l'air comprimé provient de la digestion. Mais le biogaz peut aussi provenir d'une gazéification et/ou d'un combustible d'origine fossile.

5 La chaleur sensible des gaz chauds, avant la fin de la détente, notamment avant sortie de l'étage de détente de la turbine, peut être utilisée pour alimenter l'incinération, notamment avec four à lit fluidisé, en air de fluidisation et de combustion, dans ce cas la teneur en oxygène sera inférieure à 21%. Une régulation de la pression/débit est avantageusement prévue, notamment avec une vanne.

10 L'invention est également relative à une installation pour la mise en œuvre du procédé défini précédemment, comportant d'une part un moyen de récupération de l'énergie thermique contenue dans des fumées provenant d'un incinérateur de déchets fermentescibles, notamment de boues de station d'épuration, et d'autre part une source de biogaz, notamment un digesteur de  
15 déchets ou de boues, caractérisée en ce qu'elle comporte :

- une unité de compression d'air,
- au moins un échangeur de chaleur entre l'air comprimé et les fumées de l'incinérateur pour réchauffer l'air comprimé,
- une chambre de mélange et de combustion de l'air comprimé réchauffé avec  
20 le biogaz mis sous pression pour l'injection dans la chambre de combustion,
- et une unité de détente pour au moins une partie des gaz issus de cette combustion, afin d'entraîner un générateur électrique, notamment un alternateur.

25 De préférence, l'unité de détente est une turbine à gaz. La chambre de mélange et de combustion est avantageusement intégrée à la turbine.

L'installation peut comporter un échangeur de chaleur entre une partie des gaz sortant de la turbine et un fluide caloporteur, envoyé à la digestion, pour assurer une alimentation en chaleur de la digestion.

30 Une conduite de soutirage des gaz en cours de détente est avantageusement prévue pour alimenter une boîte à vent du dispositif d'incinération des boues.

Une conduite de soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente peut être prévue pour alimenter un séchage, partiel ou total, des boues digérées ou non, en vue de leur incinération ou non. Un échangeur  
35 intermédiaire peut être prévu entre les gaz et un fluide caloporteur d'un sécheur.

Une conduite de soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente peut être prévue pour alimenter un échangeur constituant la source chaude

d'un circuit à cycle de Rankine organique ORC produisant en complément de l'électricité.

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en un certain nombre d'autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après à propos d'exemples de réalisation décrits avec référence aux dessins annexés, mais qui ne sont nullement limitatifs. Sur ces dessins :

Fig. 1 est un schéma d'une installation mettant en œuvre le procédé de l'invention avec incinération de déchets fermentescibles et utilisation de biogaz pour une production d'électricité.

Fig. 2 est un schéma d'une première variante de l'installation de Fig. 1, et

Fig. 3 est un schéma d'une deuxième variante de l'installation.

Avant de décrire le schéma de Fig.1, un rappel concernant les turbines sera effectué.

*A - Rappel sur les turbines à air chaud :*

Une turbine à air chaud est une machine tournante qui transforme l'énergie thermique d'un débit d'air chaud, fluide compressible, en énergie électrique via un générateur électrique, notamment un alternateur. Le flux du fluide est coaxial à l'axe de rotation de la turbine et passe au travers d'un ou de plusieurs étages à ailettes. La machine est généralement constituée de deux parties :

- Première partie : compression du fluide compressible destiné à être réchauffé par un système externe, en particulier un échangeur.

- Deuxième partie : détente du fluide compressible après son réchauffement dans l'échangeur.

*B- Rappel sur les turbines à gaz chauds :*

Similaire à la turbine à air chaud, cet équipement est doté en plus d'une chambre de combustion intégrée juste en amont de la partie détente :

- Première partie : compression du fluide compressible.
- Deuxième partie : chambre de combustion avec injection de combustible et mélange avec le fluide comprimé.

- Troisième partie : détente du fluide compressible après son réchauffement provoquée par la combustion

En se reportant à Fig. 1 des dessins, on peut voir une installation comportant un digesteur 1, ou réacteur de digestion, dans lequel sont introduits des déchets fermentescibles, en particulier des boues de station d'épuration arrivant par une conduite 2. Les boues sont introduites, en partie basse et en partie plus haute, par des entrées 2a, 2b. Les boues traversent un échangeur 2c permettant d'élever leur température avant entrée dans le digesteur 1.

Le digesteur 1 produit du biogaz qui est évacué, depuis la partie haute, par une conduite 3 qui débouche dans un gazomètre 4 permettant de compenser les fluctuations de production, le volume du gazomètre s'adaptant au volume de gaz à stocker. Une conduite 5, partant du gazomètre 4, dirige le biogaz vers une chambre de combustion 6. Sur la conduite 5 est installé un surpresseur 5a pour que le biogaz soit délivré sous pression, notamment de 8 bars, dans la chambre de combustion 6.

Les boues de digestion sont évacuées du digesteur 1 par une conduite 7 jusqu'à un dispositif de séchage E constitué, selon l'exemple de Fig. 1, par un filtre-presse 8. Les boues pré-séchées sortent du filtre-presse 8 par une conduite 9 qui les dirige vers un incinérateur, avantageusement constitué par un four à lit fluidisé 10, notamment du type Thermylis®-HTFB de la Société DEGREMONT.

Le four 10 comporte, en partie inférieure, une boîte à vent 11 surmontée d'une arche réfractaire 12 autoportante traversée par des tuyères pour le passage de l'air de fluidisation. Un lit de sable 13 est installé au-dessus de l'arche 12. Les boues sont injectées, en partie basse du lit fluidisé, par au moins une buse d'injection 14. L'air de fluidisation arrive dans la boîte à vent par une canalisation 15 tandis qu'au moins un brûleur de préchauffage 16 est prévu dans cette boîte à vent. Pour plus de détails concernant un tel four à lit fluidisé, on peut se reporter au Mémento Technique de l'Eau, tome 2, 10<sup>e</sup> édition, pages 1315-1318, de DEGREMONT.

Les fumées de combustion sortent du four par une conduite 17 pour entrer dans un échangeur de chaleur 18 fumées/air. Les fumées refroidies sortent de l'échangeur 18 par une conduite 19 et sont dirigées vers une unité de traitement, non représentée, avant d'être évacuées à l'atmosphère par une cheminée.

A titre indicatif et non limitatif, les fumées sortent du four 10 à une température généralement supérieure à 850°C, notamment d'environ 870°C, et sortent de l'échangeur 18 à une température d'environ 220°C. Cette dernière température correspond à une limite inférieure choisie pour éviter des

condensations corrosives dans l'échangeur 18, ainsi que les équipements situés en aval de l'échangeur.

Un compresseur 20 est prévu pour prélever de l'air à son aspiration 21 et pour délivrer, dans une conduite de sortie 22, de l'air comprimé. 5  
Avantageusement, la compression de l'air est sensiblement adiabatique. A titre indicatif et non limitatif, l'air ambiant est aspiré dans la conduite 21 à une température d'environ 25°C et sort dans la conduite 22 sous une pression d'environ 8 bars, à une température de 280°C. La conduite 22 est reliée à l'entrée d'un échangeur de chaleur 23, avantageusement eau/air, dont la sortie 10 est reliée par une conduite 24 à l'entrée du compartiment froid de l'échangeur 18. L'air, réchauffé par les fumées provenant du four 10, sort par une conduite 25 à une température de l'ordre de 645°C en restant à la pression qu'il avait à l'entrée, c'est-à-dire dans l'exemple considéré à environ 8 bars. L'air réchauffé est introduit par la conduite 25 dans la chambre de combustion 6 où il 15 se mélange avec le biogaz pour la combustion qui permet d'élever la température du mélange au-dessus de 1000°C, notamment à une température d'environ 1320°C, à pression avantageusement constante.

Les gaz de combustion issus de la chambre de mélange et de combustion 6 sont détendus avec production de travail. Avantageusement, les 20 gaz sont détendus dans une turbine à air chaud ou à gaz 26 qui entraîne, par son arbre de sortie, un générateur électrique 27, notamment un alternateur. La turbine 26 peut également entraîner le compresseur 20 rotatif. Toutefois, le compresseur 20 pourrait être indépendant de la turbine 26 et entraîné par une autre unité motrice. Bien que la turbine à gaz soit préférée, les gaz pourraient 25 produire du travail en étant détendus dans un moteur à piston rotatif, ou à mouvement alternatif.

Il est à noter que les gaz chauds sortant de la turbine sont essentiellement constitués d'air chaud, constitués de 15 à 21% d'oxygène, de sorte que l'on désigne indifféremment par « gaz » ou par « air », les gaz 30 sortant de la turbine.

Les gaz sortant du dernier étage de détente de la turbine 26, sont dirigés par une conduite 28 vers un échangeur de chaleur 29 gaz/fluide caloporteur avantageusement de l'eau dans le cas de la figure 1 et/ou 35 avantageusement de l'huile dans les cas figures 2 et 3, où ils constituent le fluide chaud. A titre d'exemple numérique non limitatif, la température des gaz prélevés par la conduite 28 est d'environ 667°C, sous une pression de 1,1 bar (pouvant être baissée en fonction de la perte de charge du système situé en aval). Les gaz sortent de l'échangeur, après avoir été refroidis, par une conduite

30.

L'autre compartiment de l'échangeur 29 est traversé par un fluide, préférablement liquide ou éventuellement gaz (air), arrivant par une conduite 31 et sortant réchauffé dans une conduite 32. Le fluide échauffé sortant par la  
5 conduite 32 traverse le compartiment de l'échangeur 23 en se réchauffant une seconde fois et refroidissant légèrement l'air comprimé qui arrive par la conduite 22.

A la sortie de l'échangeur 23, le fluide amené par la conduite 32, est dirigé par une conduite 33 vers l'échangeur 2c pour réchauffer les boues  
10 injectées dans le digesteur 1. Le fluide refroidi sort de l'échangeur 2c par la conduite 31.

Un prélèvement de gaz, essentiellement constitué d'air chaud, sur un étage intermédiaire de la turbine 26, est assuré par une conduite 34 qui est prolongée par la conduite 15 à laquelle elle est raccordée, pour l'injection d'air  
15 de fluidisation dans la boîte à vent du four 10. Une électrovanne 35 de régulation du débit d'air est installée sur la conduite 34. Les gaz prélevés par la conduite 34 sont à une pression d'environ 1,3 bar et à une température d'environ 700°C. La température des gaz, essentiellement de l'air, dans la conduite 15, en aval de la vanne 35, est comprise entre 600°C et 700°C.

L'invention permet de réunir deux dispositifs producteurs d'énergie constitués par le digesteur 1 et le four 10 pour constituer une seule source  
20 d'énergie au niveau de la chambre de combustion 6 et de la turbine 26. L'enthalpie de l'air réchauffé dans l'échangeur 18 est augmentée sensiblement par la combustion avec le biogaz.

25 Le choix de l'air comme fluide caloporteur est moins dangereux que le choix de l'eau et de la vapeur, ou de l'huile et des vapeurs.

Une analyse du fonctionnement de l'installation de Fig.1 est donnée ci-après. A la base, il existe un traitement des boues par digestion, grâce au  
30 digesteur 1, permettant de récupérer du biogaz. Un traitement final des boues par incinération est prévu en aval de la digestion. La combustion de matière organique s'effectue dans un réacteur thermique constitué par le four 10 à lit fluidisé.

La combustion est alimentée par de l'air préchauffé contenant  
35 suffisamment d'oxygène pour assurer la combustion complète des éléments volatils et/ou combustibles. Ces combustibles sont d'origine organique (boue, déchets verts, ..) ou d'origine fossile (gaz, liquide et solide).



Les gaz d'échappement générés sortent du four 10 à des températures minimales de 850°C. Ces gaz, appelés fumées, possèdent de l'énergie valorisable par des procédés classiques de récupération d'énergie au travers d'échangeurs. Cependant l'énergie récupérée sur des fluides thermiques tels que l'air, l'eau et les huiles thermiques ne permettent pas de dépasser des températures limitant les rendements électriques :

- Pour l'air (fluidisation du lit de sable) = 700°C max
- Pour l'eau/vapeur = 300°C max
- Pour des huiles thermiques = 250°C max.

Par ailleurs, les températures de fumées sont aussi limitées vers le bas, en particulier dans une plage de 220-250°C pour protéger les échangeurs, permettre un traitement de fumées efficace et protéger de la corrosion le matériel en aval (des points acides peuvent se former à des températures autour de 160°C). Les fumées seront donc refroidies à une température de 220°C environ.

L'invention permet de récupérer la plus grande quantité d'énergie à une température élevée pour faire travailler le fluide dans la turbine à gaz 26 représentant le meilleur rendement électrique à ce jour.

La température du fluide qui se détend dans la turbine 26 doit être élevée et être si possible supérieure à 1000°C pour optimiser le fonctionnement de la turbine à gaz, ce que ne peuvent faire les moyens conventionnels de récupération. Des fumées sortant du four 10 à une température entre 850°C et 870°C ne peuvent pas réchauffer un fluide à une température supérieure. Les échangeurs actuels ne permettent pas d'obtenir un fluide à plus de 750°C compte tenu de la résistance des matériaux à haute température et de la surface d'échange (écart ou pincement des températures entre fluide chaud et froid généralement de 100°C).

L'invention permet de surmonter ces obstacles grâce à la mise en œuvre de deux étapes :

- *1ère étape*

C'est une étape de récupération d'énergie des fumées au travers de l'échangeur fumées-air 18. L'air est préalablement pressurisé par une turbine ou compresseur 20 à une pression supérieure à l'atmosphère. Cette pression est avantageusement de 8 bars, et la température de l'air passe à 280°C environ par une compression adiabatique, ce qui permet de limiter les risques de condensation dans l'échangeur 18. Une étude d'optimisation peut être effectuée pour trouver le meilleur point de compression et la meilleure

température avant de rentrer dans l'échangeur 18. Le compresseur 20 peut, ou non, être couplé à la turbine 26 de détente.

- *2<sup>ème</sup> étape*

5 L'air pressurisé et réchauffé, sortant de l'échangeur 18, est dirigé vers une turbine 26 à gaz chaud pour être détendu et fournir du travail par la turbine qui entraîne un générateur 27 de courant électrique. Cette turbine 26 est précédée par la chambre de combustion 6 qui permet le mélange de l'air pressurisé et réchauffé avec un gaz (biogaz, méthane, gaz naturel, fioul, kérosène...). Cette combustion porte l'ensemble des gaz chauds à une  
10 enthalpie plus élevée et permet d'entraîner la turbine par détente adiabatique avec un meilleur rendement. L'invention permet notamment d'utiliser le biogaz généré dans le digesteur 1. La chambre de combustion 6 peut être intégrée à la turbine.

15 Par la suite, le fluide qui a travaillé et fourni de l'énergie à l'alternateur 27, possède encore une capacité thermique très intéressante. Sa température est généralement comprise entre 600 et 700°C.

L'air chaud est dirigé partiellement, par la conduite 34, vers la boîte à vent 11 du four 10 pour permettre la fluidisation et la combustion, car il reste  
20 16 à 17% d'oxygène O<sub>2</sub> dans cet air chaud lorsqu'on utilise uniquement du biogaz. La quantité d'oxygène disponible dans la partie de l'air chaud dirigée vers le four 10 permet d'assurer la combustion complète de la matière organique et du combustible d'appoint dans le four. La détente à 1,3 bar de l'air chaud provenant de la turbine permet d'avoir une pression résiduelle  
25 assurant la fluidisation dans le four 10 et de combler la perte de charge dans des échangeurs pour préchauffer l'unité de digestion et/ou autre consommateur (bassin d'aération).

L'autre partie de l'air chaud est dirigée par la conduite 28 vers l'échangeur 29 ou consommateur d'air chaud. L'air chaud peut aussi être  
30 partiellement envoyé en cheminée pour éviter un panache en cas de traitement des fumées par voie humide.

**1<sup>ère</sup> variante**

Fig. 2 montre une variante de réalisation de l'installation de Fig. 1  
35 dont les éléments identiques, ou ayant des fonctions équivalentes à des éléments déjà décrits à propos de Fig. 1, sont désignés par les mêmes références numériques sans que leur description soit reprise. L'installation de Fig. 2 concerne plus particulièrement le cas où les boues incinérées dans le

four 10 sont éloignées de l'auto-thermicité, c'est-à-dire que leur pouvoir calorifique ne dégage pas suffisamment de chaleur pour maintenir la température du four au dessus de 850°C, ou que la déshydratation des boues en aval de la digestion est faible.

5 Un échangeur de chaleur adapté 36 huile thermique/gaz est prévu sur la conduite 28, en amont de l'échangeur 29. Un pré-sécheur 37 est disposé sur la conduite 7 des boues de digestion dirigées vers le four 10, préalablement déshydratées par avantageusement une centrifugeuse 37a. Un fluide caloporteur sort du pré-sécheur 37 par une conduite 38 pour être introduit dans  
10 le compartiment froid de l'échangeur 36 et pour y être réchauffé et en sortir par une conduite 39 ramenant ce fluide caloporteur vers le pré-sécheur 37 pour restituer la chaleur aux boues à sécher. Le pré-sécheur 37 est du type sécheur indirect et est situé juste en amont du four 10 d'incinération. L'énergie thermique récupérée dans l'échangeur 36, en sortie de la turbine à gaz, est  
15 ainsi restituée directement aux boues.

A la place d'un pré-sécheur 37 de type indirect, on pourrait prévoir un sécheur direct, auquel cas l'air chaud amené par la conduite 28 serait directement utilisé pour sécher les boues, ce qui permettrait d'économiser l'échangeur 36.

20 L'air refroidi qui sort de l'échangeur 36 par une conduite 40 pour entrer dans l'échangeur 29 possède encore suffisamment d'énergie thermique pour réchauffer le fluide qui passe dans l'échangeur 2c et sert à chauffer les boues avant leur introduction dans le digesteur 1. Ce fluide peut être de l'eau chaude à une température d'environ 50 à 70°C.

25 Le fonctionnement de l'installation de Fig.2 est semblable à celui de Fig.1.

### **2<sup>ème</sup> variante**

30 Fig. 3 illustre une autre variante de l'installation dans le cas où les boues sortant du digesteur 1 sont proches de l'auto-thermicité. Les différents éléments représentés sur Fig. 3, identiques ou équivalents à des éléments déjà décrits à propos de Fig. 1, sont désignés par les mêmes références numériques sans que leur description soit reprise.

35 On retrouve sur Fig. 3 le filtre-pressé 8 de Fig. 1 qui avait été remplacé par une centrifugeuse dans le cas de l'installation de Fig. 2.

Selon la variante de Fig. 3, l'air chaud, dirigé par la conduite 28 en sortie de la turbine à gaz 26, alimente un échangeur de chaleur 41 constituant une source chaude qui permet de récupérer de l'énergie thermique et de la

diriger vers une autre unité de valorisation à cycle de Rankine organique (ORC).

Selon le cycle ORC, le fluide organique de travail arrive, à l'état liquide, par une conduite 42 dans l'échangeur 41. Le fluide vaporisé sort de l'échangeur 41 par une conduite 43 pour se détendre dans une turbine 44 entraînant un autre générateur électrique 45. La vapeur détendue est évacuée par la conduite 46 vers le condenseur, constituant la source froide, et réalisé sous forme d'un échangeur de chaleur 47 dont le compartiment froid est inséré dans la conduite 32 provenant de l'échangeur 29. Le condenseur 47 contribue ainsi au chauffage du digesteur de boues 1 par la chaleur de condensation du fluide organique, qui est transmise au fluide circulant dans la conduite 32.

Selon la variante de Fig. 3, deux sources d'énergie électrique sont présentes et viennent augmenter le rendement de la filière qui permet notamment d'obtenir 25 % d'électricité en plus par rapport à une solution de cogénération avec cycle ORC sur les fumées du four 10.

L'invention procure plusieurs avantages pour la production d'énergie électrique à partir d'une source de chaleur disponible. Elle permet notamment:

- de refroidir les fumées avec un seul échangeur 18 (pression de 8 bars). Cette pression permet de limiter les dimensions par la réduction du volume d'air lié au facteur de compression. Le coût d'investissement est diminué, et donc plus avantageux.

- d'éviter un traitement de fluide comme dans le cas où de l'eau est utilisée pour un circuit vapeur,

- de travailler à une pression relativement faible, de l'ordre de 8 à 10 bars, avec un fluide neutre : l'air, alors que sur les turbines vapeur la pression doit être élevée, de l'ordre de 40 à 50 bars, pour atteindre des rendements intéressants,

- de consommer le biogaz à tout moment et de le valoriser sans autre équipement de cogénération,

- de limiter le stockage du biogaz,

- d'avoir un rendement élevé pour la production d'électricité et de réguler librement, par rapport à l'incinération, la vitesse de la turbine à gaz chauds. Ce rendement peut être nettement amélioré en cas d'utilisation de l'ORC en complément de la turbine à gaz chauds.

- d'utiliser l'air chaud via un échangeur 36 pour alimenter un pré-sécheur 37 dans le cas de boues éloignées de l'auto-thermicité et nécessitant une étape de pré-séchage avant incinération,

- de détruire le sulfure d'hydrogène  $H_2S$  du biogaz lors de la combustion, la température étant portée au-delà de  $1000^{\circ}C$ ,
- de fournir de l'électricité avec un coût optimal d'investissement et des installations moins encombrantes.

5

L'invention permet également de réduire le nombre d'équipements de récupération d'énergie sur les fumées du four du fait :

- de l'utilisation possible d'un échangeur au lieu de deux échangeurs, l'un pour préchauffer l'air de fluidisation et de combustion l'autre pour chauffer une boucle thermique,
- de réunir sur un seul équipement la valorisation des énergies thermiques produites sur le digesteur et l'incinérateur,
- d'augmenter l'enthalpie des gaz sortant d'un échangeur air-fumées, par une étape de combustion du biogaz avant détente,
- de brûler les gaz générés par des traitements en amont de l'incinération ou en parallèle ou de provenance divers sur un seul équipement. Ces gaz peuvent être du biogaz provenant de la digestion des boues ou d'autres matières, mais ils peuvent provenir aussi d'un procédé de gazéification. Ces gaz peuvent être épurés ou non.
- de faciliter la régulation de la turbine avec le biogaz pour qu'elle fonctionne au nominal sans dépendre du régime de l'incinération.
- d'une production d'électricité augmentée d'environ 40-25 % par rapport à la solution combinée de cogénération du biogaz sortie digesteur et ORC sur fumées sortie du four.

10

15

20

25

## REVENDICATIONS

1. Procédé de production optimisée d'électricité à partir d'une part, de l'énergie thermique contenue dans des fumées provenant de l'incinération de déchets fermentescibles, notamment de boues de station d'épuration, et d'autre part de biogaz, notamment obtenu par digestion de déchets ou de boues, caractérisé en ce que :
- on comprime de l'air (20),
  - on réchauffe cet air comprimé par échange de chaleur (18) avec les fumées,
  - on mélange l'air comprimé réchauffé avec le biogaz mis sous pression pour l'injection dans la chambre de combustion,
  - on assure la combustion de ce mélange sous pression,
  - et au moins une partie des gaz issus de cette combustion est détendue pour entraîner un générateur électrique (27), notamment un alternateur.
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que des gaz issus de la combustion sont détendus dans une turbine à gaz (26).
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'air est comprimé à environ 8 bars, pour sortir de la compression à environ 280°C.
4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, selon lequel les fumées sont à une température d'au moins environ 850°C, caractérisé en ce que l'air comprimé est réchauffé par échange de chaleur à une température d'au moins environ 630°C, tandis que les fumées sont refroidies à environ 220°C.
5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'une partie de la chaleur des gaz détendus est récupérée par échange de chaleur (29) avec un fluide caloporteur envoyé à la digestion, pour assurer une alimentation en chaleur de la digestion.
6. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un soutirage (34) des gaz en cours de détente est effectué avant la fin de la détente pour alimenter une boîte à vent (11) du dispositif d'incinération des boues.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce qu'un soutirage (28) des gaz en cours, ou en fin, de détente est effectué pour alimenter un séchage, partiel ou total, des boues digérées ou non, en vue de leur incinération ou non.

5

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'un soutirage (28) des gaz en cours de détente est effectué pour alimenter un circuit à cycle de Rankine organique ORC produisant en complément de l'électricité.

10

9. Procédé selon la revendication 8, caractérisé en ce que la source froide (47) du circuit ORC est utilisée pour alimenter en chaleur la digestion.

15

10. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisé en ce que le biogaz utilisé provient de la digestion, et/ou d'une gazéification, et ou d'un combustible d'origine fossile.

20

11. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que la chaleur sensible des gaz chauds après détente est utilisée pour réchauffer un appoint d'air secondaire au-dessus du lit fluidisé afin de combler le manque d'oxygène dans les gaz chauds en sortie de détente.

25

12. Installation de production optimisée d'électricité à partir d'une part, de l'énergie thermique contenue dans des fumées provenant d'un incinérateur de déchets fermentescibles, notamment de boues de station d'épuration, et d'autre part une source de biogaz, notamment un digesteur de déchets ou de boues, caractérisée en ce qu'elle comporte :

30

- une unité (20) de compression d'air,
- au moins un échangeur de chaleur (18) entre cet air comprimé et les fumées (17) de l'incinérateur (10) pour réchauffer l'air comprimé,
- une chambre (6) de mélange et de combustion de l'air comprimé réchauffé avec le biogaz mis sous pression pour l'injection dans la chambre de combustion,

35

- et une unité de détente (26) pour au moins une partie des gaz issus de cette combustion, afin d'entraîner un générateur électrique (27), notamment un alternateur.

13. Installation selon la revendication 12, caractérisée en ce que l'unité de détente est une turbine à gaz (26).

5 14. Installation selon la revendication 13, caractérisée en ce que la chambre (6) de mélange et de combustion est intégrée à la turbine (26).

10 15. Installation selon la revendication 13 ou 14, caractérisée en ce qu'elle comporte un échangeur de chaleur (29) entre une partie des gaz sortant de la turbine et un fluide caloporteur, pour assurer une alimentation en chaleur de la digestion.

15 16. Installation selon l'une quelconque des revendications 13 à 15, caractérisée en ce qu'elle comporte une conduite de soutirage (34) des gaz en cours de détente pour alimenter une boîte à vent (11) du dispositif d'incinération des boues.

20 17. Installation selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, caractérisée en ce qu'elle comporte une conduite (28) de soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente pour alimenter un sécheur (37), partiel ou total, des boues digérées ou non, en vue de leur incinération ou non.

25 18. Installation selon la revendication 17, caractérisée en ce qu'elle comporte un échangeur intermédiaire (36) entre les gaz et un fluide caloporteur d'un sécheur (37).

30 19. Installation selon l'une quelconque des revendications 13 à 16, caractérisée en ce qu'elle comporte une conduite (28) de soutirage des gaz en cours, ou en fin, de détente pour alimenter un échangeur (41) constituant la source chaude d'un circuit à cycle de Rankine organique ORC produisant en complément de l'électricité.



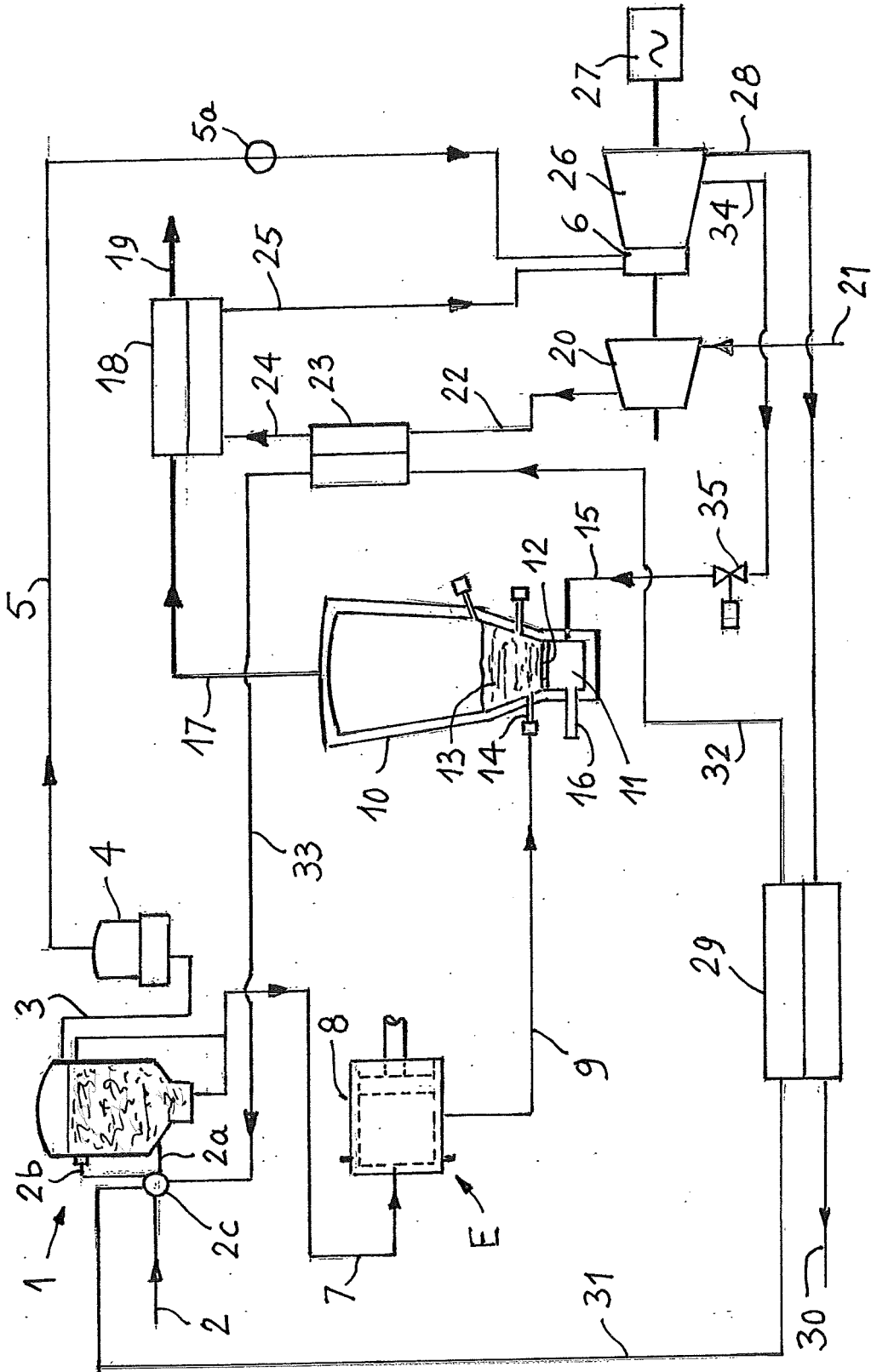


FIG.1

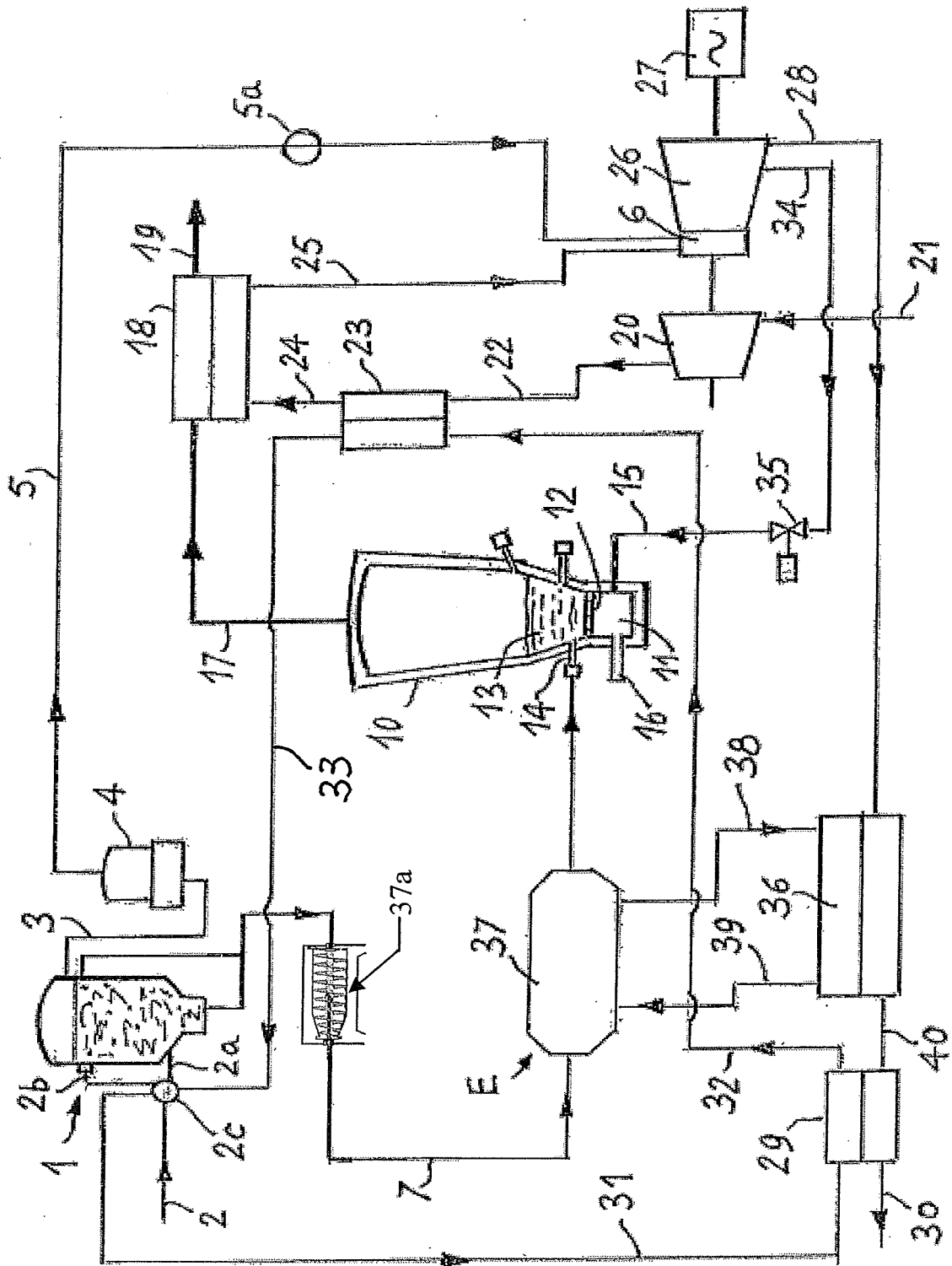


FIG.2

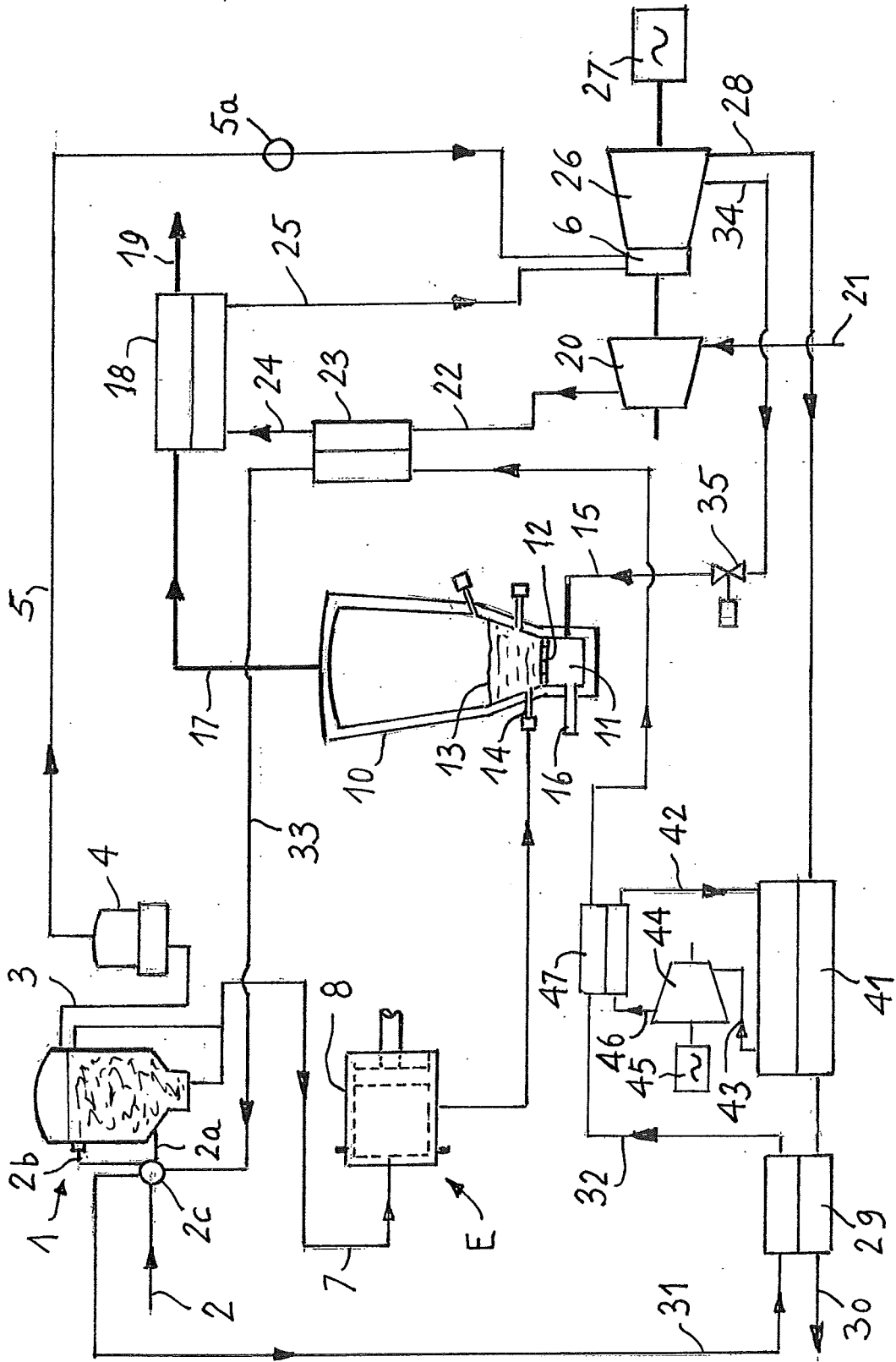


FIG.3



**RAPPORT DE RECHERCHE  
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement  
national

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

FA 770031  
FR 1257634

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 4 901 521 A (SCHEMENAU WOLFGANG [DE] ET AL) 20 février 1990 (1990-02-20) * colonne 3, ligne 56 - colonne 6, ligne 9; figure 1 *	1-4,6, 10, 12-14,16	F23G5/16 F01K25/14 C02F11/10
A	EP 2 136 138 A2 (GEA BREWERY SYSTEMS GMBH [DE]) 23 décembre 2009 (2009-12-23) * alinéas [0047], [0051], [0052]; figures 3-6 *	1,8,9, 12,19	
A	FR 2 758 100 A1 (BOUCHALAT YOUSSEF [FR]) 10 juillet 1998 (1998-07-10) * le document en entier *	1,12	
A	EP 2 463 240 A1 (VEOLIA WATER SOLUTIONS & TECH [FR]) 13 juin 2012 (2012-06-13) * le document en entier *	1,12	
A	WO 2011/156871 A1 (BTOLA PTY LTD [AU]; DOOLEY BEVAN [AU]) 22 décembre 2011 (2011-12-22) * le document en entier *	1,12	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) F23G
A	US 4 253 300 A (WILLYOUNG DAVID M) 3 mars 1981 (1981-03-03) * le document en entier *	1,12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
8 avril 2013		Coli, Enrico	
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	

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE  
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1257634 FA 770031**

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 **08-04-2013**

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 4901521	A	20-02-1990	DE 3613300 A1	22-10-1987
			EP 0243801 A1	04-11-1987
			JP S62255535 A	07-11-1987
			US 4845942 A	11-07-1989
			US 4901521 A	20-02-1990
-----				
EP 2136138	A2	23-12-2009	DE 102008028600 A1	31-12-2009
			EP 2136138 A2	23-12-2009
-----				
FR 2758100	A1	10-07-1998	AT 198873 T	15-02-2001
			CA 2254724 A1	16-07-1998
			DE 69703975 D1	01-03-2001
			DE 69703975 T2	15-11-2001
			EP 0906248 A1	07-04-1999
			FR 2758100 A1	10-07-1998
			US 6171499 B1	09-01-2001
			WO 9830506 A1	16-07-1998
-----				
EP 2463240	A1	13-06-2012	EP 2463240 A1	13-06-2012
			WO 2012078044 A1	14-06-2012
-----				
WO 2011156871	A1	22-12-2011	AUCUN	
-----				
US 4253300	A	03-03-1981	AUCUN	
-----				