

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication : 2 990 990

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : 12 01449

⑤1 Int Cl⁸ : F 01 K 25/14 (2013.01), H 02 K 7/18

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 22.05.12.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 29.11.13 Bulletin 13/48.

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) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablis-
sement public — FR.

⑦2 Inventeur(s) : BRIOT PATRICK et GOMEZ ADRIEN.

⑦3 Titulaire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES Etablis-
sement public.

⑦4 Mandataire(s) : IFP ENERGIES NOUVELLES.

⑤4 **PROCEDE DE PRODUCTION D'ELECTRICITE PAR VALORISATION DE LA CHALEUR RESIDUELLE DES
FLUIDES ISSUS D'UNE RAFFINERIE.**

⑤7 Pour récupérer la chaleur résiduelle de fluides issus
de procédés de raffinage et pour valoriser cette chaleur ré-
siduelle en la transformant en électricité, on effectue les
étapes suivantes:

a) on fournit un effluent produit par une installation de
raffinage pétrolier (R), l'effluent ayant une température infé-
rieure à 300°C,

b) on fournit au moins un fluide caloporteur à une tem-
pérature inférieure à 300°C et à une pression déterminée de
manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide
à ladite pression est inférieure à 300°C,

c) on refroidit (A) ledit effluent par échange de chaleur
avec ledit fluide caloporteur, le fluide caloporteur étant va-
porisé durant l'échange de chaleur,

d) on détend le fluide caloporteur vaporisé obtenu à
l'étape c) dans au moins une turbine (T) entraînant une gé-
nératrice pour produire de l'électricité,

FR 2 990 990 - A1



La présente invention concerne le domaine de la production d'électricité par récupération de chaleur résiduelle de fluides issus d'une raffinerie.

5 Un certain nombre d'industries possèdent des fluides ayant des températures inférieures à 300°C voire 200°C et qui sont évacués sans valorisation de la chaleur qu'ils contiennent.

Par exemple, les centrales thermiques, d'une capacité comprise entre 500 et 800 MW électrique, relâchent dans l'atmosphère, par l'intermédiaire de leurs cheminées, des
10 débits de fumées, compris entre 2 et 4 millions de Nm³/h à une température comprise entre 60 et 200°C. Les industries cimentières relâchent aussi dans l'atmosphère des fumées de l'ordre de 300 000 Nm³/h à des températures comprises entre 90 et 230°C.

De la même façon, il existe de nombreuses industries, notamment le raffinage et la pétrochimie pour lesquelles de l'eau et/ou de l'air sont utilisés afin de refroidir
15 certains éléments des différents procédés de fabrication. Ce refroidissement se traduit par une augmentation de la température de l'eau et de l'air utilisés de l'ordre de 10 à 20°C. Cette eau et cet air chaud sont soit rejetés dans l'environnement, soit refroidis par de l'air dans des tours de refroidissement et donc consommatrice d'énergie.

Par exemple, les effluents de distillation des procédés de conversion du raffinage
20 sortent des colonnes à des températures comprises entre 70 et 190°C. Quand ces températures dépassent 200°C, ces produits sont refroidis dans des échangeurs de chaleur par de l'eau afin de générer de la vapeur d'eau. Cela permet de générer de la vapeur à différents niveaux de pression, utilisée ensuite dans la raffinerie. Ce refroidissement ne permet pas de réduire la température des fluides en-dessous de
25 185°C. Pour disposer de produits de raffinage à des températures de stockage comprise entre 35 et 40°C, les raffineurs refroidissent ces fluides dans des échangeurs à air, appelés aéro-réfrigérateurs, et/ou dans des échangeurs à eau. Ces procédés de refroidissement sont consommateurs d'énergie et la chaleur résiduelle des effluents est non valorisée.

30

La présente invention propose de récupérer la chaleur de fluides à basse température, typiquement à une température inférieure à 300°C, issu d'une installation de raffinerie de pétrole afin de produire de l'électricité.

La production d'électricité à partir de fluide chaud est bien connue de l'homme de l'art. C'est sur ce principe que fonctionnent les centrales produisant l'électricité. Ces centrales électriques fonctionnent soit à partir de combustibles nucléaires soit à partir de matières fossiles (charbon, gaz naturel, fuel...) soit à partir de biomasse. Le principe consiste en un équipement principal, appelé chaudière ou réacteur, dans lequel a lieu une réaction dégageant de la chaleur (fission, combustion...). La chaleur dégagée par la réaction est évacuée dans un échangeur permettant de chauffer de l'eau sous pression à des températures comprises entre 500 et 600°C. Cette eau va être transformée en vapeur et détendue dans une turbine afin de produire de l'électricité. Pour que cette eau soit chauffée aux alentours de 500 à 600°C, il faut que le fluide généré par la réaction soit à une température voisine de 900°C.

Si le principe de la production électrique est bien connu, les limites d'un tel système est la température d'ébullition de l'eau sous pression. Les caractéristiques thermodynamiques de l'eau, notamment la température et la pression d'ébullition de l'eau, ne permettent pas de valoriser la chaleur de fluides à une température inférieure à 300°C.

L'objet de la présente invention est de remédier à ce fait en permettant de récupérer la chaleur résiduelle de fluides, liquides et/ou gazeux, à basse température, typiquement à des températures inférieures à 300°C. La présente invention propose de mettre en œuvre un cycle de Rankine avec un fluide caloporteur à basse température de vaporisation afin de récupérer de l'énergie résiduelle sur des fluides issus du raffinage à basse température.

De manière générale, la présente invention décrit un procédé de production d'électricité, dans lequel on effectue les étapes suivantes :

- a) on fournit un effluent produit par une installation de raffinage pétrolier, l'effluent ayant une température inférieure à 300°C,
- b) on fournit au moins un fluide caloporteur à une température inférieure à la température de l'effluent et à une pression déterminée de manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à la température de l'effluent,

- c) on refroidit ledit effluent par échange de chaleur avec ledit fluide caloporteur, le fluide caloporteur étant vaporisé durant l'échange de chaleur,
- d) on détend le fluide caloporteur vaporisé obtenu à l'étape c) dans au moins une turbine entraînant une génératrice pour produire de l'électricité.

5

Selon l'invention, on peut effectuer, en outre, les étapes suivantes :

- e) on condense le fluide caloporteur obtenu à l'étape d),
- f) on pompe le fluide caloporteur obtenu à l'étape e), à une pression égale à ladite pression déterminée à l'étape b), puis
- 10 g) on recycle à l'étape c) le fluide caloporteur obtenu à l'étape f).

A l'étape b), on peut fournir ledit fluide caloporteur à une température inférieure à 90°C et à une pression déterminée de manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à 90°C,

15

A l'étape b), on peut choisir le fluide caloporteur de manière à ce qu'il comporte une température critique supérieure à la température dudit effluent à l'étape a). Ladite pression déterminée à l'étape b) peut être inférieure à la pression critique du fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur peut comporter au moins l'un des composés suivants : un alcane comportant entre 1 et 7 atomes de carbone, un alcène comportant entre 1 et 7 atomes de carbone, un alcool, une molécule comportant une fonction amine, une molécule comportant une fonction thiol, une molécule comportant au moins un atome de chlore.

A l'étape d), la différence de pression du fluide caloporteur entre l'entrée et la sortie de la turbine peut être supérieure ou égale à 1 bar.

A l'étape b), on peut fournir au moins deux fluides caloporteurs, chacun des fluides ayant une température inférieure à la température de l'effluent et une pression déterminée de manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à la température de l'effluent, dans lequel à l'étape c), on refroidit ledit effluent par échange de chaleur avec lesdits fluides caloporteurs, les fluides caloporteurs étant vaporisés durant l'échange de chaleur, et dans lequel à l'étape d), on détend chacun des fluides caloporteurs vaporisés obtenu à l'étape c) dans au moins une turbine entraînant une génératrice pour produire de l'électricité. Dans ce cas, à l'étape b),

30

lesdits deux fluides caloporteurs peuvent avoir des compositions différentes. Par ailleurs, à l'étape b), lesdits deux fluides caloporteurs peuvent avoir des températures différentes

L'effluent peut être produit par une installation de raffinage pétrolier choisi parmi la liste : craquage catalytique, le viscoréducteur, l'isomérisation, la polymérisation, le
5 craquage à la vapeur, le soufflage de bitume, la cokéfaction.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention seront mieux compris et apparaîtront clairement à la lecture de la description faite ci-après en se référant aux dessins parmi lesquels :

- 10
- la figure 1 décrit le procédé de production d'électricité selon l'invention,
 - les figures 2 et 3 schématisent des variantes de l'invention dont les fonctionnements sont illustrés par des exemples de fonctionnement.

En référence à la figure 1, la raffinerie de pétrole R traite une charge de pétrole
15 brut ou de gaz naturel brut pour la convertir en différents effluents d'hydrocarbures valorisables. Une raffinerie peut comporter notamment les unités de traitement suivantes :

- le craquage catalytique, couramment nommé FCC ou Fluid Catalytic Cracking
- le viscoréducteur, couramment nommé visbreaking,

20

- l'isomérisation,
- la polymérisation,
- le craquage à la vapeur, couramment nommé Steam Cracking,
- le soufflage de bitume,
- la cokéfaction couramment nommée coking.

25 Sans sortir du cadre de l'invention, la raffinerie peut comporter d'autres unités de traitement.

La ligne 1 transporte un effluent d'hydrocarbures produit par la raffinerie R à une température relativement basse, par exemple à une température inférieure à 300°C, de préférence à une température comprise entre 50°C et 200°C, mais nécessitant d'être
30 refroidi à une température inférieure à 50°C pour être liquéfié, stocké, ou envoyé vers une autre unité de traitement de la raffinerie.

L'effluent, liquide et/ou gazeux, à basse température acheminé par la ligne 1 est envoyé dans un échangeur de chaleur A permettant d'échanger de la chaleur, avec un

fluide caloporteur sous pression à plus basse température acheminée par la ligne 3. (dans ce cas, on ne met pas en œuvre les dispositifs A' et B')

Le fluide caloporteur arrivant par la ligne 3 est à l'état liquide, à une température inférieure celle du fluide de raffinerie à basse température arrivant la ligne 1. Par exemple, le fluide caloporteur dans la ligne 3 est à une température inférieure à 300°C, voir 200°C, de préférence inférieure 100°C. Afin de pouvoir refroidir le fluide 1 issue d'une raffinerie à basse température, le fluide arrivant par la ligne 3 peut être à une température de préférence inférieure à 90°C, de préférence inférieure à 70°C, voire inférieure à 50°C. Avantagement, dans le cas où l'échange de chaleur est mis en œuvre avec plusieurs fluides caloporteurs dans l'échangeur A, lesdits fluides caloporteurs sont au moins chacun à des températures différentes à leur introduction dans l'échangeur.

De préférence, le fluide caloporteur ainsi que la pression du fluide caloporteur circulant dans la ligne 3 sont choisis de manière à ce que la température de vaporisation du fluide caloporteur soit inférieure à la température du fluide arrivant par la ligne 1, par exemple à une température inférieure à 300°C, de préférence inférieure à 200°C, voir inférieure à 100°C. Afin de pouvoir refroidir le fluide 1 issue d'une raffinerie à basse température, le fluide caloporteur ainsi que la pression du fluide caloporteur circulant dans la ligne 3 peut être choisis de manière à ce que la température de vaporisation du fluide caloporteur soit inférieure à 90°C, de préférence inférieure à 70°C, voire inférieure à 50°C. Par exemple, la pression du fluide caloporteur dans la ligne 3 est supérieure à 2 bars, de préférence supérieure à 5 bars, voire 10 bars. De plus, le fluide caloporteur peut être choisi de manière à ce que sa température critique soit supérieure à la température du fluide dit à basse température. Par exemple la température critique du fluide caloporteur est supérieure à 250°C, et de façon privilégiée supérieure à 300°C. De préférence, la pression du fluide caloporteur à l'entrée de l'échangeur A dans la ligne 3 est inférieure à la pression critique du fluide caloporteur.

Le fluide caloporteur peut comporter des alcanes et/ou des alcènes, comportant entre 1 et 7 atomes de carbone. Le fluide caloporteur peut comporter un alcool, par exemple du méthanol, de l'éthanol, du propanol, de l'isopropanol. Le fluide caloporteur peut comporter des molécules ayant une fonction amine, par exemple de la méthylamine, de l'éthylamine, ou des molécules ayant une fonction thiol, par exemple du methylmercaptan, de l'ethylmercaptan. Le fluide caloporteur peut également contenir des

molécules comportant au moins un atome de chlore comme par exemple hexafluorocène C3F6. De préférence, le fluide caloporteur ne comporte pas exclusivement que de l'eau.

Au cours de l'échange de chaleur dans le dispositif A, la température de l'effluent est abaissée. L'effluent refroidi sort de l'échangeur A par la ligne 2 à une température inférieure à celle qu'il avait à l'entrée de l'échangeur A. L'effluent refroidi est envoyé par la ligne 2 dans un lieu de stockage ou dans une autre unité de traitement de la raffinerie R.

Dans l'échangeur A, la chaleur cédée par l'effluent permet de vaporiser le fluide caloporteur sous pression. Le fluide caloporteur sous pression est évacué de l'échangeur de chaleur A sous forme vapeur et est envoyé par la ligne 4 dans un dispositif B mettant en œuvre un cycle de Rankine pour produire de l'électricité. Dans le dispositif B, le fluide arrivant par la ligne 4 est détendu dans une ou plusieurs turbines T. L'axe de la ou des turbines T est couplé à une génératrice d'électricité G : la rotation de l'axe de la turbine T entraîne la génératrice G pour produire de l'électricité évacué du dispositif B par la ligne électrique 5. L'électricité peut être utilisée directement dans la raffinerie ou être revendue. Le fluide caloporteur est détendu d'au moins 1 bar, de préférence au moins 2 bars, voire au moins 5 bars à travers la ou les turbines T.

Dans le dispositif B, le fluide caloporteur issu de la turbine T est refroidi dans l'échangeur de chaleur E jusqu'à être totalement liquide. Alternativement, une partie du fluide caloporteur sortant de la turbine T, de préférence entre 2 et 10% volume du fluide, peut être introduit dans l'échangeur récupérateur de chaleur ER. Dans ce cas, le fluide caloporteur refroidi dans ER, ainsi que l'autre partie du fluide directement issue de la turbine T, sont ensuite refroidis dans l'échangeur de chaleur E jusqu'à être totalement liquide. Dans l'échangeur E, le fluide caloporteur est refroidi par échange de chaleur avec un fluide réfrigérant externe, par exemple de l'air, de l'eau ou un fluide cryogénique. Le fluide caloporteur liquide issu de l'échangeur E est introduit dans la pompe P pour être comprimé, pour subir une préchauffe avant d'être recyclé dans l'échangeur A, par la ligne 3, à une pression égale à ladite pression déterminée dans l'échangeur A. Eventuellement, le fluide caloporteur comprimé par la pompe P peut être injecté dans l'échangeur récupérateur ER avant d'être introduit dans l'échangeur A par la ligne 3. Le dispositif B peut, et de façon préférée, comprendre un ou plusieurs étages en série d'un agencement en série d'une turbine T et d'un échangeur récupérateur ER. Éventuellement, le fluide caloporteur issu de la pompe P peut être refroidi dans un échangeur de chaleur avec un

fluide réfrigérant (non représenté sur la figure 1) avant d'être recyclé dans l'échangeur de chaleur A.

Sans sortir du cadre de l'invention, l'effluent d'hydrocarbures issu de la raffinerie
5 peut être refroidi au moyen de plusieurs arrangements composé d'un échangeur et d'un
cycle de Rankine similaires à l'échangeur A et au dispositif B, chacun des échangeurs
fonctionnant à différents niveaux de température. Sur la figure 1, on a représenté en plus
de l'arrangement optionnel composé de l'échangeur A et du dispositif B, un deuxième
arrangement composé de l'échangeur de chaleur A' et du dispositif B' similaire au
10 dispositif B. L'effluent d'hydrocarbures issus de l'échangeur A par la ligne 2 peut être
refroidi dans l'échangeur de chaleur A' par un deuxième fluide caloporteur arrivant par la
ligne 3'. Le fluide caloporteur refroidi est évacué par la ligne 4' pour être introduit dans le
dispositif B' mettant en œuvre un cycle de Rankine pour produire de l'électricité. Dans le
dispositif B', le fluide caloporteur est détendu dans la turbine T' couplée à la génératrice
15 G' produisant de l'électricité évacué par la ligne 5'. Le fluide caloporteur sortant de la
turbine T' passe tout ou en partie dans un échangeur récupérateur de chaleur ER'. Le
fluide caloporteur refroidi dans ER' est ensuite condensé dans l'échangeur de chaleur E'
jusqu'à être totalement liquide. Dans l'échangeur E', le fluide caloporteur est refroidi par
échange de chaleur avec un fluide réfrigérant externe, par exemple de l'air, de l'eau ou un
20 fluide cryogénique. Le fluide caloporteur liquide issu de l'échangeur E' est introduit dans
la pompe P pour être comprimé, puis injecté dans l'échangeur récupérateur ER' pour
subir une préchauffe avant d'être recyclé dans l'échangeur A', par la ligne 3, à une
pression égale à ladite pression déterminée dans l'échangeur A. Le dispositif B peut, et
de façon préférée, comprendre un ou plusieurs étages en série d'un agencement en série
25 d'une turbine T' et d'un échangeur récupérateur ER'. Éventuellement, le fluide caloporteur
issu de la pompe P peut être refroidi dans un échangeur de chaleur avec un fluide
réfrigérant (non représenté sur la figure 1) avant d'être recyclé dans l'échangeur de
chaleur A' par la ligne 3'. Dans le différent arrangement composés des éléments A et B,
et A' et B', les fluides caloporteur utilisés peuvent être les mêmes ou, alternativement, on
30 peut utiliser plusieurs fluides caloporteurs différents. L'utilisation de plusieurs
arrangements de fluides caloporteurs permet d'exploiter au maximum la chaleur
résiduelle du fluide à basse température. De plus les échangeurs de chaleur A et A'
peuvent être réunis pour former un même échangeur.

Les figures 2 et 3 schématisent deux modes de fonctionnement de l'invention avec plusieurs fluides caloporteurs.

En référence à la figure 2, l'effluent issu de la raffinerie est introduit dans l'échangeur de chaleur A1 par la ligne 11 pour être refroidi par échange de chaleur avec trois fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1. L'effluent refroidi est évacué de l'échangeur A1 par le conduit 12. Chacun des fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1 est envoyé dans le dispositif B1, similaire au dispositif représenté dans la figure 1, pour être détendu dans une ou plusieurs turbines, condensé par refroidissement, puis pompé pour atteindre une haute pression, avant d'être recyclé dans l'échangeur de chaleur A1. L'électricité produite par une ou plusieurs génératrices couplées à la ou aux turbines dans B1 est évacuée par la ligne 13.

En référence à la figure 3, l'effluent issu de la raffinerie est introduit dans l'échangeur de chaleur A2 par la ligne 21 pour être refroidi par échange de chaleur avec trois fluides caloporteurs U2, V2 et W2. L'effluent refroidi est évacué de l'échangeur A2 par le conduit 22. Chacun des fluides caloporteurs U2, V2 et W2 est envoyé dans le dispositif B2 pour être détendus dans une ou plusieurs turbines, condensé par refroidissement, puis pompé pour atteindre une haute pression, avant d'être recyclé dans l'échangeur de chaleur A2. L'électricité produite par une ou plusieurs génératrices couplées à la ou aux turbines dans B2 est évacuée par la ligne 24. L'effluent issu de l'échangeur A2 est introduit dans l'échangeur de chaleur D2 par la ligne 22 pour être refroidi par échange de chaleur avec trois fluides caloporteurs X2, Y2 et Z2. L'effluent refroidi est évacué de l'échangeur D2 par le conduit 23. Chacun des fluides caloporteurs X2, Y2 et Z2 sont envoyés dans le dispositif E2 pour être détendus dans une ou plusieurs turbines, condensé par refroidissement, puis pompé pour atteindre une haute pression, avant d'être recyclé dans l'échangeur de chaleur D2. L'électricité produite par une ou plusieurs génératrices couplées à la ou aux turbines dans E2 est évacuée par la ligne 25.

Les exemples présentés ci-après permettent d'illustrer le fonctionnement et les avantages de l'invention.

30

Exemple 1 : Procédé de l'état de l'art

Soit des gaz dit de craquage issus d'une unité de FCC (Fluid Catalytic Cracking), unité de conversion couramment utilisée en raffinerie pour produire de l'essence. Ces gaz

sont constitués principalement par de l'hydrogène, de l'eau, de l'azote, de l'hydrogène sulfuré, du méthane, éthane, éthylène, propane, propylène...

Le tableau 1 donne un exemple de composition de ces gaz craqués.

| Composés | Composition (% mol) |
|------------------|-----------------------|
| H ₂ O | 35,15 |
| N ₂ | 2,79 |
| H ₂ S | 1,73 |
| H ₂ | 2,96 |
| Méthane | 6,38 |
| Ethane | 3,20 |
| Ethylène | 3,58 |
| Propane | 2,01 |
| Propylène | 14,78 |
| Isobutane | 2,27 |
| Normal Butane | 1,13 |
| Iso-Butène | 3,50 |
| Butène-1 | 2,29 |
| Cis-Butène-2 | 2,22 |
| Trans-Butène-2 | 3,25 |
| 1,3 Butadiène | 8,99 10 ⁻⁴ |
| 20°C-50°C | 7,27 |
| 50°C-80°C | 2,68 |

5 Tableau 1 : Composition des gaz craqués ex FCC

Ces gaz d'un débit de 244,7 tonnes par heure se trouvent à une pression de 5,2 bar et à une température de 78,2°C. Afin d'être stockés, ces gaz sont refroidis dans un premier temps par de l'air à une température de 55°C et puis par de l'eau froide (30°C) à une température finale de 40°C.

10 Ce procédé utilise 906,4 tonnes d'air par heure et 485,6 tonnes d'eau par heure qui seront rejetées dans la nature pour l'air et refroidit pour l'eau. Ce procédé consomme aussi 98 kW d'électricité pour refroidir les gaz craqués.

Exemple 2 : Procédé selon l'invention

On met en œuvre le procédé de la figure 2 pour expliciter le fonctionnement et l'intérêt du procédé selon l'invention. Les gaz craqués de l'exemple 1 se trouvant à une température de 78,2°C et une pression de 5,2 bar sont amenés dans l'étape A par la ligne 11. Dans l'échangeur de chaleur A1, les gaz craqués vont être refroidis par trois fluides caloporteurs :

- un premier fluide caloporteur X1, constitué par du propane liquide à 20 bar et à 41,3°C,

- un deuxième fluide caloporteur Y1, constitué par du propane liquide à 16,4 bar et à 35,3°C,

- un troisième fluide caloporteur Z1, constitué par du propane liquide à 14,6 bar et à 30,6°C.

A l'issue de ces trois échanges de chaleur, le fluide 11 qui, initialement était à 78,2°C, ressort de l'étape A par la ligne 12 à une température de 40°C.

Les fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1 vont subir une succession de détente dans des turbines dans le dispositif B1. La puissance électrique totale nette, évacuée par la ligne 13, incluant la production des turbines de détente du propane et la consommation des pompes de mise en pression, représente 366,7 kW électrique.

Donc l'invention permet de produire 366,7 kW électrique tout en refroidissant les gaz craqués alors que le procédé de l'art antérieur consomme 98 kW électrique pour refroidir les gaz craqués.

Exemple 3 : Procédé selon l'art antérieur

Soit une coupe essence légère PI-120°C issue d'un procédé d'hydrodésulfuration se trouvant en sortie de distillation à une température de 143,6°C sous une pression de 7,6 bar. Cette essence légère d'un débit de 9,4 tonnes par heure va être refroidie dans un aéroréfrigérateur de 143,6°C à 55°C. Puis elle va être refroidie dans un échangeur par de l'eau à 29°C jusqu'à atteindre la température de 35°C.

Ce procédé va consommer 140 tonnes d'air par heure et 21 tonnes d'eau ainsi que 8,5 kW électrique pour refroidir la coupe essence légère PI-120°C à 35°C.

Exemple 4 : Procédé selon l'invention

On met en œuvre le procédé de la figure 2. En référence à la figure 2, la coupe essence légère de l'exemple 3 se trouvant à une température de 143,6°C et une pression de 7,6 bars est amenée l'échangeur de chaleur A1 par la ligne 11. Dans l'échangeur de chaleur A1, le flux va être refroidit par trois fluides caloporteur :

- un premier fluide caloporteur X1, constitué par du propane liquide à 18 bar et à 37,95°C,

- un deuxième fluide caloporteur Y1, constitué par du propane liquide à 15,4 bar et à 33,6°C,

- un troisième fluide caloporteur Z1, constitué par du propane liquide à 14,1 bar et à 30,4°C.

A l'issue de ces trois étapes d'échange de chaleur, le fluide qui, initialement était à 143,6°C, ressort de l'échangeur A1 par la ligne 12 à une température de 35°C.

Les fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1 vont subir une succession de détente dans des turbines dans le dispositif B1. La puissance électrique totale nette, représentée sur la figure par la ligne 13, incluant la production des turbines de détente du propane et la consommation des pompes de mise en pression, représente 43,7 kW électrique.

Donc l'invention permet de produire 43,7 kW électrique tout en refroidissant la coupe essence alors que le procédé de l'art antérieur consommait 8,5 kW électrique pour refroidir la coupe essence.

Exemple 5 : Procédé selon l'art antérieur

Soit une coupe gazole caractérisée par son intervalle de distillation 160°C-370°C issue d'un procédé d'hydrocraquage se trouvant en sortie de distillation à une température de 184°C sous une pression de 15,1 bar. Cette coupe gazole d'un débit de 120 tonnes par heure va être refroidie dans un aéroréfrigérateur de 184°C à 65°C. Puis elle va être refroidie dans un échangeur par de l'eau à 35°C jusqu'à atteindre la température de 45°C.

Ce procédé consomme 1138 tonnes d'air par heure et 111 tonnes d'eau et a une consommation électrique de 65 kW électrique, pour refroidir la coupe gazole à une température de 45°C.

Exemple 6 : Procédé selon l'invention (variante 1)

On met en œuvre le procédé de la figure 2. En référence à la figure 2, la coupe gazole de l'exemple 5 se trouvant à une température de 184°C et une pression de 15,1 bars est introduite dans l'échangeur A1 par la ligne 11. Dans l'échangeur A1, la coupe gazole est refroidie par trois fluides caloporteurs :

- un premier fluide caloporteur X1, constitué par du propane liquide à 31 bar et à 43,2°C,
- un deuxième fluide caloporteur Y1, constitué par du propane liquide à 21,9 bar et à 36,9°C,
- 10 - un troisième fluide caloporteur Z1, constitué par du propane liquide à 17,36 bar et à 30,9°C.

A l'issue de ces trois étapes d'échange de chaleur, le fluide qui, initialement était à 184°C, ressort de l'échangeur A1 par la ligne 12 à une température de 45°C.

Les fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1 subissent une succession de détente dans des turbines du dispositif B1. La puissance électrique totale nette, évacué par la ligne 13, incluant la production des turbines de détente du propane et la consommation des pompes de mise en pression, représente 674,3 kW électrique.

Donc le procédé selon l'invention permet de produire 674,3 kW électrique tout en refroidissant la coupe gazole alors que le procédé de l'art antérieur consomme 65 kW électrique pour refroidir la coupe gazole.

Exemple 7 : Procédé selon l'invention (variante 2)

On met en œuvre le procédé de la figure 2. Dans cette variante de l'invention, le fluide caloporteur est du butane. En référence à la figure 2, la coupe gazole de l'exemple 25 5 se trouvant à une température de 184°C et une pression de 15,1 bar est amenée dans l'étape A par la ligne 11. Dans l'échangeur A, la coupe gazole est refroidie par trois fluides caloporteurs :

- un premier fluide caloporteur X1, constitué par du butane liquide à 28,8 bar et à 43,7°C,
- 30 - un deuxième fluide caloporteur Y1, constitué par du butane liquide à 14,9 bar et à 30,53°C,
- un troisième fluide caloporteur Z1, constitué par du butane liquide à 10,96 bar et à 30,1°C.

A l'issue de ces trois étapes d'échange de chaleur, le fluide qui, initialement était à 184°C, ressort de l'échangeur A1 par la ligne 12 à une température de 45°C.

Les fluides caloporteurs X1, Y1 et Z1 subissent une succession de détente dans des turbines dans le dispositif B1. La puissance électrique totale nette, évacuée par la ligne 3, incluant la production des turbines de détente du Butane et la consommation des pompes de mise en pression, représente 1737,8 kW électrique.

Donc le procédé selon l'invention permet de produire 1737,8 kW électrique tout en refroidissant la coupe gazole alors que le procédé de l'art antérieur consomme 65 kW électrique pour refroidir la coupe gazole.

10

Exemple 8 : Procédé selon l'invention (variante 3)

Dans cette variante de l'invention, on met en œuvre le procédé de la figure 3 avec deux fluides caloporteurs du méthanol et du propane. En référence à la figure 3, la coupe gazole de l'exemple 5 se trouvant à une température de 184°C et une pression de 15,1 bar est amenée dans l'étape A par la ligne 21. Dans l'échangeur A2, la coupe gazole est refroidie par trois fluides caloporteurs :

- un premier fluide caloporteur U2, constitué par du méthanol liquide à 10,3 bar et à 92,3°C,
- un deuxième fluide caloporteur V2, constitué par du méthanol liquide à 6,65 bar et à 76,4°C,
- un troisième fluide caloporteur W2, constitué par du méthanol liquide à 4,825 bar et à 60,9°C.

A l'issue de ces trois étapes d'échange de chaleur, la coupe gazole qui, initialement était à 184°C, ressort de l'échangeur A2 par la ligne 22 à une température de 106,3°C.

Les fluides caloporteurs U2, V2 et W2 subissent une succession de détente dans des turbines du dispositif B2. La puissance électrique totale nette, évacuée par la ligne 24, incluant la production des turbines de détente du méthanol et la consommation des pompes de mise en pression, représente 612 kW électrique.

La coupe gazole à 106,3°C est introduite ensuite dans l'échangeur D2 par la ligne 22. Dans l'échangeur D2, le flux 22 est refroidi par trois fluides caloporteurs :

- un premier fluide caloporteur X2, constitué par du propane liquide à 20 bar et à 41,7°C,

30

- un deuxième fluide caloporteur Y2, constitué par du propane liquide à 16,4 bar et à 35,3°C,

- un troisième fluide caloporteur Z2, constitué par du propane liquide à 14,6 bar et à 30,5°C.

5 La coupe gazole sort ensuite de l'étape D2 par la ligne 23 à une température de 45°C.

Les fluides caloporteurs X2, Y2 et Z2 subissent une succession de détente dans des turbines dans le dispositif E2. La puissance électrique totale nette, évacuée par la ligne 25, incluant la production des turbines de détente du propane et la consommation
10 des pompes de mise en pression, représente 166,8 kW électrique.

La production électrique de cette variante est la somme des productions dans les dispositifs B2 et E2, c'est-à-dire 778,9 kW électrique.

Donc le procédé selon l'invention permet de produire 778,9 kW électrique tout en refroidissant la coupe gazole alors que le procédé de l'art antérieur consommait 65 kW
15 électrique pour refroidir la coupe gazole.

REVENDEICATIONS

1) Procédé de production d'électricité, dans lequel on effectue les étapes suivantes :

- 5 a) on fournit un effluent produit par une installation de raffinage pétrolier (R), l'effluent ayant une température inférieure à 300°C,
- b) on fournit au moins un fluide caloporteur à une température inférieure à ladite température de l'effluent et à une pression déterminée de manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à ladite
- 10 température de l'effluent,
- c) on refroidit (A) ledit effluent par échange de chaleur avec ledit fluide caloporteur, le fluide caloporteur étant vaporisé durant l'échange de chaleur,
- d) on détend le fluide caloporteur vaporisé obtenu à l'étape c) dans au moins une turbine (T) entraînant une génératrice pour produire de l'électricité.

15

2) Procédé selon la revendication 1, dans lequel on effectue en outre les étapes suivantes :

- e) on condense (ER, E) le fluide caloporteur obtenu à l'étape d),
- f) on pompe (P) le fluide caloporteur obtenu à l'étape e), à une pression égale à
- 20 ladite pression déterminée à l'étape b), puis
- g) on recycle à l'étape c) le fluide caloporteur obtenu à l'étape f).

3) Procédé selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel à l'étape b), on fournit ledit fluide caloporteur à une température inférieure à 90°C et à une pression déterminée

25 de manière à ce que la température de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à 90°C,

4) Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel à l'étape b), on choisit le fluide caloporteur de manière à ce qu'il comporte une température critique supérieure à

30 la température dudit effluent à l'étape a).

5) Procédé selon la revendication 4, dans lequel ladite pression déterminée à l'étape b) est inférieure à la pression critique du fluide caloporteur.

6) Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel le fluide caloporteur comporte au moins l'un des composés suivants : un alcane comportant entre 1 et 7 atomes de carbone, un alcène comportant entre 1 et 7 atomes de carbone, un alcool, une
5 molécule comportant une fonction amine, une molécule comportant une fonction thiol, une molécule comportant au moins un atome de chlore.

7) Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel à l'étape d) la différence de pression du fluide caloporteur entre l'entrée et la sortie de la turbine (T) est
10 supérieure ou égale à 1 bar.

8) Procédé selon les revendications 1 à 7, dans lequel à l'étape b), on fournit au moins deux fluides caloporteurs, chacun des fluides ayant une température inférieure à la température de l'effluent et une pression déterminée de manière à ce que la température
15 de vaporisation dudit fluide à ladite pression est inférieure à la température de l'effluent, dans lequel à l'étape c), on refroidit ledit effluent par échange de chaleur avec lesdits fluides caloporteurs, les fluides caloporteurs étant vaporisés durant l'échange de chaleur, et dans lequel à l'étape d), on détend chacun des fluides caloporteurs vaporisés obtenu à l'étape c) dans au moins une turbine entraînant une génératrice pour produire de
20 l'électricité.

9) Procédé selon la revendication 8, dans lequel à l'étape b), lesdits deux fluides caloporteurs ont des compositions différentes.

25 10) Procédé selon l'une des revendications 8 et 9, dans lequel à l'étape b), lesdits deux fluides caloporteurs ont des températures différentes

11) Procédé selon les revendications précédentes, l'effluent est produit par une installation de raffinage pétrolier choisi parmi la liste : craquage catalytique, le
30 viscoréducteur, l'isomérisation, la polymérisation, le craquage à la vapeur, le soufflage de bitume, la cokéfaction.

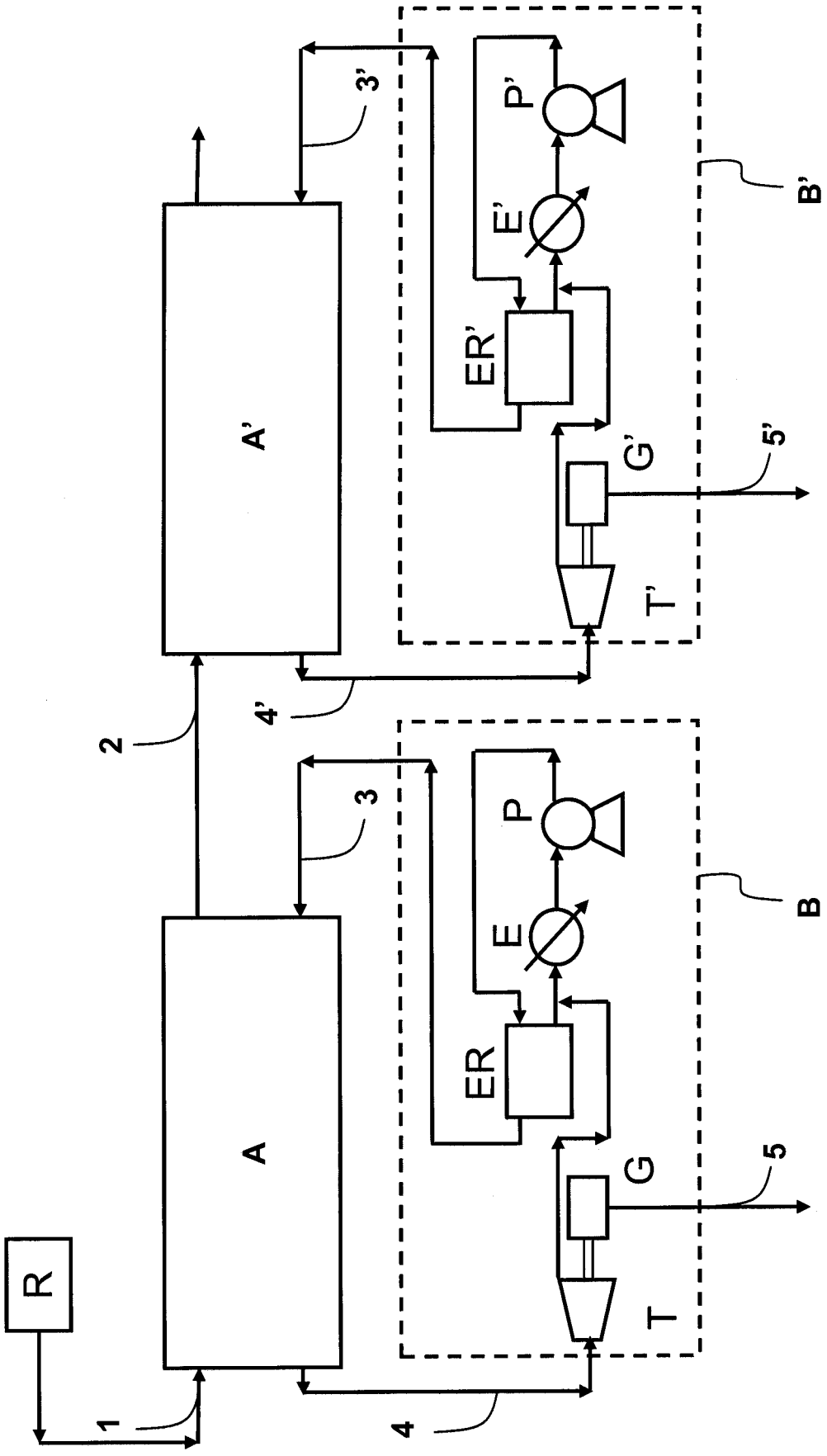


Figure 1

2/3

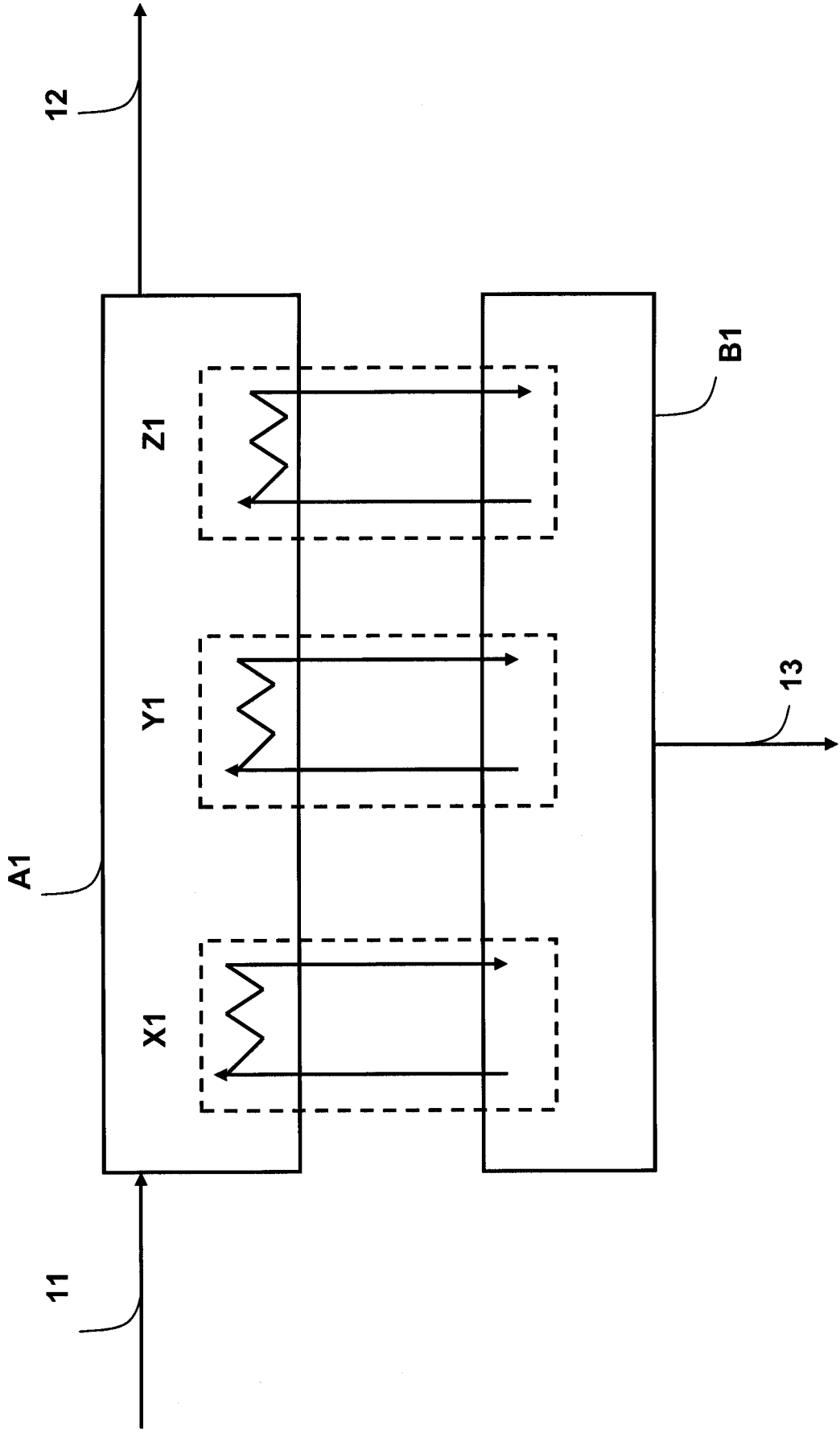


Figure 2

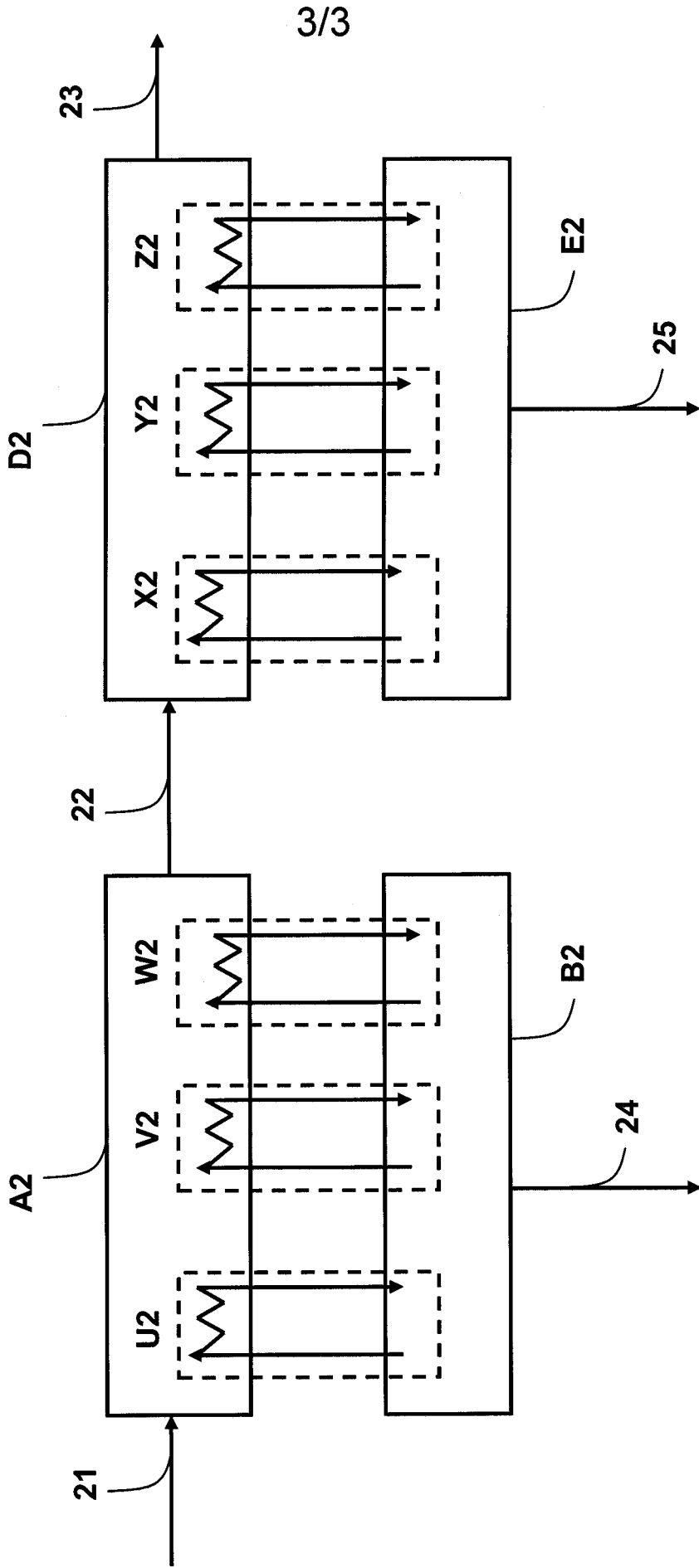


Figure 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

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

N° d'enregistrement
national

FA 767602
FR 1201449

| 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 4 109 469 A (CARSON DON B) 29 août 1978 (1978-08-29) * colonne 2, ligne 65 - colonne 5, ligne 28; figure 1 * | 1-8,10, 11 | F01K25/14 H02K7/18 |
| X | US 2012/031096 A1 (ULAS ACIKGOZ SAADET [US] ET AL) 9 février 2012 (2012-02-09) * alinéas [0027], [0028]; figure 1 * | 1 | |
| X | US 4 428 201 A (CARSON DON B [US]) 31 janvier 1984 (1984-01-31) * le document en entier * | 1 | |
| X | US 4 428 203 A (CARSON DON B [US]) 31 janvier 1984 (1984-01-31) * le document en entier * | 1 | |
| | | | DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) |
| | | | F01K |
| Date d'achèvement de la recherche | | Examineur | |
| 8 février 2013 | | Röberg, Andreas | |
| CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS | | T : théorie ou principe à la base de l'invention 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. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant | |
| X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire | | | |

1

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1201449 FA 767602**

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 **08-02-2013**

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 4109469 | A | 29-08-1978 | AUCUN | |
| US 2012031096 | A1 | 09-02-2012 | US 2012031096 A1 WO 2012021314 A2 | 09-02-2012 16-02-2012 |
| US 4428201 | A | 31-01-1984 | AUCUN | |
| US 4428203 | A | 31-01-1984 | AUCUN | |