

Brevet N° **85050** GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
 du **19 octobre 1983**
 Titre délivré : **10 MAI 1984**



Monsieur le Ministre
 de l'Économie et des Classes Moyennes
 Service de la Propriété Intellectuelle
 LUXEMBOURG

Demande de Brevet d'Invention

I. Requête

La société dite: **SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ** (1)
B.V., Carel van Bylandtlaan 30, à LA HAYE, Pays-Bas, représentée
 par **Monsieur Jacques de Muysen, agissant en qualité de man-** (2)
dataire

dépose(nt) ce **dix-neuf octobre 1900 quatre-vingt-trois** (3)
 à **15** heures, au Ministère de l'Économie et des Classes Moyennes, à Luxembourg :

1. la présente requête pour l'obtention d'un brevet d'invention concernant :
"Procédé pour la combustion du coke présent sur des particules (4)
solides et pour la production de chaleur récupérable à partir
de particules contenant des hydrocarbures et appareil pour
la mise en oeuvre de ce procédé".

2. la délégation de pouvoir, datée de **LAYE** le **12 septembre 1983**

3. la description, en langue **française** de l'invention en deux exemplaires;

4. **2** planches de dessin, en deux exemplaires;

5. la quittance des taxes versées au Bureau de l'Enregistrement à Luxembourg,

le **19 octobre 1983**

déclare(nt) en assumant la responsabilité de cette déclaration, que l'(es) inventeur(s) est (sont) :
voir au verso (5)

revendique(nt) pour la susdite demande de brevet la priorité d'une (des) demande(s) de
 (6) **brevet** déposée(s) en (7) **Grande-Bretagne**
 le **21 octobre 1982 (No. 8230131)** (8)

au nom de **la déposante**
 domicile (9)

35, bld. Royal pour lui (elle) et, si désigné, pour son mandataire, à Luxembourg (10)

sollicite(nt) la délivrance d'un brevet d'invention pour l'objet décrit et représenté dans les
 annexes susmentionnées, — avec ajournement de cette délivrance à **6** mois. (11)
 Le **mandataire**

II. Procès-verbal de Dépôt

La susdite demande de brevet d'invention a été déposée au Ministère de l'Économie et des
 Classes Moyennes, Service de la Propriété Intellectuelle à Luxembourg, en date du :

19 octobre 1983

à **15** heures



Pr. le Ministre
 de l'Économie et des Classes Moyennes,
 p. d.

A. 68007

(1) Nom, prénom, firme, adresse — (2) s'il a lieu «représenté par...» agissant en qualité de mandataire — (3) date du dépôt
 en toutes lettres — (4) titre de l'invention — (5) noms et adresses — (6) brevet, certificat d'addition, modèle d'utilité — (7)
 pays — (8) date — (9) déposant originaire — (10) adresse — (11) 6, 12 ou 18 mois.

- Heinz VOETTER, Carel van Bylandtlaan 3o, à 2596 HR LA HAYE, Pays-Bas
- Richard Charles DARTON, Carel van Bylandtlaan 3o, à 2596 HR LA HAYE, Pays-Bas
- Hubrecht Cornelis Antonie VAN MEURS, Carel van Bylandtlaan 3o, à 2596 HR LA HAYE, Pays-Bas
- Rajamani KRISHNA, Carel van Bylandtlaan 3o, à 2596 HR LA HAYE, Pays-E

DECLARATION DE LA PRIORITE

de la demande de brevet / *de l'application/du dépôt*

En GRANDE-BRETAGNE

Du 21 octobre 1982

Mémoire Descriptif

déposé à l'appui d'une demande de

BREVET D'INVENTION

au

Luxembourg

au nom de : SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V.

pour : "Procédé pour la combustion du coke présent sur des particules solides et pour la production de chaleur récupérable à partir de particules contenant des hydrocarbures et appareil pour la mise en oeuvre de ce procédé".

La présente invention concerne un procédé pour la combustion du coke présent sur des particules solides dont les hydrocarbures ont été sensiblement éliminés par chauffage. Elle concerne aussi un procédé pour la production
5 de chaleur récupérable à partir de particules solides contenant des hydrocarbures. Elle concerne aussi un appareil utilisable pour la mise en oeuvre de ces procédés.

Il est bien connu que des hydrocarbures peuvent être séparés d'une matière contenant des hydrocarbures, comme
10 du schiste bitumineux, du sable asphaltique et du charbon, en chauffant des particules de cette matière à une température d'au moins 400°C en l'absence quasi-complète d'oxygène libre, et en recueillant les hydrocarbures séparés. Dans le cas de schiste bitumineux, ce procédé est appelé
15 habituellement distillation à la cornue, et dans le cas de charbon il est appelé pyrolyse.

Dans un certain nombre de procédés connus différents, le chauffage des particules est effectué par échange de chaleur avec un milieu chauffant. Un tel milieu chauffant
20 peut être, par exemple, un milieu solide constitué de particules inertes qui sont chauffées dans un récipient séparé et que l'on fait circuler ensuite à travers les récipients dans lesquels les hydrocarbures sont séparés. Du sable ou des fragments de matière céramique peuvent
25 être utilisés à cet effet.

Certains des procédés connus de distillation à la cornue tirent parti du fait que la matière usée, c'est-à-dire la matière après élimination des hydrocarbures, contient des quantités appréciables de coke. Il a donc été
30 proposé de produire la chaleur nécessaire pour la distillation à la cornue par combustion complète ou partielle de ce coke pour produire une matière usée chaude. Cette matière usée chaude peut être utilisée comme milieu chauffant dans la distillation à la cornue.

35 On peut conduire la combustion en maintenant les particules solides dans un état fluidisé. Dans un appareil de

combustion à lit fluidisé, la surface de section est déterminée par le gaz contenant de l'oxygène nécessaire et la plus grande vitesse possible de gaz sans entraînement des particules. Cela signifie que l'on doit utiliser un
5 appareil de combustion de grandes dimensions. De plus, quand on utilise une hauteur de lit convenable dans la pratique, la chute de pression dans le lit dense est grande, ce qui augmente considérablement les coûts des compresseurs. La durée de séjour des particules dans
10 un appareil de combustion à lit fluidisé est longue, de sorte que des réactions secondaires indésirables peuvent se produire. Dans le cas de la combustion de schiste bitumineux usé contenant du carbonate de calcium, une décomposition endothermique du carbonate peut se produire, ce
15 qui a un effet nuisible sur le rendement thermique du procédé.

La combustion peut aussi être effectuée dans un appareil de combustion à colonne montante, où la matière usée est déplacée de bas en haut par un gaz contenant de
20 l'oxygène. Cette technique a été largement préconisée. Elle présente, toutefois, l'inconvénient qu'une colonne montante très haute est nécessaire pour que l'on obtienne le degré désiré de combustion du coke, ce qui pose des problèmes de construction et conduit à des coûts élevés. De plus,
25 pour maintenir une opération appropriée dans une colonne montante, celle-ci est limitée à un diamètre maximal de l'ordre de 1,5 m, de sorte que pour une installation assez importante une multiplicité de telles colonnes montantes, en parallèle, serait nécessaire. De plus, l'incorporation de
30 surfaces d'échange de chaleur dans les colonnes montantes dans les cas où un excès de chaleur est produit est gênante.

Un but de l'invention est de fournir un procédé pour la combustion de matière usée, procédé dans lequel la chute de pression est bien moindre que dans un appareil de combustion à lit fluidisé classique, le réglage des températures
35

est facile et la durée de séjour des particules est courte. L'équipement pour un tel procédé ne doit pas poser de problèmes de construction ni entraîner des coûts élevés comme dans le cas d'un appareil de combustion à colonne montante.

5

C'est un but supplémentaire de l'invention de fournir un procédé pour la combustion de particules solides contenant des hydrocarbures et pour la récupération de la chaleur ainsi produite. La chaleur ainsi récupérée peut être utilisée pour la production de vapeur d'eau pour des centrales énergétiques.

10

L'invention concerne donc un procédé pour la combustion de coke présent sur des particules solides dont les hydrocarbures ont été sensiblement éliminés par chauffage, dans une série d'au moins deux étages de combustion, comprenant les étapes suivantes :

15

a) on fait arriver les particules solides dans le premier étage de combustion de la série par une entrée située près du fond ;

20

b) on introduit un gaz contenant de l'oxygène dans le fond de chaque étage de combustion, de façon qu'au moins une partie des particules soient entraînées vers une sortie située plus haut et qu'au moins une partie du coke sur les particules soit brûlée, donnant un gaz de combustion ;

25

c) on fait passer les particules et le gaz de combustion provenant de la sortie supérieure de chaque étage de combustion dans un étage de séparation suivant chaque étage de combustion ;

30

d) on sépare le gaz de combustion des particules dans chaque étage de séparation, on décharge le gaz de combustion au sommet et on évacue les particules au fond de l'étage de séparation ;

35

e) on introduit au moins une partie des particules évacuées par une entrée située près du fond dans l'étage

de combustion suivant l'étage de séparation, et on commence ainsi une nouvelle séquence sensiblement la même que dans (a) à (d), au moins une partie des particules évacuées de la dernière zone de séparation étant déchargées.

5 La chute de pression sur chaque étage de combustion est assez faible en raison d'un lit moins dense que dans un appareil de combustion à lit fluidisé classique. Les réacteurs contenant les étages de combustion ne sont pas aussi volumineux qu'un appareil de combustion à lit fluidisé classique ou aussi hauts qu'un appareil de combustion
10 à colonne montante. La quantité totale de matières solides dans les réacteurs est donc plus petite que dans le cas des appareils de combustion classiques mentionnés. Cela rend relativement facile la construction des présents
15 réacteurs et aussi des séparateurs contenant les étages de séparation. L'équipement pour le procédé selon l'invention peut être léger et moins coûteux, et de nombreuses unités de combustion parallèles, comme dans le cas des
20 appareils de combustion à colonne montante, peuvent être évitées, même dans des installations très importantes.

L'installation de surfaces d'échange de chaleur dans les réacteurs et les séparateurs, chaque fois que c'est approprié, peut être effectuée facilement.

25 La température dans chaque étage de combustion peut être réglée de sorte qu'on peut obtenir une combustion optimale. La température est réglée par la variation possible dans le débit du gaz contenant de l'oxygène arrivant à chaque étage de combustion, et ainsi dans la production de chaleur dans chaque étage de combustion. Les durées de
30 séjour des particules dans les étages de combustion sont courtes, et néanmoins une combustion complète du coke peut être obtenue en raison d'un bon réglage de la conversion du coke au moyen d'un bon réglage des températures et par le degré d'échelonnement obtenu.

35 Le nombre préféré d'étages de combustion dépend de la

quantité de coke présente sur les particules solides et du niveau requis de conversion du coke par combustion. Quand on désire une haute conversion du coke, on utilisera avantageusement un plus grand nombre d'étages de combustion. D'un point de vue économique, on utilisera de préférence au maximum 5 étages de combustion. On utilise deux étages de combustion quand la quantité de coke sur les particules solides est relativement petite, ou quand un degré modéré de conversion du coke est acceptable. En général, on utilise de préférence 2 à 5 étages de combustion en série.

Quand on utilise un seul étage de combustion, seulement une partie du coke présent sur les particules est brûlée.

Dans ce cas, on pourrait améliorer la conversion du coke en recyclant une partie du courant de sortie de l'appareil de combustion, qui contiendra encore du coke, à l'entrée de l'appareil de combustion. Toutefois, il en résulterait un appareil de combustion très volumineux, car tout le gaz contenant de l'oxygène nécessaire pour la combustion serait introduit dans cette seule unité. De plus, le réglage des températures pendant la combustion serait moins flexible que dans le cas où on utilise plus d'un étage de combustion, où on peut effectuer ce réglage en faisant varier la proportion de gaz introduite dans les étages.

La teneur en coke des particules solides dont on a recueilli les hydrocarbures par chauffage est comprise en général entre 1 et 12 % en poids.

En raison d'un bon échange de chaleur entre le gaz et les particules solides dans les étages de combustion, il n'y a pas d'endroits surchauffés présents. La température dans les étages de combustion peut être réglée au moyen de la quantité d'oxygène introduite dans chaque étage de combustion. On peut effectuer le réglage en faisant varier la concentration de l'oxygène dans le gaz ou le débit du gaz

contenant de l'oxygène. Néanmoins, il peut arriver qu'une trop grande quantité de chaleur se dégage, par exemple quand une grande quantité de coke est présente sur les particules. Dans ce cas, les étages de combustion sont de
5 préférence refroidis au moyen d'un système de refroidissement. Le système de refroidissement comprend habituellement des tubes de refroidissement qui sont attachés à la paroi intérieure du récipient à combustion et dans lesquels on fait passer un fluide de refroidissement,
10 comme de l'eau ou de la vapeur d'eau.

Après que les hydrocarbures en ont été éliminés, les particules solides peuvent avoir des grosseurs comprises dans un large intervalle de distribution. Cela signifie que généralement aussi des particules assez grossières
15 (c'est-à-dire des particules d'un diamètre de plus de 1 mm) sont présentes dans le premier étage de combustion, qui peuvent ne pas être entraînées par le gaz. Afin d'éviter une accumulation de particules grossières dans le premier étage de combustion, elles sont de préférence déchargées
20 du premier étage de combustion par une sortie pour particules solides près du fond. En empêchant ces particules de rester dans l'étage de combustion pendant un temps trop long, certaines réactions secondaires telles que la décomposition (endothermique) du carbonate se produisent seu-
25 lement dans une mesure limitée, ce qui évite un effet nuisible important sur le rendement thermique d'ensemble.

La distribution des grosseurs de particules peut aussi être telle que pratiquement pas de particules grossières ne soient présentes. Les particules solides dans ce
30 cas peuvent être entraînées par le gaz si rapidement que le coke présent sur ces particules ne soit pas suffisamment brûlé. Il sera avantageux dans ce cas de recycler une partie des particules évacuées du fond de l'étage de séparation à l'étage de combustion précédent et d'introduire
35 cette partie des particules évacuées dans ledit étage à un

niveau au-dessus de l'entrée de la quantité supplémentaire de gaz contenant de l'oxygène comme on l'expliquera ci-après. Le recyclage d'une partie des particules évacuées à l'étage de combustion précédent offre une autre possibilité pour régler la combustion du coke en augmentant la durée de séjour des particules dans l'étage de combustion concerné. Les particules grossières peuvent en particulier être absentes dans les étages suivant le premier étage de combustion parce que par combustion les particules solides peuvent se désagréger en particules fines comme on l'expliquera ci-après. Dans un tel cas, le recyclage partiel de particules solides à l'étage de combustion précédent peut être particulièrement avantageux dans la mise en oeuvre du procédé de la présente invention.

D'après ce qui précède, il est évident que suivant la distribution des grosseurs de particules, on utilisera un recyclage partiel de particules solides ou, dans le cas où des particules suffisamment grosses sont présentes et restent présentes pour le ou les étages de combustion suivants, on n'utilisera pas de recyclage du tout.

Les particules grossières peuvent être éliminées du système, mais comme elles peuvent contenir encore un peu de coke, il est souhaitable de brûler le reste du coke. A cet effet, on peut les faire passer à une zone de combustion séparée, comprenant par exemple un appareil de combustion à lit fluidisé classique ou un four. De préférence, on les maintient dans le système et on les fait passer au second étage de combustion. Pour les particules grossières dans le second étage, il en est de même que pour celles dans le premier étage. Ainsi, elles sont de préférence maintenues dans le second étage de combustion relativement peu de temps et sont passées à un étage de combustion suivant. Ainsi, le second étage de combustion comporte aussi une sortie près du fond pour les particules grossières. Après combustion dans le second étage de combustion, les particules grossières sont déchargées de cet étage de combustion.

Elles peuvent être évacuées du système, mais elles sont de préférence passées à l'étage de combustion suivant de façon à brûler la majeure partie du coke qu'elles contiennent (encore). Elles sont évacuées du système après
5 avoir été déchargées du dernier étage de combustion. Donc, les particules grossières sont de préférence déchargées d'un étage de combustion par une sortie pour particules solides près du fond et sont passées à partir de chaque étage de combustion, sauf le dernier, à l'étage
10 de combustion suivant, les particules grossières déchargées du dernier étage de combustion étant évacuées du système.

Les particules grossières évacuées sont avantageusement combinées avec les particules évacuées du dernier étage de séparation. De la manière décrite, la majeure
15 partie du coke des particules grossières est brûlée, tandis que des réactions secondaires se produisent seulement dans une mesure limitée en raison des temps de séjour relativement courts et réglés des particules grossières dans chaque étage de combustion. On prend soin que la durée
20 totale de séjour dans les étages de combustion ne soit pas trop longue.

Comme on l'a déjà spécifié, des réactions secondaires peuvent souvent se produire, entraînant la production de particules fines par désagrégation des particules solides.
25 Si les particules contiennent des carbonates, une des réactions secondaires les plus importantes concerne la décomposition des carbonates. Cette réaction est très endothermique et a donc un effet désavantageux sur les économies de chaleur. Les sables asphaltiques aussi bien
30 que le charbon peuvent contenir des minéraux qui se décomposent de manière endothermique, mais spécialement dans le schiste bitumineux des carbonates sont souvent présents en quantités considérables. La décomposition des carbonates commence à une température relativement peu élevée, mais la
35 décomposition devient importante à des températures de plus

de 800°C en combinaison avec des durées de séjour de 10 à 15 secondes ou plus. Ainsi, il est possible de prolonger la durée de séjour à des températures au-dessous de 800°C, ou en variante il est possible de porter la température à plus de 800°C en utilisant des durées de séjour plus courtes que 10 secondes. Comme une température trop basse n'est pas avantageuse pour les réactions de combustion, on ne permet pas à la température dans la procédé selon l'invention de descendre au-dessous de 500°C. Par ailleurs, à des températures de plus de 900°C, la décomposition des carbonates, s'il y en a dans les particules, se produit dans une trop large mesure, même avec des durées de séjour aussi courtes que pratiquement possible. Dans le cas où le schiste bitumineux est d'une basse teneur en carbonates, des températures de combustion plus élevées sont admissibles. Ainsi, de préférence, la température dans les étages de combustion est maintenue dans l'intervalle de 500 à 900°C. La durée de séjour utilisée dépend des teneurs en coke et en minéraux des particules solides. En raison des courtes durées de séjour, comprises généralement entre 5 et 12 secondes, on peut laisser monter les températures dans le second étage et dans les suivants au-dessus de 700°C, ce qui est avantageux pour la combustion du coke.

Un autre moyen pour limiter la décomposition des carbonates, en particulier à des endroits dans les étages de combustion où il y a des retenues de particules solides et les durées de séjour peuvent être plus longues que de l'ordre de 5 à 10 secondes à des températures assez élevées (par exemple dans les colonnes montantes des cyclones des étages de séparation intermédiaires) est de réinjecter des gaz de combustion contenant des quantités appréciables de CO₂, de manière à réduire la vitesse nette de décomposition des carbonates en oxydes et en CO₂.

Comme la décomposition des carbonates est limitée dans le procédé selon l'invention, le rendement thermique

d'ensemble du procédé est élevé.

Le gaz contenant de l'oxygène nécessaire pour la combustion peut être introduit à deux niveaux. Un courant primaire est introduit dans un étage de combustion par le fond de façon à mettre les particules dans un état sensiblement fluidisé et éventuellement à entraîner les particules vers la sortie située en haut. Un courant de gaz secondaire est de préférence passé à l'étage de combustion à un niveau plus élevé. De cette manière, la combustion par étage est effectuée en deux étapes. Il en résulte une combustion douce et cela évite des instabilités d'écoulement. Dans l'espace entre le fond d'un étage de combustion et le niveau où le courant secondaire de gaz contenant de l'oxygène est introduit, la vitesse des gaz est relativement petite. L'introduction de particules solides de la charge ou provenant d'un étage de séparation est assez simple dans cette zone. En conséquence, une quantité supplémentaire de gaz contenant de l'oxygène peut avantageusement être introduite dans chaque étage de combustion à un niveau au-dessus de l'entrée d'alimentation en particules solides.

Le gaz contenant de l'oxygène utilisé peut être choisi parmi l'air, de l'air enrichi en oxygène, de l'air appauvri en oxygène ou l'oxygène. Il est très économique d'utiliser l'air. Les courants primaire et secondaire de gaz contenant de l'oxygène peuvent avoir la même composition et peuvent être amenés par une seule canalisation d'alimentation. Ainsi, il est possible de faire passer un courant d'air par un tube d'alimentation, de diviser le courant en deux courants partiels, d'introduire un courant partiel par le fond dans un étage de combustion et de faire passer l'autre courant par au moins une entrée à un niveau plus élevé dans le même étage de combustion. Toutefois, des tubes d'alimentation différents peuvent aussi être utilisés pour les courants primaire et secondaire

de gaz contenant de l'oxygène. Des gaz ayant une teneur différente en oxygène sont utilisables aussi.

Dans les étages de séparation, on utilise de préférence des cyclones qui peuvent s'accomoder de températures modérées à élevées et qui ont une bonne capacité de séparation. D'autres séparateurs possibles sont par exemple des séparateurs à collisions. Dans un étage de séparation, on peut utiliser plusieurs séparateurs, en série ou en parallèle. Ainsi, il est approprié d'utiliser deux cyclones, le premier ayant un diamètre de particule limite correspondant à des particules assez grossières et l'autre séparant les particules plus fines du gaz de combustion. L'utilisation de deux cyclones en parallèle peut être envisagée pour des étages de combustion de très grandes dimensions de façon à maintenir les dimensions de ces cyclones dans des proportions raisonnables.

Les cyclones, ou leurs colonnes montantes, peuvent bien être refroidis. De cette manière, les particules qui quittent les cyclones pour l'étage de combustion suivant sont aussi refroidies, mais restent assez chaudes pour provoquer une bonne combustion du coke dans l'étage de combustion suivant. Elles ne sont pas si chaudes que durant la combustion dans cet étage de combustion suivant, leur température s'élève dans une mesure telle qu'une décomposition importante des carbonates se produise. Quand on utilise des cyclones refroidis, le gaz de combustion sera refroidi aussi, de la chaleur étant récupérée à partir de lui.

De préférence, la chaleur des gaz de combustion est utilisée partiellement pour préchauffer le gaz contenant de l'oxygène avant que ce dernier ne soit introduit dans l'étage de combustion. Une autre partie de la chaleur des gaz de combustion est avantageusement utilisée pour la production de vapeur d'eau.

Dans les gaz de combustion, un peu d'oxyde de carbone peut être présent en raison de l'introduction possible d'une

quantité d'oxygène inférieure à la quantité stoechiométrique dans un étage de combustion. Cela peut se produire spécialement dans les premiers étages de combustion. Pour éliminer l'oxyde de carbone avant ou après la récupération de chaleur du gaz de combustion, au moins une partie du gaz de combustion déchargé est avantageusement soumise à une post-combustion. Eventuellement, une quantité relativement petite de combustible supplémentaire peut être introduite dans un étage de post-combustion de façon que l'on obtienne une combustion contrôlée de l'oxyde de carbone.

Les particules déchargées du dernier étage de séparation sont de préférence partiellement recyclées au premier étage de combustion. Ce mode de mise en oeuvre préféré permet d'atteindre deux objectifs. Tout d'abord, les particules chaudes recyclées apportent de la chaleur au premier étage de combustion. De préférence, on recycle au premier étage de combustion assez de particules pour que la température moyenne des particules de charge et des particules recyclées soit comprise entre 500 et 700°C, de façon qu'il y ait une inflammation rapide dans le premier étage de combustion. Un peu de schiste usé, toutefois, est suffisamment réactif pour inflammation à des températures assez basses, de sorte que pour cette raison le recyclage de schiste chaud peut être omis. En deuxième lieu, les particules pourraient contenir encore du coke non brûlé. En les recyclant, on obtient une meilleure élimination du coke.

Commodément, une autre portion des particules déchargées du dernier étage de séparation est introduite pour apport de chaleur dans une zone de distillation à la cornue dans laquelle les hydrocarbures sont séparés par chauffage de matières solides contenant des hydrocarbures. Dans le cas où les matières solides contenant des hydrocarbures sont préchauffées avant la zone de distillation à la cornue, une

autre portion encore des particules déchargées chaudes du dernier étage de séparation est avantageusement utilisée pour ce prétraitement.

Le procédé tel que décrit est éminemment utilisable
5 afin de produire de la chaleur récupérable à partir de particules solides contenant des hydrocarbures, comme de schiste bitumineux d'une basse teneur en kérogène. A cet effet, les particules solides contenant des hydrocarbures sont brûlées dans une série d'au moins deux étages de
10 combustion, le procédé comprenant les étapes suivantes :

a) on introduit les particules solides dans le premier étage de combustion de la série par une entrée située près de son fond ;

b) on introduit un gaz contenant de l'oxygène dans le
15 fond de chaque étage de combustion, de manière qu'au moins une partie des particules soient entraînées vers une sortie située en haut et qu'au moins une partie des hydrocarbures des particules soit brûlée, donnant un gaz de combustion ;

c) on fait passer les particules et le gaz de com-
20 bustion arrivant par la sortie située en haut de chaque étage de combustion dans un étage de séparation qui suit chaque étage de combustion ;

d) on sépare le gaz de combustion des particules dans
chaque étage de séparation, on décharge le gaz de combustion
25 en haut de cet étage et on fait sortir les particules au fond ;

e) on récupère la chaleur du gaz de combustion déchargé par échange indirect de chaleur et on introduit au moins une partie des particules déchargées dans l'étage de combustion
30 qui suit l'étage de séparation par une entrée située près de son fond, de façon à commencer une nouvelle séquence sensiblement semblable à celle de a) à d), au moins une partie des particules sortant du dernier étage de séparation étant déchargée et leur chaleur étant récupérée par échange
35 indirect de chaleur.

Afin d'optimiser la récupération de chaleur, les étages de combustion peuvent être refroidis au moyen d'un système de refroidissement et de récupération d'énergie et dans le ou les étages de séparation ou peut utiliser un ou plusieurs cyclones, ces cyclones étant refroidis. Au moins une partie du gaz de combustion déchargé peut être utilisée pour préchauffer le gaz contenant de l'oxygène avant introduction de ce dernier dans les étages de combustion. L'autre partie du gaz de combustion déchargé peut être utilisée d'une manière classique pour produire de la vapeur d'eau au moyen d'un faisceau à convection. Egalement, les particules déchargées du dernier étage de séparation peuvent être utilisées pour la production de vapeur d'eau. Au moins une partie du gaz de combustion déchargé peut aussi être soumise à une post-combustion, de la chaleur étant récupérée à partir du gaz ainsi brûlé. Une autre partie du gaz de combustion, en particulier s'il contient une grande quantité de CO_2 , peut aussi être réinjectée dans les étages de séparation comme décrit ci-dessus.

Le procédé décrit ci-dessus pour la combustion de particules solides contenant des hydrocarbures afin de produire de la chaleur récupérable est particulièrement utilisable pour la combustion de schiste bitumineux ayant une relativement basse teneur en kérogène, c'est-à-dire moins de 12 % en poids, permettant ainsi la satisfaction des besoins pour le traitement de schistes bitumineux de qualité médiocre.

L'invention concerne aussi un appareil pour la combustion du coke présent sur des particules solides desquelles les hydrocarbures ont été éliminés par chauffage, comprenant au moins deux réacteurs de combustion en série, chaque réacteur de combustion ayant une entrée pour les particules solides près du fond, une entrée pour gaz dans le fond et une sortie en haut qui est reliée à au moins un séparateur, chaque séparateur ayant un tube de décharge

de gaz au sommet et un tube de décharge pour particules solides au fond, ce dernier tube conduisant à l'entrée pour particules solides du réacteur de combustion suivant, le tube du dernier séparateur étant un tube de décharge.

5 Un ou plusieurs des réacteurs de combustion peuvent avoir une seconde entrée pour particules solides, le séparateur ayant un tube de décharge pour particules solides qui est relié à la fois à la seconde entrée du réacteur de combustion précédent et à la première entrée
10 pour particules solides du réacteur de combustion suivant. De préférence, cette seconde entrée est située au-dessus d'une seconde entrée pour gaz près du fond du réacteur de combustion.

Le nombre de réacteurs de combustion en série est de
15 préférence de 2 à 5. Chaque réacteur de combustion peut très bien être pourvu de moyens de refroidissement. Une paroi de tube dans laquelle on fait passer un fluide de refroidissement, par exemple de l'eau et/ou de la vapeur d'eau, est très utilisable. Un dispositif de refroidissement à l'intérieur du réacteur de combustion est utili-
20 sable aussi.

Le premier réacteur de combustion comporte de préférence une sortie pour particules grossières près du fond. Les particules grossières déchargées par cette sortie sont
25 évacuées et éventuellement combinées avec les particules déchargées du dernier séparateur ou sont passées à un appareil de combustion séparé ou au second réacteur de combustion. Dans ce dernier cas, le second réacteur de combustion comporte aussi une sortie pour particules solides
30 près du fond. Les particules déchargées par cette sortie du second réacteur de combustion peuvent être transportées à tout réacteur de combustion suivant.

Le dernier réacteur de combustion comporte de préférence une sortie pour particules grossières à partir de
35 laquelle un moyen de transport conduit au tube de décharge

du dernier séparateur. Ainsi, chaque réacteur de combustion comporte de préférence une sortie pour particules grossières près du fond, à partir de laquelle un moyen de transport conduit à une entrée près du fond du réacteur de combustion suivant, le moyen de transport à partir de la dernière zone de combustion conduisant au tube de décharge du dernier séparateur. N'importe quel moyen de transport approprié peut être utilisé, par exemple un transporteur à vis, un transporteur à courroie, une pompe pour particules solides ou un tube dans lequel les particules sont passées au moyen d'un gaz vecteur.

Les réacteurs de combustion sont pourvus de préférence d'une ou plusieurs entrées pour une quantité supplémentaire de gaz contenant de l'oxygène qui avantageusement sont situées à un niveau plus élevé que l'entrée pour matières solides.

Les séparateurs sont de préférence des cyclones. Eux aussi peuvent être pourvus de moyens de refroidissement. Une bonne séparation est généralement obtenue au moyen d'un cyclone après chaque réacteur de combustion. Pour que l'on obtienne une très bonne séparation, il est approprié d'utiliser deux cyclones entre deux réacteurs de combustion successifs. La séparation est effectuée très commodément quand initialement les particules relativement grossières sont séparées et le reste des matières solides est séparé dans le second cyclone. Les particules séparées dans les deux cyclones sont combinées et passées ensemble au réacteur de combustion suivant.

L'invention va maintenant être illustrée par référence aux dessins schématiques annexés, qui illustrent le recueil d'hydrocarbures à partir de schiste bitumineux en utilisant un procédé de combustion selon l'invention, mais auquel l'invention n'est nullement limitée. Sur le dessin, on n'a pas représenté l'équipement auxiliaire, comme les pompes, les compresseurs, les vannes, les dispositifs de nettoyage et de refroidissement et les instruments régulateurs.

La figure 1 représente une installation de combustion à trois étages qui est utilisée de manière appropriée pour la combustion de particules solides qui comprennent une proportion importante de particules grossières.

5 La figure 2 représente une installation de combustion à trois étages qui est utilisée de manière appropriée pour la combustion de particules solides d'où les particules grossières sont sensiblement absentes.

10 Sur la figure 1, des particules de schiste bitumineux sont introduites à la température ambiante par une canalisation 10 dans une zone de préchauffage 1 que l'on peut faire fonctionner comme décrit dans le brevet luxembourgeois No. 84.098.

15 Du schiste chaud, dont les hydrocarbures ont été éliminés et ensuite le coke restant a été éliminé par combustion, est introduit comme milieu chauffant dans la zone de préchauffage 1 par une canalisation 25. Après passage à travers la zone de préchauffage 1, le schiste alors refroidi est déchargé par une canalisation 26.

20 Le schiste bitumineux préchauffé quitte la zone de préchauffage 1 par une canalisation 11 et est passé à une zone 2 de distillation à la cornue, que l'on peut faire fonctionner comme décrit dans le brevet luxembourgeois No. 84.097.

25 De la chaleur est fournie à la zone 2 de distillation à la cornue par du schiste chaud introduit par une canalisation 24. Les hydrocarbures enlevés au schiste bitumineux sont évacués de la zone 2 de distillation à la cornue par une canalisation 38. Les particules de schiste usé ayant du
30 coke sur elles provenant de la zone 2 de distillation à la cornue sont introduites dans un étage de combustion 3 à un endroit proche du fond par un tube d'alimentation 12. Dans le tube 12, du schiste chaud recyclé est injecté, par une canalisation 23. La plupart des particules dans l'étage de
35 combustion 3 sont entraînées vers le haut par de l'air

introduit dans l'étage 3 à travers le fond par une cana-
lisation 27 et à un niveau plus élevé par une canali-
sation 28. Cet air est introduit par une canalisation 33.
Les particules grossières qui ne sont pas entraînées sont
5 évacuées par une canalisation 15 et passées à une entrée
pour matières solides d'un étage de combustion suivant 5.
Les particules entraînées sont passées avec le gaz de
combustion produit dans une canalisation 13 et sont
séparées du gaz de combustion dans un cyclone 4. Elles
10 sont ensuite introduites dans l'étage de combustion 5
par une canalisation 14. Dans l'étage 5, une combustion
similaire à celle ayant lieu dans l'étage 3 se produit ;
de l'air est introduit par les canalisations 29 et 30, les
particules grossières sont évacuées par la canalisation
15 18 et passées à une entrée pour matières solides d'un
étage de combustion suivant 7, les particules entraînées
sont passées avec le gaz de combustion produit par une
canalisation 16 dans un cyclone 6 où les particules sont
séparées du gaz de combustion pour être passées par une
20 canalisation 17 dans le troisième étage de combustion 7.
Dans l'étage 7, une combustion similaire à celle décrite à
propos des étages 3 et 5 est effectuée. De l'air introduit
à deux niveaux par les canalisations 31 et 32 élimine des
particules par combustion le coke restant. Les particules
25 grossières sont évacuées par une canalisation 21. Les par-
ticules entraînées sont passées par une canalisation 19
dans un cyclone 8, où les particules sont séparées du gaz
de combustion produit. Elles sont évacuées par une cana-
lisation 20 et, après avoir été combinées avec les parti-
30 cules grossières provenant de la canalisation 21, sont
recyclées par une canalisation 22. Si on le désire, les
particules évacuées par la canalisation 20 et les parti-
cules grossières provenant de la canalisation 21 peuvent
être recyclées séparément et/ou déchargées.

35 Le gaz de combustion provenant des cyclones 4, 6 et 8

est déchargé par les canalisations 34, 35 et 36, respectivement, et combiné dans une canalisation 37. Si nécessaire, les gaz chauds peuvent être soumis à une post-combustion et à un échange de chaleur (non représenté) avec l'air devant être introduit dans la canalisation 33.

Le schiste chaud déchargé de la canalisation 22 est partiellement recyclé à l'étage de combustion 3 par passage d'une partie de ce schiste par la canalisation 23 dans la canalisation 12 d'alimentation en schiste. Une autre partie du schiste chaud est utilisée comme milieu chauffant dans la zone 2 de distillation à la cornue et est introduite dans cette zone par la canalisation 24. Le reste du schiste usé chaud est passé à la zone de préchauffage 1 par la canalisation 25. Le schiste usé chaud dans la canalisation 25 peut éventuellement être refroidi dans le refroidisseur 9 avant d'être introduit dans la zone de préchauffage 1.

Sur la figure 2, les éléments correspondants sont désignés par les mêmes références. Le schéma de circulation représenté est particulièrement utilisable pour le traitement de particules solides qui ne contiennent pas de particules grossières ou pour le traitement de particules solides qui se désagrègent durant la combustion de sorte qu'après la première zone de combustion 3 il ne reste pratiquement pas de particules grossières. Toutes particules grossières s'accumulant dans le fond de cet étage de combustion peuvent être évacuées (périodiquement) par une canalisation 40. Les particules évacuées de l'étage de séparation 6 sont partiellement introduites dans l'étage de combustion suivant 7 par une canalisation 17b et partiellement réintroduites dans l'étage de combustion précédent 5 par une canalisation 17a à un niveau au-dessus de l'entrée pour l'air secondaire arrivant par la canalisation 30.

D'une manière similaire, une partie des particules évacuées de l'étage de séparation 8 est partiellement

recyclée à l'étage de combustion précédent 7 par une canalisation 20a pour assurer une combustion complète de tout coke restant sur les particules solides fines. L'autre partie des particules solides est évacuée par une canalisation 20b et recyclée par la canalisation 22 pour introduction dans la zone 2 de distillation à la cornue pour utilisation comme source de chaleur dans la zone de préchauffage 1 comme décrit ci-dessus.

Pour la combustion de particules solides très fines, on peut envisager de modifier le schéma ci-dessus en réintroduisant une partie des particules solides évacuées de l'étage de séparation 4 dans la zone précédente 3 d'une manière telle que décrite pour les particules évacuées de l'étage de séparation 6. Sur la figure 2, cette possibilité est représentée par la ligne 14a formée de tirets.

Exemple 1

Le procédé décrit avec référence à la figure 1 est mis en oeuvre de manière continue dans les conditions suivantes :

20 Particules de schiste bitumineux

Composition initiale :

eau	:	8,3 % en poids
matière organique	:	19,2 % en poids
substances minérales	:	72,5 % en poids

25 Zone de préchauffage

Charge fraîche de schiste : 58 kg/s

Température initiale des particules de schiste : 25°C

Température finale des particules de schiste : 250°C

Zone de distillation à la cornue

30 Température du schiste recyclé chaud : 850°C

Débit d'alimentation en schiste préchauffé : 53,2 kg/s

Hydrocarbures recueillis : 7,05 kg/s

Zone de combustion

35 En provenance de l'étage de 2 de distillation à la cornue, on fait arriver 86,0 kg/s de schiste usé ayant une

température de 482°C. La teneur en coke de ce schiste est de 6,1 % en poids. Par la canalisation 23, on fait arriver 19,5 kg/s de schiste recyclé à 850°C que l'on combine avec le schiste dans la canalisation 12. La teneur en coke de ce schiste recyclé est de 2,9 % en poids. La combinaison donne une charge pour l'étage de combustion 3 de 105,5 kg/s de schiste contenant 5,5 % en poids de coke avec une température de 550°C.

On conduit le procédé de combustion dans les conditions indiquées ci-après dans le Tableau I.

TABLEAU I

Réacteur N°	Particules fines entraînées, kg/s (courant N°)	Particules grossières évacuées près du fond, kg/s (courant N°)	par le fond, kg/s	Air introduit à un niveau plus élevé, kg/s	Tempé- rature °C	Teneur en coke du schiste déchargé, % en poids
3	91,6 (13)	9,6 (15)	3,9	14,3	705	4,4
5	88,3 (16)	9,3 (18)	3,9	10,2	804	3,6
7	85,5 (19)	9,0 (21)	3,9	7,0	850	2,9

Le schiste chaud déchargé par les canalisations 20 et 21 est combiné. On en utilise une partie (39,9 kg/s) dans la zone de distillation à la cornue, une autre partie (19,5 kg/s) est injectée dans la canalisation 12 et le reste (35,1 kg/s) est utilisé dans la zone de préchauffage du procédé.

Exemple 2

Le procédé est mis en oeuvre sensiblement comme décrit dans l'exemple 1, mais sans recyclage de schiste chaud usé au premier étage de combustion. (Sur la figure : la canalisation 23 n'est pas utilisée ou est absente). Un procédé selon cet exemple est applicable si le schiste ayant subi la distillation à la cornue peut être enflammé facilement.

Le procédé est mis en oeuvre de manière continue dans les conditions suivantes :

Particules de schiste bitumineux

Composition initiale :

eau	: 8,3 % en poids
matière organique	: 19,2 % en poids
substances minérales	: 72,5 % en poids

Zone de préchauffage

Charge fraîche de schiste : 58 kg/s
Température initiale des particules de schiste : 25°C
Température finale des particules de schiste : 250°C

Zone de distillation à la cornue

Température du schiste recyclé chaud : 850°C
Débit d'alimentation en schiste préchauffé : 53,2 kg/s
Hydrocarbures recueillis : 7,05 kg/s

Zone de combustion

En provenance de la zone 2 de distillation à la cornue, on fait arriver 86,2 kg/s de schiste usé ayant une température de 482°C. La teneur en coke de ce schiste est de 5,6 % en poids. On introduit ce schiste dans l'étage de combustion 3.

On conduit le procédé de combustion dans les conditions indiquées ci-après dans le Tableau II.

TABLEAU II

Réacteur N°	Particules fines entraînées, kg/s (courant N°)	Particules grossières évacuées près du fond, kg/s (courant N°)	Air introduit par le fond, kg/s	à un niveau plus élevé, kg/s	Tempé- rature, °C	Teneur en coke du schiste déchargé, % en poids
3	70,6 (13)	9,6 (15)	3,9	19,7	723	3,9
5	66,6 (16)	9,1 (18)	3,9	11,4	813	2,7
7	63,5 (19)	8,7 (21)	3,9	6,1	850	1,9

On combine le schiste chaud déchargé par les canalisations 20 et 21. On en utilise une partie (40,0 kg/s) dans la zone de distillation à la cornue et on utilise le reste (32,2 kg/s) dans la zone de préchauffage du procédé.

5 Exemple 3

On met en oeuvre le procédé de combustion selon la figure 2. Comme le schiste bitumineux après la distillation à la cornue est constitué principalement de particules très fines (moins de 0,05 mm), on effectue un recyclage de schiste bitumineux à chaque étage individuel. Cela signifie que sur la figure 2 la canalisation 14a est présente. En provenance de la zone 2 de distillation à la cornue, on fait arriver 86,2 kg/h de schiste usé ayant une température de 482°C. La teneur en coke de ce schiste qui est introduit dans l'étage de combustion 3 est de 5,6 % en poids.

On met en oeuvre le procédé de combustion dans les conditions indiquées ci-après dans le Tableau III. Pour permettre les débits plus importants dont il s'agit, on utilise plusieurs cyclones en parallèle dans les étages de séparation 4, 6 et 8 respectifs.

Le schiste usé chaud est déchargé par la canalisation 20b à raison de 72,2 kg/s et est partiellement introduit dans la zone de distillation à la cornue (40,1 kg/s) et partiellement introduit dans la zone de préchauffage (32,1 kg/s).

TABLEAU III

Réacteur N°	Courant de charge, kg/s (courant N°)	Courant recyclé, kg/s (courant N°)	Air introduit par le fond, kg/s	à un niveau plus élevé, kg/s	Tempé- rature, °C	Teneur en coke du schiste déchargé, % en poids
3	86,2 (12)	215,5 (14a)	3,9	19,7	726	3,8
5	75,7 (14b)	151,4 (17a)	3,9	11,4	819	2,6
7	72,2 (17b)	117,0 (20a)	3,9	6,1	850	1,9

REVENDEICATIONS

1. Un procédé pour la combustion du coke présent sur des particules solides dont les hydrocarbures ont été sensiblement éliminés par chauffage, dans une série d'au moins deux étages de combustion, comprenant les étapes suivantes :

5

a) on fait arriver les particules solides dans le premier étage de combustion de la série par une entrée située près du fond ;

10

b) on introduit un gaz contenant de l'oxygène dans la fond de chaque étage de combustion, de façon qu'au moins une partie des particules soient entraînées vers une sortie située en haut et qu'au moins une partie du coke sur les particules soit brûlée, donnant un gaz de combustion ;

15

c) on fait passer les particules et le gaz de combustion provenant de la sortie supérieure de chaque étage de combustion dans un étage de séparation suivant chaque étage de combustion ;

20

d) on sépare le gaz de combustion des particules dans chaque étage de séparation, on décharge le gaz de combustion au sommet de l'étage et on évacue les particules au fond ;

25

e) on introduit au moins une partie des particules évacuées dans l'étage de combustion suivant situé après l'étage de séparation par une entrée située près du fond, et on commence ainsi une nouvelle séquence sensiblement la même que dans (a) à (d), au moins une partie des particules évacuées du dernier étage de séparation étant déchargées.

30

2. Un procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'on utilise 2 à 5 étages de combustion en série.

3. Un procédé selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que les étages de combustion sont refroidis au moyen d'un système de refroidissement.

4. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les particules grossières sont déchargées du premier étage de combustion par une sortie pour matières solides située près du fond.

5 5. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que des particules grossières sont déchargées d'un étage de combustion par une sortie pour matières solides située près du fond et sont passées à
10 à l'étage de combustion suivant, les particules grossières déchargées du dernier étage de combustion étant évacuées du système.

6. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'on recycle au premier étage de combustion une partie des particules déchargées du dernier
15 étage de séparation.

7. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'on recycle à l'étage de combustion précédent une partie des particules évacuées.

20 8. Un procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce que les particules recyclées sont introduites dans l'étage de combustion à un niveau au-dessus d'une entrée pour une quantité supplémentaire de gaz contenant de l'oxygène dans l'étage de combustion.

25 9. Un procédé selon l'une des revendications 6 à 8, caractérisé en ce que la température moyenne des particules solides (de charge) et des particules recyclées au premier étage de combustion est comprise entre 500 et 700°C.

30 10. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que la température dans les étages de combustion est comprise entre 500 et 900°C.

35 11. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce qu'une quantité supplémentaire de gaz contenant de l'oxygène est introduite dans chaque étage de combustion à un niveau au-dessus de l'entrée pour particules solides.

12. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le gaz contenant de l'oxygène est de l'air.

5 13. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce qu'on utilise un ou plusieurs cyclones dans l'étage ou les étages de séparation.

14. Un procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce que les cyclones sont refroidis.

10 15. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 14, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz de combustion déchargé est utilisée pour production de vapeur d'eau.

15 16. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz de combustion déchargé est utilisée pour préchauffer le gaz contenant de l'oxygène avant introduction de ce dernier dans les étages de combustion.

20 17. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz de combustion déchargé est ré-injectée dans un ou plusieurs des étages de séparation.

25 18. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce qu'au moins une partie des particules déchargées du dernier étage de séparation est introduite comme agent chauffant dans une zone de distillation à la cornue dans laquelle des hydrocarbures sont extraits de matières solides contenant des hydrocarbures par chauffage.

30 19. Un procédé selon l'une des revendications 1 à 18, caractérisé en ce qu'au moins une partie des particules déchargées du dernier étage de séparation est utilisée pour préchauffer des matières solides contenant des hydrocarbures.

35 20. Un procédé pour la production de chaleur récupérable à partir de particules solides contenant des hydrocarbures par combustion dans une série d'au moins deux

étages de combustion, comprenant les étapes suivantes :

a) on fait arriver les particules solides dans le premier étage de combustion de la série par une entrée située près de son fond ;

5 b) on introduit un gaz contenant de l'oxygène dans le fond de chaque étage de combustion, de façon qu'au moins une partie des particules soient entraînées vers une sortie située en haut et qu'au moins une partie des hydrocarbures des particules soit brûlée, donnant un gaz de combustion ;

10 c) on fait passer les particules et le gaz de combustion arrivant par la sortie située en haut de chaque étage de combustion dans un étage de séparation qui suit chaque étage de combustion ;

15 d) on sépare le gaz de combustion des particules dans chaque étage de séparation, on décharge le gaz de combustion en haut de cet étage et on fait sortir les particules au fond ;

20 e) on récupère la chaleur du gaz de combustion déchargé par échange indirect de chaleur et on introduit au moins une partie des particules déchargées dans l'étage de combustion qui suit l'étage de séparation par une entrée située près de son fond, de façon à commencer une nouvelle séquence sensiblement semblable à celle de a) à d), au moins une partie des particules sortant du dernier étage de séparation étant
25 déchargée et leur chaleur étant récupérée par échange indirect de chaleur.

21. Un procédé selon la revendication 20, caractérisé en ce que les étages de combustion sont refroidis au moyen d'un système de refroidissement.

30 22. Un procédé selon l'une des revendications 20 et 21, caractérisé en ce qu'on utilise un ou plusieurs cyclones dans l'étage ou les étages de séparation, ces cyclones étant refroidis.

35 23. Un procédé selon l'une des revendications 20 à 22, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz de combustion

déchargé est utilisée pour préchauffer le gaz contenant de l'oxygène avant introduction de ce gaz dans les étages de combustion.

5 24 - Un procédé selon l'une des revendications 20 à 23, caractérisé en ce qu'au moins une partie du gaz de combustion déchargé est soumise à une post-combustion, de la chaleur étant récupérée à partir du gaz ainsi brûlé.

10 25 - Un appareil pour la production de chaleur récupérable à partir de particules solides contenant des hydrocarbures et pour la combustion du coke présent sur des particules solides desquelles les hydrocarbures ont été extraits par chauffage, comprenant au moins deux réacteurs de combustion (3,5,7)
15 en série, chaque réacteur de combustion ayant au moins une entrée pour particules solides près du fond, une entrée (27,29,31) pour gaz dans le fond et une sortie en haut qui est reliée à au moins un séparateur (4,6,8), chaque séparateur ayant un tube de décharge de gaz
20 (34,35,36) au sommet et un tube de décharge (14,17,20) pour particules solides au fond, ce dernier tube conduisant à l'entrée pour particules solides du réacteur de combustion suivant, le tube du dernier séparateur étant un tube de décharge.

25 26 - Un appareil selon la revendication 25, caractérisé en ce qu'un ou plusieurs des réacteurs de combustion ont une seconde entrée pour particules solides et le séparateur a un tube de décharge (14,17,20) pour particules solides qui est relié à la
30 fois à la seconde entrée (14a,17a,20a) du réacteur de combustion précédent et à la première entrée (14b,17b) pour particules solides du réacteur de combustion suivant.

35 27 - Un appareil selon la revendication 26, caractérisé en ce que la seconde entrée (14a,17a,20a) est située au-dessus d'une seconde entrée (28,30,32)

pour gaz près du fond du réacteur de combustion.

28 - Un appareil selon la revendication 27, caractérisé en ce qu'il comprend 2 à 5 réacteurs de combustion en série.

5 29 - Un appareil selon l'une des revendications 25 à 28, caractérisé en ce que chaque réacteur de combustion est pourvu d'un moyen de refroidissement.

10 30 - Un appareil selon l'une des revendications 25 à 29, caractérisé en ce que le premier réacteur de combustion est pourvu d'une sortie 40 pour particules grossières près du fond.

15 31 - Un appareil selon l'une des revendications 25 à 30, caractérisé en ce qu'un réacteur de combustion 3 est pourvu d'une sortie 40 pour particules grossières près du fond, à partir de laquelle un moyen de transport conduit à une entrée près du fond du réacteur de combustion suivant, le moyen de transport à partir du dernier réacteur de combustion
20 conduisant au tube de décharge du dernier séparateur.

32 - Un appareil selon l'une des revendications 25 à 31, caractérisé en ce que les séparateurs sont des cyclones.

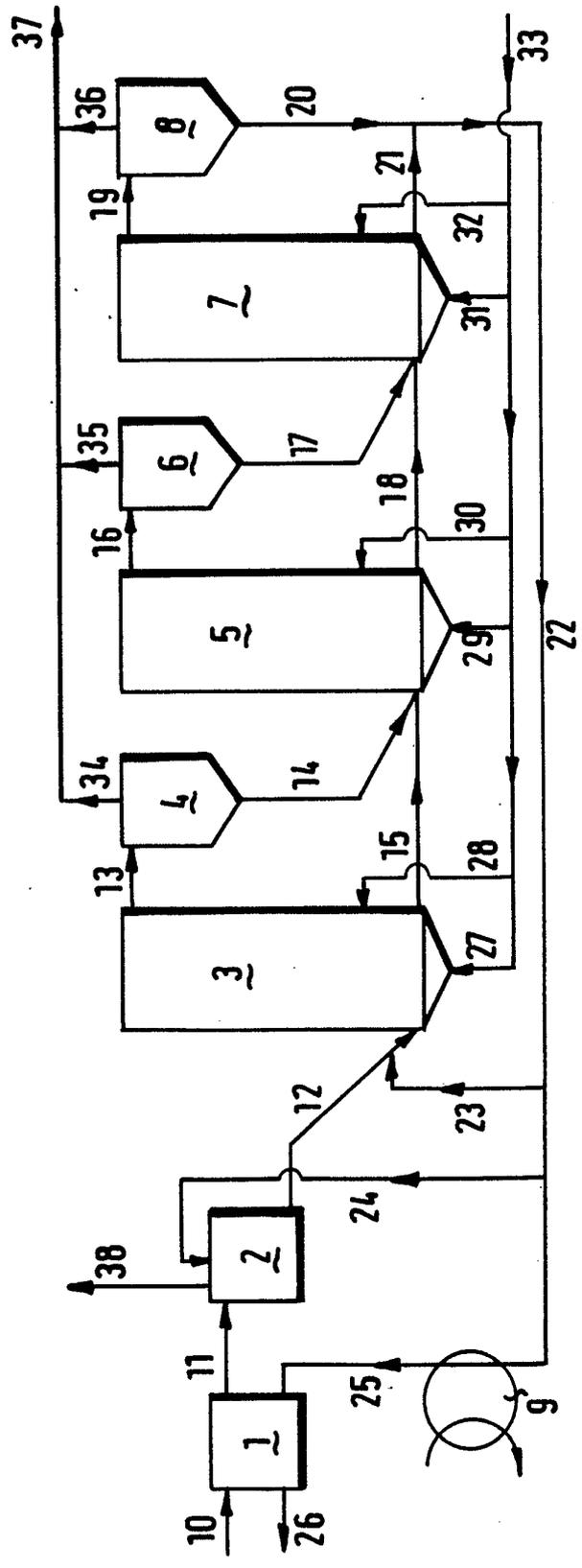


FIG.1

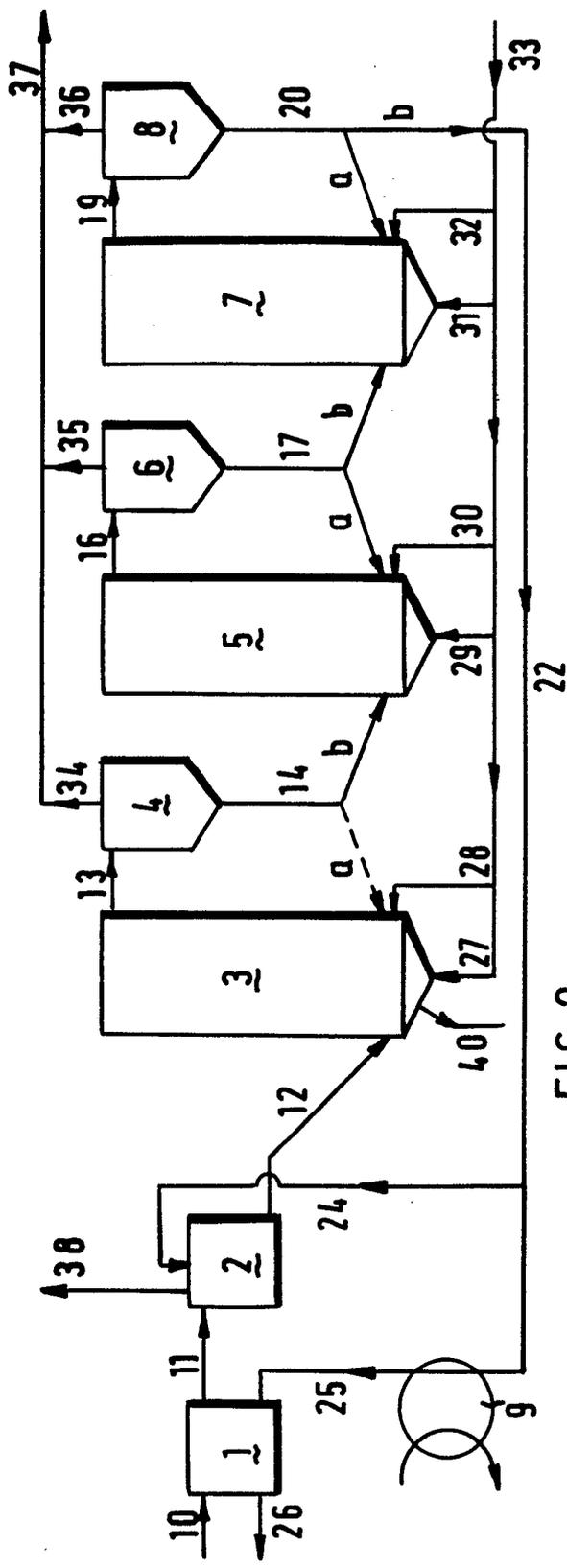


FIG.2