



MINISTERE DES AFFAIRES ECONOMIQUES

NUMERO DE PUBLICATION : 1011844A6

NUMERO DE DEPOT : 09800218

Classif. Internat. : F02C F23R

Date de délivrance le : 01 Février 2000

Le Ministre des Affaires Economiques,

Vu la loi du 28 Mars 1984 sur les brevets d'invention, notamment l'article 22;

Vu l'arrêté royal du 2 Décembre 1986 relatif à la demande, à la délivrance et au maintien en vigueur des brevets d'invention, notamment l'article 28;

Vu le procès verbal dressé le 19 Mars 1998 à 11H35 à l'Office de la Propriété Industrielle

## ARRETE :

ARTICLE 1.- Il est délivré à : OXIPAR S.P.R.L.  
avenue du Parc 61, B-1310 LA HULPE(BELGIQUE)

représenté(e)(s) par : HELBIG DE BALZAC Michel, avenue du Parc 61, B-1310 LA HUPLE (BE

un brevet d' invention d' une durée de 6 ans, sous réserve du paiement des taxes annuelles, pour : TOPPING DE TURBINES A GAZ EXISTANTES.

ARTICLE 2.- Ce brevet est délivré sans examen préalable de la brevetabilité de l'invention, sans garantie du mérite de l'invention ou de l'exactitude de la description de celle-ci et aux risques et périls du(des) demandeur(s).

Bruxelles, le 01 Février 2000  
PAR DELEGATION SPECIALE :

Conseiller

## TOPPING DE TURBINES A GAZ EXISTANTES

Domaine technique

5

L'invention concerne des turbines à gaz avec oxydation partielle catalytique de combustible mises en oeuvre conjointement avec des turbines à gaz classiques (avec combustion totale) existantes et utilisées dans des applications énergétiques autres qu'aéronautiques.

10

Ces dernières turbines sont employées dans de nombreuses applications dans lesquelles la production d'énergie mécanique, électrique, et thermique est simultanément recherchée (cycle combiné ou co-génération). Ces turbines à gaz sont soit aérodérivatives, soit de conception spécifique, et utilisent toutes le principe de la combustion d'un combustible classique (fuel ou gaz naturel) en présence d'un large excès d'air, ceci afin de limiter la température du gaz à l'entrée de la turbine de détente. Une autre méthode utilisée pour limiter cette température de sortie de la chambre de combustion est d'effectuer l'oxydation partielle du combustible classique en présence d'un défaut d'air. Les gaz ainsi obtenus restent donc combustibles et doivent être brûlés dans des brûleurs spécifiques, après avoir produit un travail mécanique dans une turbine de détente. La présence d'un ou plusieurs types de catalyseurs disposés au sein d'une chambre d'oxydation spéciale (appelée réacteur catalytique) est requise pour le bon fonctionnement de l'oxydation partielle.

20  
25  
30Etat de la technique

La présente invention concerne des systèmes combinés où une turbine à gaz à oxydation partielle catalytique est utilisée conjointement avec une turbine à gaz classique. On connaît ce second type de turbine à gaz car il est largement utilisé, tandis que le premier type cité est connu par les documents suivants :

35

Brevet belge déposé sous le n° 09500879 le 20 octobre 1995 :  
" Procédé d'oxydation partielle catalytique de combustible sur turbine à gaz dans des systèmes énergétiques combinés et dispositifs de mise en oeuvre ".

5

Brevet belge publié sous le n° 1009707A6 délivré le 01 juillet 1997 :

" Système énergétique thermique à turbine à gaz avec oxydation partielle catalytique de combustible ".

10

Demande PCT/BE96/00112 :

" Système énergétique combiné à turbine à gaz avec oxydation partielle catalytique du combustible ".

15 Brevet belge publié sous le n° 1003760 délivré le 09 juin 1992 :

" Turbine à gaz isotherme à oxydation partielle ".

20 Les deux premiers documents cités servent de base au troisième document cité. Le premier traite de la turbine à oxydation partielle, des dispositifs nécessaires à sa mise en oeuvre et de trois applications, différentes toutes trois des applications de la présente invention. Le deuxième document traite d'éléments complémentaires innovants résultants de  
25 l'expérimentation et nécessaires à la réussite de la mise en oeuvre de ce type de turbine.

30 Le quatrième document cité concerne ce que l'on peut appeler la " turbine du futur ", de conception spécifique et dont le développement ne pourra être réalisé qu'au prix d'efforts financiers importants qu'on ne peut décider qu'après avoir réalisé différentes étapes dans la démonstration industrielle de la technologie.

35 La présente invention constitue une proposition novatrice et réaliste pour une telle étape, déterminante.

Appréciation de l'état technique

Bien que les turbines à gaz classiques soient en perpétuelle évolution au point de vue de l'amélioration des rendements électriques (notamment par l'augmentation progressive de la température et de la pression à l'entrée de la turbine de détente), il reste difficile d'augmenter substantiellement les performances d'une turbine à gaz classique installée sur un site industriel. L'invention vise à augmenter simultanément la capacité de production d'électricité d'une turbine à gaz classique, tout en augmentant son rendement, donc en réalisant cette transformation avec un rendement marginal très intéressant.

15 Problème technique à résoudre

L'invention a pour but de fournir un sous-système comprenant au moins un réacteur d'oxydation partielle catalytique suivi d'une turbine détente, pouvant être aisément greffé sur une turbine à gaz (TAG) de base - en principe opérationnelle - de manière à constituer un ensemble plus performant en puissance et en rendement, en réduisant les émissions polluantes ( $\text{NO}_x$  principalement) et tout en offrant une grande flexibilité d'utilisation, en particulier la possibilité de revenir au système de base en cas de besoin. En bref, comment réaliser efficacement un "topping" de TAG existante ?

Exposé de l'invention

30 Conformément à l'invention, ce but est atteint en prélevant une partie de l'air à la sortie du compresseur de la TAG de base, en comprimant davantage ou non cet air prélevé dans un compresseur secondaire, en utilisant ce comburant mélangé à du combustible, de la vapeur et de l'hydrogène dans un réacteur d'oxydation partielle qui relève le niveau thermique, diminue la masse molaire du mélange et augmente le débit molaire de l'effluent à sa sortie, en détendant cet effluent du réacteur partiellement ou complètement dans une turbine de puissance additionnelle et en réalisant la combustion de l'effluent combustible en sortie de cette turbine additionnelle, soit dans

les brûleurs de la turbine de base, soit dans une chaudière de récupération.

Avantages apportés par l'invention

5

L'adjonction ou greffage des équipements additionnels sur une turbine à gaz existante présente un certain nombre d'avantages :

10 On utilise des turbines à gaz existantes et on sait que leur application s'est très largement étendue ces deux dernières décennies; le nombre de réplifications d'un greffon pour une TAG donnée peut être considérable, ce qui permettra de rentabiliser les réalisations technologiques de tels greffons.

15

Le greffon peut être mis hors service, évitant les pénalités en cas de problème dans un équipement du greffon, ou offrant une flexibilité de la production d'énergie mécanique.

20 Le rendement électrique marginal offert par l'invention permet une production d'énergie mécanique (ou électrique) à haut rendement électrique, nettement supérieur à celui des cycles combinés (turbine(s) à gaz - turbines à vapeur).

25 La production de  $\text{NO}_x$  est très fortement réduite par la présence d'un milieu réducteur ( $\text{H}_2$  et  $\text{CO}$ ) lors de l'oxydation partielle, et lors de la combustion ultérieure.

30 Les investissements en équipements additionnels concernent essentiellement un seul équipement : la turbine de puissance additionnelle.

35 La mise en oeuvre de la présente invention augure d'une possibilité de mise en oeuvre de la " turbine isotherme " de conception complètement spécifique, telle que décrite dans le brevet BE-A-1003760 cité plus haut, car la présente invention en aura démontré le bien fondé.

Description de quelques manières d'appliquer l'invention

L'invention est décrite ci-après à l'aide d'une superstructure comportant les différentes variantes possibles d'exécution de l'invention par la suppression de certains éléments de cette superstructure. Elle est également décrite par deux exemples préférentiels d'exécution. Le cas de la superstructure et ceux des deux exemples préférentiels se réfèrent respectivement aux figures 1, 2 et 3. Dans ces figures, le greffon est entouré par un trait en pointillé. Un exemple chiffré de l'application des schémas des figures 2 et 3 est repris dans les tableaux 1 et 2.

La figure 1 représente le diagramme de la superstructure du système qui décrit l'invention permettant l'augmentation de la puissance d'une turbine à gaz existante, avec ou sans post-combustion dans une chaudière de récupération.

La figure 2 représente le diagramme du système dans un cas particulier de la figure 1 : l'augmentation de la puissance d'une turbine à gaz utilisée dans un cycle orienté exclusivement sur la production d'électricité (cycle combiné).

La figure 3 représente le diagramme du système dans un autre cas particulier de la figure 1 : l'augmentation de la puissance d'une turbine à gaz utilisée dans un cycle de production combinée de chaleur et de force (co-génération).

Le tableau 1 montre la comparaison entre la situation de base et la situation correspondant à l'application du schéma simplifié de la figure 2, dans le cas d'une turbine à gaz d'une puissance nominale de 140 MW (dans les conditions ISO).

Le tableau 2 montre la comparaison entre la situation de base et la situation correspondant à l'application du schéma simplifié de la figure 3, dans le cas d'une turbine à gaz d'une puissance nominale de 6.2 MW (dans les conditions ISO).

La superstructure de l'invention est décrite ci-après, en détaillant d'abord les deux parties sur lesquelles porte l'invention (ajout d'un greffon à la turbine à gaz de base), et

la partie relative à la récupération de la chaleur des fumées (la chaudière de récupération) :

La turbine à gaz de base :

5

L'air (F1) est aspiré par le compresseur principal (C1) et comprimé (F2). Une partie de cet air sous pression (F3) est envoyée vers la chambre de combustion (CC) dans laquelle le combustible classique (F4) est brûlé. Les gaz chauds (F5) en  
10 sortie de la CC sont détendus dans la turbine (T1) qui sert à la fois à l'entraînement de C1 et à la production d'énergie mécanique ou d'électricité dans l'alternateur (A1).

Le greffon :

15

L'air comprimé (F11) prélevé en sortie du compresseur principal (C1) passe par un échangeur de chaleur (IC) dans lequel l'eau déminéralisée (F13) nécessaire au bon fonctionnement du réacteur catalytique (CR) est préchauffée (F14). L'air sous  
20 pression refroidi (F12) est à nouveau comprimé dans le compresseur secondaire (C2) afin d'améliorer les performances globales de l'invention. Cet air (F15) est alors mélangé à du combustible (F16), à de l'hydrogène et à de la vapeur, puis le mélange est introduit dans le réacteur catalytique (CR). La  
25 vapeur nécessaire provient soit d'un réseau existant (F17), soit de l'échangeur de chaleur (IC) (F14), soit elle est produite dans le réacteur catalytique (CR). L'hydrogène est formé dans l'installation ou provient d'un site industriel, comme décrit dans le brevet belge n° 1009707A6, ou suivant la  
30 présente invention comme décrit ci-après. Les gaz chauds et combustibles (F18) en sortie du réacteur catalytique (CR) sont détendus dans la turbine secondaire (T2) qui sert à la fois à entraîner le compresseur secondaire (C2) et à produire de l'énergie mécanique ou de l'électricité grâce à un alternateur  
35 (A2). Les gaz chauds et combustibles (F19) en sortie de la turbine secondaire (T2) peuvent être dirigés (F20) vers la chambre de combustion (CC) de la turbine à gaz de base (et remplacer tout ou une partie de l'alimentation en combustible classique (F4)), ou être dirigés (F21) vers une turbine de  
40 puissance (T3) pour y être détendus (F22) et produire de

L'énergie mécanique ou de l'électricité grâce à un alternateur (A3). Les turbines et alternateurs T2, T3, A2 et A3 peuvent être rassemblés en une seule turbine et un seul alternateur.

5 La chaudière de récupération :

Les gaz combustibles chauds (F22) prélevés dans le greffon sont brûlés par les fumées chaudes en sortie de la turbine à gaz de base (F6), avec ou sans appoint de combustible classique (F7)  
10 pour ajuster la quantité de vapeur (F10) que l'on désire produire à partir d'eau déminéralisée (F9) dans la chaudière de récupération (HRSB). Les fumées finales (F8) sont à basse température, et contribuent ainsi au bon rendement global du cycle.

15

Le réacteur catalytique utilisé dans l'invention accomplit les fonctions suivantes :

- la préchauffe du mélange composé d'air chaud (F15), de gaz naturel (F16), d'hydrogène (s'il y a lieu) et de vapeur (F17 ou  
20 F14) jusqu'à une température de 400 à 500 °C.
- la bonne homogénéité du mélange précité.
- l'initiation des réactions d'oxydation partielle du combustible, avec pour effet une augmentation rapide de la température des gaz (combustions en défaut d'air).
- 25 - l'abaissement de la température du mélange gazeux combustible (F13) jusqu'à une valeur acceptable par la turbine secondaire (T3), en particulier par échangeur de chaleur ou injection de vapeur.
- l'échangeur de chaleur précité sert soit à la préchauffe  
30 éventuelle de la vapeur utilisée dans le greffon (F14 ou F17), soit à la préchauffe d'un mélange de combustible et de vapeur en vue de la production d'hydrogène par reformage.

L'obtention de toutes ces propriétés peut se faire par l'utilisation d'un réacteur à double enveloppe permettant la  
35 circulation et la préchauffe des gaz froids dans l'espace annulaire, tout en permettant de maintenir des caractéristiques de résistance mécanique compatibles avec les conditions extrêmes (haute température et haute pression) nécessaires pour satisfaire les bonnes performances de l'invention.

40

Un premier mode de réalisation avantageux de l'invention, déduit de la superstructure, correspond à la figure 2 et est décrit ci-après :

- 5 La turbine à gaz de base subit une modification mineure : tous les gaz chauds et combustibles issus du greffon (F19) sont introduits dans la chambre de combustion (CC) de la turbine à gaz de base à la place du combustible classique (F4), ce qui nécessite l'adaptation des brûleurs à ce gaz pauvre. Il n'y a
- 10 pas de turbine de puissance (T3). La chaudière de récupération (HRSB) reste inchangée. En effet, les fumées (F6) en sortie de la turbine à gaz de base restent quasiment inchangées par rapport à son fonctionnement sans greffon. L'alimentation en combustible classique (F4) de la turbine à gaz de base est
- 15 cependant maintenue pour permettre un retour au fonctionnement normal lorsque le greffon est hors service.

Le tableau 1 ci-après reprend les résultats de l'application de ce schéma à une turbine à gaz de base d'une puissance nominale de 140 MW (dans les conditions ISO) :

20

Paramètres	Unités	Cas de base	Avec greffon
Consommation totale en gaz naturel	kg/s MW	8.89 401.9	10.33 466.8
Consommation totale en vapeur	kg/s MW	- -	7.22 26.0
Débit d'air vers la chambre de combustion (CC)	kg/s	398	316
Débit d'air vers l'échangeur de chaleur (IC)	kg/s	-	73
Débit des fumées (F6)	kg/s	406.4	406.4
Production nette d'électricité	MW	140	176.7
Rendement électrique	%	34.8	37.9
Rendement électrique marginal	%	-	56.6

Tableau 1

Le rendement électrique marginal du système avec le greffon par rapport au système sans le greffon est défini par le quotient  
5 de l'accroissement de la puissance électrique produite par l'accroissement de la puissance thermique du combustible nécessaire.

Hypothèses de calcul :

10

Pression maximale de la turbine à gaz de base : 15 bar,  
Pression maximale du greffon : 45 bar,  
Température d'entrée dans les turbines de puissance : 1200 °C,  
Rendement isentropique des machines : 80 % (C1 et C2), 90 %  
15 (T1, T2 et T3),  
Rendement mécanique des machines : 99 % (arbre T1-C1 et arbre T2-C2), 95 % (arbre T1-A1, arbre T2-A2).  
Les pertes de charge ont été prises en compte.

20 La figure 3 présente un second mode de réalisation avantageux de l'invention qui est décrit ci-après :

La turbine à gaz de base reste inchangée : une faible fraction de l'air en sortie du compresseur principal (C1) est prélevée.  
25 La chambre de combustion (CC) est alimentée uniquement en combustible classique. Il n'y a pas d'échangeur de chaleur (IC) ni de compresseur secondaire (C2). Les gaz issus du greffon sont envoyés directement dans les brûleurs de la chaudière. Ces brûleurs doivent être adaptés à la combustion du gaz pauvre et  
30 chaud issu de l'oxydation partielle.

Le tableau 2 ci-après reprend les résultats de l'application de ce schéma à une turbine à gaz de base d'une puissance nominale de 6.2 MW (dans les conditions ISO) :

35

Paramètres	Unités	Cas de base	Avec greffon
Consommation totale en gaz naturel	kg/s MW	0.744 33.6	0.765 34.6
Consommation totale en vapeur	kg/s MW	- -	0.216 0.5
Débit d'air vers la chambre de combustion (CC)	kg/s	30	30
Débit d'air vers le réacteur catalytique (CR)	kg/s	-	1
Débit des fumées (F8)	kg/s	31	32
Production nette d'électricité	MW	6.2	7.3
Production de vapeur	t/h MW	32 20.8	32 20.8
Rendement électrique	%	18.4	20.6
Rendement thermique global	%	80.2	80.0
Rendement électrique marginal	%	-	69.0

Tableau 2

Hypothèses de calcul :

5

Pression maximale de la turbine à gaz de base : 14.4 bar,

Production de vapeur : 32 t/h,

Température des fumées : 171 °C,

10

Il a été tenu compte des rendements des machines et des pertes de charge,

La turbine à gaz de base est supposée ne pas être perturbée par le faible prélèvement d'air comprimé.

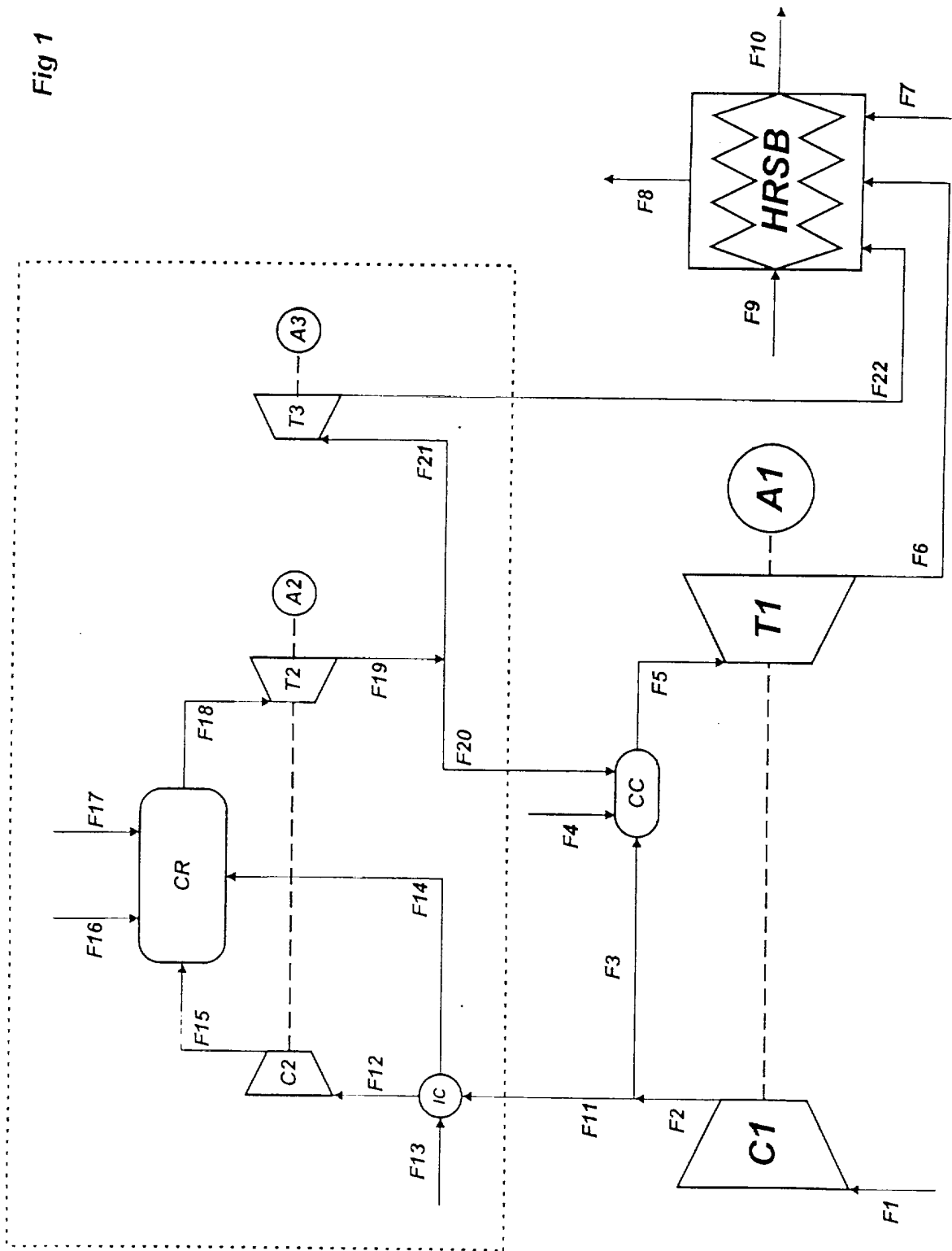
Revendications

1. Assemblage d'une turbine à gaz à oxydation partielle, ici dénommée " greffon ", comprenant un échangeur de chaleur (IC), un compresseur (C2), un réacteur d'oxydation partielle catalytique spécifique (CR), une turbine de détente (T2) couplée ou non au compresseur (C2) et à un alternateur (A2), et une turbine de puissance (T3) couplée à un alternateur (A3), et d'une turbine à gaz classique, ici dénommée turbine de base, avec prélèvement d'une partie de l'air à la sortie du compresseur de la turbine de base (C1) vers le greffon, et combustion de tout ou d'une partie des gaz chauds et combustibles issus du greffon dans la chambre de combustion (CC) de la turbine de base.
2. Application avantageuse du système suivant la revendication 1 caractérisée en ce que ledit greffon est constitué d'un échangeur de chaleur (IC), d'un compresseur (C2), d'un réacteur d'oxydation partielle catalytique spécifique (CR) et d'une turbine de détente (T2) couplée à un alternateur (A2), les gaz chauds et combustibles issus du greffon étant entièrement brûlés dans des brûleurs spécifiques adaptés à la chambre de combustion (CC) de la turbine de base, elle-même étant modifiée pour permettre le prélèvement d'une fraction de l'air comprimé et pour permettre la combustion du gaz pauvre, les brûleurs de base étant néanmoins maintenus en réserve.
3. Application avantageuse du système suivant la revendication 1 caractérisée en ce que ledit greffon est constitué d'un réacteur d'oxydation partielle catalytique spécifique (CR) et d'une turbine de détente (T2) couplée à un alternateur (A2), les gaz chauds et combustibles issus du greffon étant entièrement brûlés dans des brûleurs spécifiques adaptés à une chaudière de récupération (HRSB) classique, tandis que la turbine de base n'est modifiée que pour permettre le prélèvement d'une faible fraction de l'air comprimé.
4. Assemblage suivant les revendications 1, 2, 3, dans lequel le réacteur catalytique est caractérisé en ce qu'il est constitué d'une double enceinte créant un espace annulaire

permettant le mélange et le préchauffage du mélange réactionnel et le maintien de la virole extérieure à température inférieure à 600°C.

- 5 5. Assemblage suivant la revendication 4 dans lequel le réacteur catalytique est caractérisé complémentaiement par une utilisation de l'énergie thermique libérée par l'oxydation partielle par échange indirect en vue de produire la vapeur et/ou l'hydrogène nécessaire(s) à l'oxydation partielle.

Fig 1





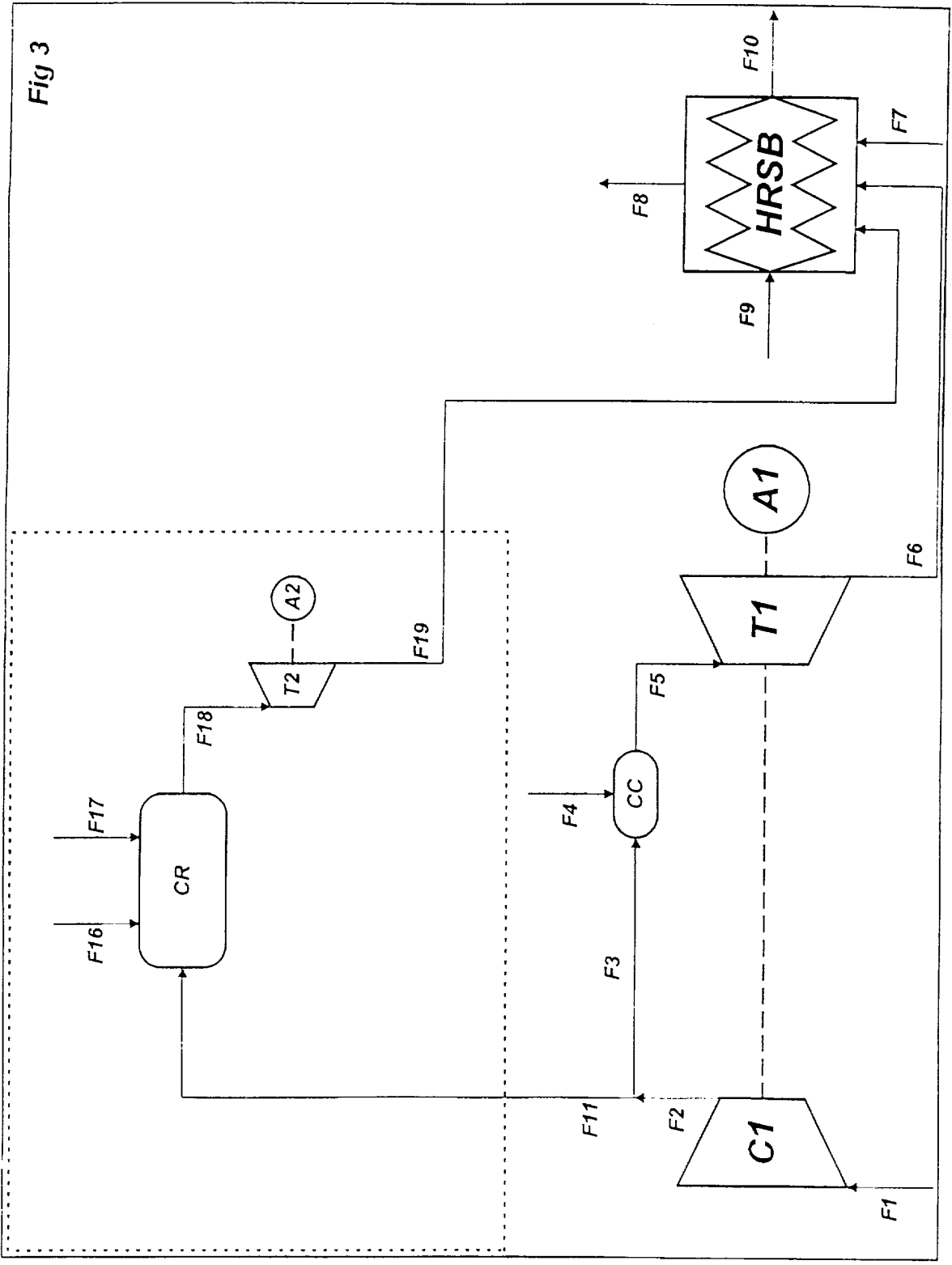


Fig 3