



(51) Classification internationale des brevets :

H01M 8/12 (2016.01) H01M 8/04302 (2016.01)
H01M 8/04029 (2016.01) H01M 8/04225 (2016.01)
H01M 8/04007 (2016.01) H01M 8/1231 (2016.01)
H01M 8/04291 (2016.01) H01M 8/124 (2016.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/EP2016/062087

(22) Date de dépôt international :

27 mai 2016 (27.05.2016)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1554831 28 mai 2015 (28.05.2015) FR

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue Leblanc Bâtiment Le Ponant D, 75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs : DUMOULIN, Pierre; 14 rue Jardin d'Honorine, 90340 Chevremont (FR). COLASSON, Stéphane; 86 rue de l'Isle, 38340 Voreppe (FR). MONTZIEUX, Guillaume; 9 rue Charrel, 38000 Grenoble (FR).

(74) Mandataire : CABINET NONY; 11 rue Saint-Georges, 75009 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

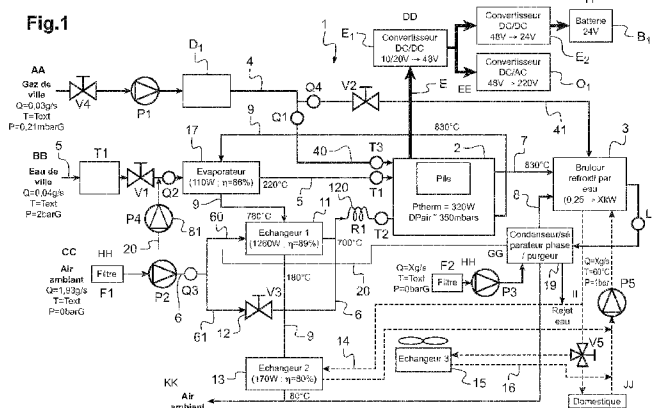
(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,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

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : COMBINED HEAT AND POWER PLANT COMPRISING A NATURAL-GAS-FUELLED SOFC FUEL-CELL STACK, WHICH IS EASIER TO START-UP AND SAFER

(54) Titre : INSTALLATION DE COGENERATION COMPRENANT UNE PILE A COMBUSTIBLE SOFC FONCTIONNANT AU GAZ NATUREL, AU DEMARRAGE FACILITE ETA LA SECURITE ACCRUE

Fig.1



**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g))*

de la pile; - une ligne d'évacuation des gaz (7) à la sortie d'anode de la pile, reliée à l'entrée du brûleur; - une ligne d'alimentation en air ambiant (8), reliée à l'entrée du brûleur; - une ligne d'évacuation de l'air (9) à la sortie de cathode de la pile débouchant dans l'air ambiant; - des moyens (10) pour chauffer l'air ambiant dans la ligne reliée à l'entrée de cathode de la pile, jusqu'à une température de fonctionnement nominal.

**INSTALLATION DE COGENERATION COMPRENANT UNE PILE A
COMBUSTIBLE SOFC FONCTIONNANT AU GAZ NATUREL, AU
DEMARRAGE FACILITE ETA LA SECURITE ACCRUE**

Domaine technique

5 La présente invention concerne le domaine des installations de cogénération, en particulier de micro-cogénération, aussi appelées micro CHP (acronyme anglais de « *micro combined heat and power* »), équipées d'une pile à combustible à oxydes solides (SOFC acronyme anglais pour « *Solid Oxide Fuel Cell* ») fonctionnant au méthane, notamment à partir du gaz naturel issu du réseau de distribution, afin de produire
10 simultanément de l'électricité et de la chaleur utile pour les besoins domestiques d'une habitation.

Elle concerne plus généralement un nouveau système de production d'électricité comprenant une telle pile et un réservoir de stockage d'hydrogène.

L'invention s'applique particulièrement avec un réservoir de stockage
15 réversible d'hydrogène, de préférence contenant des hydrures et de préférence encore des hydrures métalliques, tels que MgH_2 .

Une partie du système selon l'invention peut avantageusement être utilisée en mode inverse, avec les cellules électrochimiques constituant un électrolyseur EHT, le réservoir servant alors à stocker l'hydrogène produit par l'électrolyse de l'eau à haute
20 température (EHT, ou EVHT pour électrolyse de la vapeur d'eau à haute température, ou HTE acronyme anglais pour « *High Temperature Electrolysis* », ou encore HTSE acronyme anglais pour « *High Temperature Steam Electrolysis* ») également à oxydes solides (SOEC, acronyme anglais pour « *Solid Oxide Electrolysis Cell* »).

Bien que décrite en référence avec l'application préférée d'installations de
25 micro-cogénération CHP, l'invention s'applique également à des installations de cogénération, i.e. avec des puissances électriques supérieures.

Art antérieur

La micro-cogénération CHP est la déclinaison de la cogénération, production combinée de chaleur et d'électricité, pour une ou plusieurs habitations, une maison ou un
30 petit immeuble de bureaux, c'est-à-dire dans une gamme de petite puissance électrique, typiquement comprise entre 0,3 et 50 kW.

Le niveau de puissance thermique d'installations de CHP est adapté au niveau des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire d'un seul bâtiment.

Parmi les diverses technologies possibles pour ces installations, les piles à combustible ont pour atout majeur de présenter les plus hauts rendements de conversion électrique, typiquement au-delà de 35 % et de ne pas être polluantes.

Parmi les technologies de pile à combustible, une pile SOFC a notamment pour avantage supplémentaire de fonctionner à haute température, typiquement de 700°C jusqu'à 1 000°C, ce qui permet la transformation de la chaleur produite en électricité par l'intermédiaire d'un cycle combiné présentant des rendements de conversion électrique pouvant dépasser les 60 %.

Une pile à combustible SOFC est généralement constituée d'un empilement de motifs élémentaires (aussi appelés SRU pour « *Single Repeat Unit*») comportant chacun une cellule électrochimique à oxydes solides, constituée de trois couches superposées l'une sur l'autre anode/électrolyte/cathode, et de plaques d'interconnexion en alliages métalliques aussi appelées plaques bipolaires, ou interconnecteurs.

Une pile à combustible SOFC peut fonctionner à partir d'un mélange de méthane, notamment issu du gaz naturel, d'eau en tant que combustible et d'air (oxygène) en tant que comburant. Une telle pile produit de l'électricité et de la chaleur, de l'hydrogène et du monoxyde de carbone (CO) en tant que produits issus du reformage du méthane au sein de la pile, de l'eau et du dioxyde de carbone à l'anode, et de l'air (oxygène) en tant que surplus à la cathode.

Les objectifs principaux de conception d'une installation CHP à pile à combustible sont l'obtention d'un bon rendement électrique et thermique et d'un coût d'investissement moindre.

En particulier, le choix de l'architecture des circuits de fluides peut avoir des implications conséquentes sur le rendement électrique/thermique et le coût de l'installation.

Par ailleurs, il faut veiller à ce que le choix de cette architecture prenne en compte à la fois le mode de fonctionnement nominal mais également le mode de démarrage de l'installation, c'est-à-dire notamment la montée en température de la pile à combustible SOFC.

Il existe donc un besoin pour améliorer les installations de micro-cogénération CHP, plus généralement de cogénération de chaleur et d'électricité mettant en œuvre une pile à combustible SOFC, afin d'obtenir un bon rendement électrique et thermique et de diminuer le coût d'investissement et/ou afin de prendre en compte à la fois le mode de fonctionnement nominal et le mode de démarrage de l'installation.

Les publications [1] et [2] divulguent chacune des installations de micro-cogénération à piles à combustible SOFC, dont l'architecture des circuits de fluide est conçue de telle façon que les gaz en sortie de pile sont tous injectés en entrée de brûleur pour réaliser leur combustion et que le réchauffement des fluides en entrée de la pile est assuré par les gaz chauds en sortie du brûleur.

On pourra se reporter par exemple à la figure 5 de chacune de ces publications [1] et [2] qui montrent clairement l'injection directe de tous les gaz en sortie de pile dans le brûleur.

Les architectures ainsi divulguées présentent des inconvénients majeurs que l'on peut résumer comme suit :

- utilisation de matériaux nobles et chers pour la réalisation du brûleur du fait de la température élevée, typiquement aux environs de 850°C, des gaz imbrûlés en sortie de la pile et qui sont injectés en entrée de brûleur ;

- absence de solution pour le démarrage de l'installation, qui est pourtant impérative. En effet, une pile à combustible SOFC fonctionne aux hautes températures et nécessite typiquement une température des fluides en entrée de plus de 700°C ;

- risque d'avoir de l'oxygène dans un échangeur air-gaz constitué d'un mélange de méthane (CH_4) et d'hydrogène (H_2). Or, le CH_4 et le H_2 rentrent dans cet échangeur à une température supérieure à la température d'auto-inflammation de sorte que la moindre fuite peut faire brûler subitement le combustible et sans la moindre étincelle.

Il existe donc un besoin pour améliorer les installations de micro-cogénération CHP, plus généralement de cogénération de chaleur et d'électricité mettant en œuvre une pile à combustible SOFC, notamment afin de pallier les inconvénients des architectures des publications [1] et [2] précitées.

Le but de l'invention est de répondre au moins en partie à ce(s) besoin(s).

Exposé de l'invention

Pour ce faire, l'invention concerne, sous l'un de ses aspects, une installation de cogénération de chaleur et d'électricité comprenant :

- une pile à combustible (SOFC) comprenant au moins une cellule électrochimique élémentaire à oxydes solides formée chacune d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode ;
- un brûleur pour brûler les gaz imbrûlés dans la pile SOFC,
- une ligne d'alimentation en méthane, reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC;
- une ligne d'alimentation en eau reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC ;
- une ligne d'alimentation en air ambiant, en tant que comburant de la pile SOFC, reliée à l'entrée de cathode de la pile SOFC;
- une ligne d'évacuation des gaz à la sortie d'anode de la pile SOFC, reliée à l'entrée du brûleur ;
- une ligne d'alimentation en air ambiant, en tant que comburant du brûleur, reliée à l'entrée du brûleur;
- une ligne d'évacuation de l'air à la sortie de cathode de la pile SOFC, débouchant dans l'air ambiant ;
- des moyens pour chauffer l'air ambiant dans la ligne reliée à l'entrée de cathode de la pile SOFC jusqu'à une température de fonctionnement nominal, typiquement d'au moins 700°C.

Autrement dit, l'invention consiste en premier lieu à découpler les lignes d'évacuation des gaz à la sortie de la pile de sorte à ce que l'air évacué, à des températures très élevées, typiquement autour de 850°C, ne rentre pas directement dans le brûleur, celui-ci étant directement alimenté par de l'air ambiant.

Ainsi, grâce à l'installation selon l'invention, il est possible d'utiliser un brûleur auxiliaire dont la fonction reste de brûler les gaz imbrûlés en sortie de pile mais qui n'a pas à brûler l'oxygène de l'air chaud en sortie puisque celui-ci sert en retour à préchauffer l'air ambiant alimentant la pile et également à chauffer l'eau destiné à alimenter le réseau domestique.

Le brûleur est ainsi alimenté en air ambiant, donc à la température ambiante.

Ainsi, on peut mettre en œuvre un brûleur usuel qui peut être refroidi avec un circuit à eau.

Autrement dit, avec une installation selon l'invention, non seulement on s'affranchit des inconvénients d'une installation de cogénération à pile SOFC selon l'état de l'art dans laquelle il est nécessaire d'avoir un brûleur conçu avec des matériaux nobles et coûteux pour leur résistance accrue aux hautes températures.

5 En outre, les moyens de chauffage à l'air ambiant permettent de réaliser avantageusement le démarrage de pile. En effet, au démarrage, les moyens de chauffage vont chauffer l'air dans la ligne d'alimentation en air de la pile SOFC. La cellule ou l'empilement de cellules électrochimiques de la pile peut être logée avantageusement dans une enceinte étanche et isolée thermiquement. La ligne d'alimentation en air peut être
10 conformée sous la forme d'un serpentín dans l'enceinte. Ainsi, l'air préchauffé à au moins 700°C circulant dans ce serpentín va réchauffer l'intérieur de l'enceinte et donc indirectement le méthane qui atteint donc la température élevée d'au moins 700°C en entrée d'anode de cellule(s) de la pile.

 Selon un mode de réalisation avantageux, les moyens de chauffage
15 comprennent au moins une résistance électrique. On peut également envisager d'autres moyens, tel qu'un brûleur à gaz par exemple.

 L'installation comprend avantageusement un premier échangeur de chaleur dans lequel l'air évacué de la ligne à la sortie de cathode de la pile SOFC et l'air ambiant de la ligne d'alimentation de la cathode peuvent échanger de la chaleur de sorte à
20 préchauffer ce dernier avant son entrée à la cathode de pile. Ainsi, en fonctionnement nominal, le serpentín de circulation d'air à au moins 700°C préchauffé par la récupération de chaleur grâce au premier échangeur va continuer à chauffer indirectement le méthane qui parvient à l'intérieur de l'enceinte, avant sa circulation sur l'(les) anode(s) de cellule(s) de la pile.

25 Selon une variante avantageuse, la ligne d'alimentation de l'air ambiant à la cathode de pile est divisée en deux dont une ligne principale traversant le premier échangeur et une ligne dérivée de la ligne principale comprenant une vanne adaptée pour commuter au moins une partie de l'alimentation en air ambiant de la ligne principale vers la ligne dérivée. Cela permet de garantir la stabilité de la puissance de l'air si performances
30 des échangeurs de l'installation dérive au cours du temps. En effet, la vanne de commutation ou vanne bypass permet d'obtenir toujours la bonne température d'air et donc

indirectement de méthane en entrée de pile, ce qui rend stables les performances de cette dernière.

L'installation comprend avantageusement :

5 - un deuxième échangeur de chaleur agencé en aval du premier échangeur et dans lequel l'air évacué de la ligne à la sortie de cathode de la pile SOFC et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à chauffer l'eau ;

10 - un troisième échangeur de chaleur dans lequel de l'air extérieur et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à évacuer le surplus de chaleur produite par l'installation et en sus de la chaleur requise pour le réseau domestique.

De préférence, l'installation comprend en outre un évaporateur pour vaporiser l'eau d'alimentation de la pile à partir de la chaleur dégagée par les gaz en sortie de la pile.

15 De préférence encore, l'évaporateur est traversé par la ligne d'évacuation de l'air à la sortie de cathode de pile ou par la ligne d'évacuation des gaz imbrûlés à la sortie d'anode de pile.

Avantageusement, l'installation selon l'invention comprend en outre un quatrième échangeur de chaleur agencé en aval de l'évaporateur et dans lequel les gaz imbrûlés en sortie d'anode de la pile et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à chauffer l'eau.

25 L'agencement des différents échangeurs de chaleur et de l'évaporateur selon l'invention permet une gestion thermique optimale de la pile et également de faire fonctionner les échangeurs en deçà de 500°C, ce qui réduit le coût d'investissement des échangeurs car ils n'ont pas besoin d'être réalisés dans des matériaux très onéreux.

De préférence, le brûleur est un brûleur intégrant un circuit de refroidissement à l'eau.

Selon un mode de réalisation avantageux, l'installation comprend en aval du brûleur, un condenseur pour condenser l'eau issue des gaz de fumée du brûleur.

30 Selon ce mode, la ligne d'alimentation en eau à l'anode de pile est de préférence reliée au condenseur pour alimenter la pile avec les condensats.

L'invention a également pour objet, selon un autre aspect, un procédé de fonctionnement en continu de l'installation qui vient d'être décrite, comprenant les étapes suivantes:

- alimentation de l'anode de pile à combustible en méthane et en eau;
- 5 - alimentation de la cathode de pile à combustible en air ambiant;
- mise en marche des moyens de chauffage jusqu'à ce que la pile à combustible atteigne une température nominale, typiquement comprise entre 700°C et 1000°C ;
- mise à l'arrêt des moyens de chauffage.

10 L'invention concerne enfin l'utilisation de l'installation qui vient d'être décrite, pour produire de l'électricité et chauffer le réseau d'eau domestique d'un habitat alimenté directement par un réseau d'eau de ville et un réseau de gaz naturel.

Les avantages de l'installation de cogénération selon l'invention sont donc nombreux parmi lesquels on peut citer :

- gain en rendement électrique et thermique par rapport aux installations de 15 micro-cogénération CHP connues, notamment divulguées dans les publications [1] et [2]. En effet, dans l'architecture selon l'invention, il n'est pas nécessaire de consommer de l'électricité pour préchauffer l'eau, le gaz et l'air. De plus, dans l'architecture selon l'invention, le fait d'une part de positionner des récupérateurs d'énergie (échangeurs de chaleur) sur l'eau chaude sanitaire et d'autre part de brûler en sortie de pile SOFC, le reste 20 de carburant non consommé par cette dernière permet de rejeter un minimum d'énergie dans l'atmosphère, et donc de maximiser le rendement thermique ;

- utilisation d'un brûleur conventionnel réalisé à partir de matériaux peu coûteux, du fait de son alimentation en air ambiant aux températures bien moindres que celui en surplus évacués par la cathode de la pile SOFC;

- 25 - sécurité de fonctionnement de l'installation par la garantie d'absence d'oxygène au contact du méthane et/ou de l'hydrogène dans les échangeurs de chaleur ;

- facilité de démarrage de l'installation et à moindre coût, grâce à la résistance électrique R1, qui peut être de faible puissance, et qui permet de chauffer rapidement l'air entrée de cathode de pile SOFC ;

- 30 - stabilité des performances de l'installation au cours du temps par la possibilité de dériver l'échangeur de préchauffage de l'air ambiant en entrée de pile, en ouvrant la vanne de bypass dérivant ainsi le débit d'alimentation.

Description détaillée

D'autres avantages et caractéristiques de l'invention ressortiront mieux à la lecture de la description détaillée d'exemples de mise en œuvre de l'invention faite à titre illustratif et non limitatif en référence aux figures suivantes parmi lesquelles :

- 5 - la figure 1 est une vue schématique d'une installation de micro-cogénération à pile à combustible SOFC selon l'invention;
- la figure 2 est une vue schématique d'une variante de l'installation de l'installation selon la figure 1.

10 Dans l'ensemble de la présente demande, les termes « entrée », « sortie » « aval » et « amont » sont à comprendre en référence au sens de circulation des gaz et de l'eau à travers la pile à combustible SOFC, le brûleur et les autres composants de l'installation.

15 On précise également que l'ensemble des valeurs chiffrées de température, pression, débit, puissance, et rendement telles qu'indiquées sur les figures 1 et 2 ne le sont qu'à titre indicatif et nullement limitatif.

 Sur les figures 1 et 2, le réseau d'eau domestique n'est pas détaillé. Il intègre le ballon d'eau chaude sanitaire et optionnellement le couplage avec le chauffage central. Cette eau chaude doit permettre ensuite d'alimenter l'eau chaude sanitaire et le circuit de chauffage de l'habitat.

20 On précise également que la pile à combustible décrite est de type à oxydes solides (SOFC, acronyme anglais de « *Solid Oxyde Fuel Cell* ») fonctionnant à haute température. Ainsi, tous les constituants (anode/électrolyte/cathode) d'une cellule d'électrolyse sont des céramiques.

25 Typiquement, et de préférence, les caractéristiques d'une cellule électrochimique élémentaire SOFC convenant à une pile selon l'invention, du type anode support (ASC, acronyme anglais pour « *Anode Support Cell* »), peuvent être celles indiquées comme suit dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU

Cellule électrochimique	Unité	Valeur
<u>Anode</u>		
Matériau constitutif		Ni-YSZ
Epaisseur	μm	>500
Conductivité thermique	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	13,1
Conductivité électrique	$\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$	10^5
Porosité		0,37
Perméabilité	m^2	10^{-13}
Tortuosité		4
Densité de courant	A.m^{-2}	5300
<u>Cathode</u>		
Matériau constitutif		LSM
Epaisseur	μm	20
Conductivité thermique	$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$	9,6
Conductivité électrique	$\Omega^{-1} \text{m}^{-1}$	$1 \cdot 10^4$
Porosité		0,37
Perméabilité	m^2	10^{-13}
Tortuosité		4
Densité de courant	A.m^{-2}	2000
<u>Electrolyte</u>		
Matériau constitutif		YSZ
Epaisseur	μm	
Résistivité	Ωm	0,42

Une pile à combustible SOFC convenant à l'invention comprend de préférence un réacteur à cellules électrochimiques élémentaires C1, C2, de type à oxyde solide (SOFC) empilées alternativement avec des interconnecteurs électrique et fluide. Chaque cellule est constituée d'une cathode et d'une anode, entre lesquelles est disposé un électrolyte.

La pile SOFC 2 représentée en figures 1 et 2 comprend ainsi le réacteur à empilement et son environnement thermique, c'est-à-dire ses moyens d'isolation thermique, de préchauffage... et ses moyens de connectique électrique et fluide qui ne sont pas détaillés.

Par convention, ici et dans l'ensemble de la demande, on utilise systématiquement l'expression « anode de pile » pour désigner la totalité des anodes de la pile. De même, on utilise systématiquement l'expression « cathode de pile » pour désigner la totalité des cathodes de pile. Ainsi, par exemple, une ligne d'alimentation en eau d'anode de pile est une ligne qui alimente en eau la totalité des anodes de la pile.

Comme représenté en figure 1, l'installation 1 de micro-cogénération CHP destiné à produire la totalité de l'électricité et de l'eau de chauffage nécessaire à un habitat

comprend comme composants principaux une pile SOFC 2 et un brûleur 3 pour brûler les gaz imbrûlés dans la pile SOFC.

Une ligne d'alimentation en méthane 4 depuis le réseau de gaz naturel est reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC 2.

5 Une ligne d'alimentation en eau 5 depuis le réseau d'eau de ville est reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC 2.

Une ligne d'alimentation en air ambiant 6 depuis l'extérieur de l'habitat, en tant que comburant de la pile SOFC est reliée à l'entrée de cathode de la pile 2.

10 Une ligne d'évacuation des gaz 7 à la sortie d'anode de la pile SOFC est reliée directement à l'entrée du brûleur 3.

Ainsi, selon l'invention, le brûleur n'est pas alimenté par l'air très chaud, à 830°C dans l'exemple illustré de la figure 1.

Pour ce faire, il est prévu une ligne d'alimentation en air ambiant 8 en tant que comburant du brûleur, reliée à l'entrée du brûleur 3.

15 La ligne d'évacuation de l'air 9 à la sortie de cathode de la pile SOFC débouche quant à elle dans l'air ambiant.

Grâce à cette architecture, le brûleur 3 mis en œuvre peut être un brûleur réalisé usuellement à partir de matériaux peu coûteux. Ce brûleur est avantageusement refroidi par un circuit à eau.

20 Pour démarrer aisément et à moindre coût, l'installation 1 comprend en outre une résistance électrique 10, R1 pour chauffer l'air ambiant dans la ligne 6 jusqu'à une température de fonctionnement nominal, typiquement d'au moins 700°C.

25 Ainsi cette résistance 10, avantageusement de faible puissance, typiquement de l'ordre de quelques centaines de Watt, peut être couplée avantageusement à la résistance du brûleur 3 permet d'aider au démarrage de la pile 2 lors du préchauffage de celle-ci.

L'installation comprend en outre un premier échangeur de chaleur 11 dans lequel l'air évacué de la ligne 9 et l'air ambiant 6 peuvent échanger de la chaleur. On préchauffe ainsi l'air ambiant avant son entrée à la cathode de pile 2.

30 La ligne d'alimentation 6 est de préférence divisée en deux dont une ligne principale 60 traversant le premier échangeur 11 et une ligne dérivée 61 de la ligne principale comprenant une vanne 12, V3 adaptée pour commuter au moins une partie de l'alimentation en air ambiant de la ligne principale vers la ligne dérivée 61.

Ainsi, avec l'ouverture de la vanne de bypass 12, on peut gérer aisément et rapidement la puissance de chauffe de l'air en faisant varier le débit qui rentre dans le premier échangeur 11 afin d'apporter la puissance de chauffe requise par la pile 2 en fonctionnement nominal. En outre, faire varier le débit qui entre dans l'échangeur 11 permet de compenser la perte des performances de l'échangeur 11 au cours de la vie de l'installation.

Un deuxième échangeur de chaleur 13 agencé en aval du premier échangeur 11 est prévu pour l'échange de chaleur entre l'air évacué de la ligne 9 et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation 14 d'un réseau d'eau domestique. Ainsi, le deuxième échangeur permet d'apporter directement la chaleur nécessaire pour chauffer l'eau domestique.

Il est prévu en outre un troisième échangeur de chaleur 15 dans lequel de l'air extérieur et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation 16 du réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur. On peut ainsi évacuer le surplus de chaleur produite par l'installation et en sus de la chaleur requise pour le réseau domestique.

En effet, lorsqu'il n'y a plus de besoin en calories pour l'habitat et que l'eau est à sa température maximale, il est toujours d'extraire les calories produites par l'installation selon l'invention. L'échangeur de chaleur 15 peut ainsi rejeter le surplus de chaleur à l'air ambiant.

Un évaporateur 17 permet de vaporiser d'alimentation en eau de la pile 2 à partir de la chaleur dégagée par les gaz en sortie de la pile.

Dans l'installation illustrée en figure 1, l'évaporateur 17 est traversé par la ligne 9 par laquelle sont évacués les gaz imbrûlés à la sortie d'anode de pile. A titre de variante, comme prévu sur l'architecture de la figure 2, l'évaporateur 17 est traversé par la ligne 7 par laquelle l'air est évacué à la sortie de cathode de pile.

Dans l'architecture selon la figure 2, un quatrième échangeur de chaleur 18 est agencé en aval de l'évaporateur 17. Les gaz imbrûlés en sortie d'anode de la pile et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation 22 du réseau d'eau domestique peuvent ainsi échanger de la chaleur de sorte à chauffer l'eau domestique. Cet échangeur 18 permet ainsi de refroidir le carburant en sortie de pile et de faire condenser. Cette eau est ensuite réinjectée via la pompe P4 en entrée de la ligne d'eau 5 alimentant la pile SOFC 2.

L'agencement relatif de l'évaporateur 17 et des échangeurs air-eau 13 et 18 sur les lignes d'évacuation 7, 9 des fumées de la pile 2 permet aux échangeurs d'atteindre les performances demandées. En outre, seul l'évaporateur 17 et le premier échangeur 11 fonctionnent à des températures élevées, typiquement au-dessus de 500°C, ce qui est
5 avantageux car au-delà les matériaux utilisés pour la constitution des échangeurs sont onéreux.

En outre, en aval du brûleur 3, l'installation 1 comprend un condenseur 19 pour condenser l'eau issue des gaz de fumée du brûleur.

Avantageusement, la ligne d'alimentation 5 en eau à l'anode de pile est reliée
10 au condenseur 19 par une ligne 20 pour alimenter la pile avec les condensats.

Ainsi, l'apport d'eau à la pile 2 peut s'effectuer soit par le réseau urbain par la ligne 5 directement, soit par la récupération des condensats résultant de la réaction par la ligne 20 en sortie de condenseur 20. Cela est possible car une pile SOFC rejette beaucoup plus, typiquement trois fois plus d'eau qu'elle n'en consomme. Ainsi, de préférence,
15 l'installation 1 récupère les condensats ce qui évite de traiter l'eau de ville. Pour le démarrage un réservoir de stockage d'eau auxiliaire, non représenté peut être utilisé. La pompe de relevage 21 représentée en figure 1 n'est pas forcément nécessaire. Elle pourrait être remplacée par une vanne de contrôle si l'eau des condensats peut circuler par gravité.

Il va de soi qu'il est prévu de surveiller la qualité des condensats produits et de
20 valider s'il y a un risque de pollution de la pile 2.

L'installation de la figure 2 présente les avantages supplémentaires suivants par rapport à l'installation de la figure 1 :

- réduction de la teneur en eau de la combustion dans le brûleur 3 ;
- augmentation de la récupération d'énergie de condensation ;
- 25 - obtention d'une température des gaz imbrûlés plus froide en entrée de brûleur 3, typiquement à 70°C, ce qui permet de mettre en œuvre un brûleur conventionnel ;
- possibilité de s'affranchir du condenseur 19 de la figure 1. En effet, dans l'architecture de la figure 2, l'eau du carburant a été condensée avant la combustion. De ce fait, il n'y a presque rien à condenser ce qui limite très fortement la nécessité d'un tel
30 condenseur 19.

Différents capteurs de température T1, T2, T3 permettent de vérifier respectivement les températures en entrée de pile, de détecter des encrassements dans les

différents échangeurs de chaleur 11, 13, 15, 17, 18 et de faire fonctionner ou non la vanne 12 en mode bypass de l'air ambiant de la ligne principale 60 à celle dérivée 61.

Différentes vannes V1, V2, V4 et V5 permettent de couper ou non l'alimentation respectivement en eau de ville en entrée de pile, en gaz de ville directement dans le brûleur 3, en gaz de ville dans l'installation 1, et en eau domestique dans l'installation 1.

Différents débitmètres Q1, Q2, Q3, Q4 permettent de faire varier respectivement le débit d'eau de ville, de gaz de ville, et d'air ambiant en entrée de pile, et le débit de gaz de ville directement dans le brûleur 3.

En entrée d'installation 1, on intègre de préférence des composants usuels sur les lignes d'alimentation en fluide, notamment pour les gaz afin de gérer le risque d'explosion / auto-inflammation en particulier afin de respecter les normes ATEX (ATmosphères EXplosibles).

Ainsi, le traitement du gaz de ville (CH₄) est réalisé notamment au moyen d'un désulfuriseur D1 sur la ligne 4 d'alimentation de la pile.

De même, un système de traitement de l'eau T1 est agencé sur la ligne 5 d'alimentation en eau de la pile SOFC 2.

Enfin, différentes filtres F1, F2 permettent de traiter l'air ambiant avant son entrée dans l'installation 1.

En ce qui concerne la sortie électrique E de l'électricité produite par la pile SOFC 2, on prévoit un système électrique permettant d'assurer une tension continue stabilisée couramment utilisée, afin de reconduire des composants standards. De préférence, comme illustré en figures 1 et 2, ce système électrique comprend les différents éléments suivants :

- un premier convertisseur E1 relié électrique directement à la sortie de la pile. Ce convertisseur E1 typiquement 10/20Volt peut permettre de corriger la diminution lente de la tension aux bornes de l'empilement des cellules de pile 2 liée à l'usure de ces cellules ;

- un onduleur DC/AC O1, typiquement de 48 V en DC à 220C en AC qui permet de générer de la tension alternative à sortir de l'installation 1 ;

- un deuxième convertisseur E2 relié en amont au premier convertisseur et en aval à une batterie B1, typiquement 24 Volt. Cette batterie B1 peut permettre d'alimenter

des capteurs et actionneurs. En effet, le niveau de tension à sa sortie est compatible d'une large gamme de capteurs/actionneurs existants. La batterie B1 peut ainsi permettre de démarrer l'installation 1 de manière autonome.

5 Bien que décrite en référence avec une micro-cogénération, les architectures d'installation selon les figures 1 et 2 peuvent tout aussi bien s'appliquer pour des cogénérations de puissances électriques supérieures.

L'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits ; on peut notamment combiner entre elles des caractéristiques des exemples illustrés au sein de variantes non illustrées.

10 D'autres variantes et améliorations de l'invention peuvent être réalisées sans pour autant sortir du cadre de l'invention.

Par exemple, si dans les exemples illustrés les architectures d'installation sont représentées avec un reformage du méthane interne, c'est-à-dire au sein de la pile 2 SOFC, on peut tout aussi bien envisager d'agencer en amont de la pile 2 un reformeur en tant que
15 composant distinct, et donc réaliser le reformage externe du méthane.

Par ailleurs, si dans les exemples illustrés les architectures d'installation sont représentées avec une eau et gaz de ville séparés en entrée d'anode de la pile SOFC, on peut aussi prévoir de réaliser un pré-mélange entre eux avant l'entrée en pile SOFC.

Références citées

[1] : Vincenzo Liso et al, “*Performance comparison between partial oxidation and methane steam reforming processes for solid oxide fuel cell (SOFC) micro combined heat and power (CHP) system*”, Journal of Energy 36 (2011) 4216-4226.

[2]: J. Braun et al, “*Evaluation of system configurations for solid oxide fuel cell-based micro-combined heat and power generators in residential applications*”, Journal of Power Sources 158 (2006) 1290-1305.

REVENDICATIONS

1. Installation (1) de cogénération de chaleur et d'électricité comprenant :

- une pile à combustible (SOFC) (2) comprenant au moins une cellule électrochimique élémentaire à oxydes solides formée chacune d'une cathode, d'une anode et d'un électrolyte intercalé entre la cathode et l'anode ;

- un brûleur (3) pour brûler les gaz imbrûlés dans la pile SOFC,

- une ligne d'alimentation en méthane (4), reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC;

- une ligne d'alimentation en eau (5) reliée à l'entrée d'anode de la pile SOFC ;

- une ligne d'alimentation en air ambiant (6), en tant que comburant de la pile SOFC, reliée à l'entrée de cathode de la pile SOFC;

- une ligne d'évacuation des gaz (7) à la sortie d'anode de la pile SOFC, reliée à l'entrée du brûleur ;

- une ligne d'alimentation en air ambiant (8), en tant que comburant du brûleur, reliée à l'entrée du brûleur;

- une ligne d'évacuation de l'air (9) à la sortie de cathode de la pile SOFC, débouchant dans l'air ambiant ;

- des moyens (10, R1) pour chauffer l'air ambiant dans la ligne reliée à l'entrée de cathode de la pile SOFC jusqu'à une température de fonctionnement nominal, typiquement d'au moins 700°C.

2. Installation (1) de cogénération selon la revendication 1, les moyens de chauffage de l'air ambiant comprenant au moins une résistance électrique (10, R1).

3. Installation (1) de cogénération selon la revendication 1 ou 2, comprenant un premier échangeur de chaleur (11) dans lequel l'air évacué de la ligne à la sortie de cathode de la pile SOFC et l'air ambiant de la ligne d'alimentation de la cathode peuvent échanger de la chaleur de sorte à préchauffer ce dernier avant son entrée à la cathode de pile.

4. Installation (1) de cogénération selon la revendication 3, la ligne d'alimentation de l'air ambiant à la cathode de pile étant divisée en deux dont une ligne principale (60) traversant le premier échangeur et une ligne dérivée (61) de la ligne principale comprenant une vanne (12, V3) adaptée pour commuter au moins une partie de l'alimentation en air ambiant de la ligne principale vers la ligne dérivée.

5. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications 3 ou 4, un deuxième échangeur de chaleur (13) agencé en aval du premier échangeur et dans lequel l'air évacué de la ligne à la sortie de cathode de la pile SOFC et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation (14) d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à chauffer l'eau.

6. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications précédentes, comprenant un troisième échangeur de chaleur (15) dans lequel de l'air extérieur et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation (16) d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à évacuer le surplus de chaleur produite par l'installation et en sus de la chaleur requise pour le réseau domestique.

7. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications précédentes, comprenant un évaporateur (17) pour vaporiser l'eau d'alimentation de la pile à partir de la chaleur dégagée par les gaz en sortie de la pile.

8. Installation (1) de cogénération selon la revendication 7, l'évaporateur étant traversé par la ligne d'évacuation (9) de l'air à la sortie de cathode de pile.

9. Installation (1) de cogénération selon la revendication 7, l'évaporateur étant traversé par la ligne d'évacuation (7) des gaz imbrûlés à la sortie d'anode de pile.

10. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications 7 à 9, comprenant un quatrième échangeur de chaleur (18) agencé en aval de l'évaporateur et dans lequel les gaz imbrûlés en sortie d'anode de la pile et de l'eau circulant dans une ligne d'alimentation (22) d'un réseau d'eau domestique peuvent échanger de la chaleur de sorte à chauffer l'eau.

11. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications précédentes, le brûleur (3) étant un brûleur intégrant un circuit de refroidissement à l'eau.

12. Installation (1) de cogénération selon l'une des revendications précédentes, comprenant en aval du brûleur, un condenseur (19) pour condenser l'eau issue des gaz de fumée du brûleur.

13. Installation (1) de cogénération selon la revendication 12, la ligne d'alimentation en eau à l'anode de pile étant reliée au condenseur pour alimenter la pile avec les condensats.

14. Procédé de fonctionnement en continu de l'installation selon l'une des revendications 1 à 13, comprenant les étapes suivantes:

- alimentation de l'anode de pile à combustible (2) en méthane et en eau;
 - alimentation de la cathode de pile à combustible (2) en air ambiant;
 - mise en marche des moyens de chauffage (10, R1) jusqu'à ce que la pile à combustible (2) atteigne une température nominale, typiquement comprise entre 700°C et
- 5 1000°C ;
- mise à l'arrêt des moyens de chauffage (10, R1).

15. Utilisation de l'installation (1) selon l'une des revendications 1 à 13, pour produire de l'électricité et chauffer le réseau d'eau domestique d'un habitat alimenté directement par un réseau d'eau de ville et un réseau de gaz naturel.

Fig.1

