
APPLICATIONS STATIONNAIRES DE LA PILE A COMBUSTIBLE DANS LE SECTEUR RESIDENTIEL

Sommaire

1. Généralités
2. La pile à combustible
3. Les applications dans le logement individuel
4. Les applications dans le résidentiel collectif
5. Sécurité, normes, réglementation
6. Conclusions

1. Généralités

Ces applications correspondent à de la cogénération électrique-thermique de piles à combustible, elles se divisent en deux grands domaines :

- le petit résidentiel (pour un logement individuel)
- le grand résidentiel (pour un immeuble ou ensemble d'immeubles)

Le petit stationnaire fournit une puissance autour de 2 kW (dont 40% sous forme d'électricité) et le grand stationnaire fournit une puissance autour de 400 kW à parts égales entre l'électrique et le thermique.

Remarques :

- Il faut noter que la littérature se réfère –par habitude- à la seule puissance électrique pour le petit résidentiel.
- Par ailleurs, on peut s'étonner qu'alors que la puissance électrique souscrite auprès d'EDF par la majorité des français oscille entre 6 et 12 kW, que la puissance choisie par les acteurs japonais se situe autour de 1,7 kW (0,7 kWe + 1 kWth). En fait, la fourchette souscrite 6-12 kW correspond à la puissance maximale sollicitée (y compris le chauffage), alors que la valeur 1,7 kW doit être interprétée comme une puissance moyenne de consommation sur une longue période. Les pointes de consommation sont alors satisfaites par le réseau auquel la pile reste connectée et le chauffage (totalement ou partiellement) est satisfait par les rejets thermiques de la pile. A noter que cette dernière, lorsqu'elle n'est pas utilisée, peut être rentabilisée en fournissant de l'électricité au réseau.

2. La pile à combustible

Compte tenu des performances demandées, tous les types de pile ne sont pas nécessairement adaptés aux applications visées. Pratiquement, seules les quatre suivantes ont été retenues par les différents acteurs du domaine :

- a. la pile PEMFC qui fonctionne vers 75°C et dont le principe est décrit dans la fiche 5.2.2
- b. la pile PAFC, qui fonctionne vers 200°C et dont le principe est décrit dans la fiche 5.2.4

- c. la pile MCFC qui fonctionne vers 600°C et dont le principe est décrit dans la fiche 5.2.5
- d. la pile SOFC qui fonctionne (selon les modèles) dans la gamme 600 - 800°C et dont le principe est décrit dans la fiche 5.2.6

3. Les applications dans le logement individuel

Ce type de cogénérateur¹, généralement alimenté en gaz naturel, fournit de l'électricité et de la chaleur : l'électricité est produite avec un rendement de 30 à 35% pour les piles de type PEM et de 40 à 45% pour les piles de type SOFC. Le rendement global d'utilisation du combustible se situe dans la gamme 90-97% dans tous les cas.

L'essentiel des activités dans ce domaine et dans le monde a été initié au travers de quatre grands programmes : le programme japonais **ENE-FARM** qui a débuté en 2006, puis le projet **CALLUX** (dans le cadre du programme allemand NIP) qui a démarré en 2008, et enfin les programmes européens **Ene.field** et **SOFT-PACT** (tous deux dans le cadre du FCH-JU) qui ont démarré en 2011. Ils font appel tous les quatre à deux technologies : PEMFC (ou PEM) et SOFC.

D'autres acteurs des piles à combustible, en particulier nord-américains, avaient mis cette application dans leurs développements jusque vers 2004 mais l'ont progressivement abandonnée depuis, pour se concentrer sur les sources électriques autonomes pour des applications de niche sans cogénération : secours, mobilité, etc. ...

- Le programme japonais **ENE-FARM**

C'est le programme de démonstration le plus ancien et le plus avancé. Il a été lancé en 2006 par le NEDO (*New Energy and Industrial Technology Development Organization*) sous l'égide du METI (Ministère de l'Industrie) pour répondre aux spécificités de la situation énergétique de ce pays qui importe la plus grande partie de ses besoins en énergie, sous forme fossile (pétrole et gaz).

Le cahier des charges des systèmes est le même pour tous les acteurs: une puissance électrique voisine de 700 W et une puissance thermique un peu supérieure au kW. Le combustible est essentiellement du gaz naturel (LNG ou LPG), mais peut être du kérosène. L'économie en combustible (en comparaison avec des systèmes traditionnels) atteint 15,3%. Le rendement global dépasse 90% (97% selon Panasonic). Les fabricants assurent que la généralisation de l'installation d'un tel système assurerait une autonomie énergétique (au Japon) voisine de 71%.

L'électricité est produite par la pile à combustible, alimentée de deux façons selon le type de pile mise en œuvre :

- pile PEM : la pile est alimentée en hydrogène issu d'un reformeur de gaz.
- pile SOFC : la pile est alimentée directement en gaz naturel, la transformation en hydrogène se faisant directement sur l'anode (reformage interne). La pile fonctionne à une température de 700-750°C.

Le tableau 1 résume les caractéristiques de chacun des produits fabriqués par trois firmes différentes et que commercialisent de nombreuses sociétés.

¹ Appelé souvent micro-CHP, pour Combined Heat and Power




	Toshiba	Panasonic	Aisin Seiki
Model			
Output	700 W (PEM)	700 W (PEM)	700 W (SOFC)
Size (mm)	W780 x D300 x H1000	H1750 x W400 x D400	W780 x D330x H1195
Weight	86 kg	88 kg	100 kg
Electrical Efficiency	39 %	39 %	52 % @700W
Hot water tank Capacity	200L	140L	28 Litters
Retail Price (list price) (excl. tax (8%))	¥ 1,630,000 (excl. installation)	¥ 1,600,000 - (excl. installation)	¥ 1,785,000 (excl. installation)

Tableau 1 - Les trois types de micro CHP commercialisés dans le cadre de ENE-FARM (source Tokyo Gas et Osaka Gas - octobre 2016)

Ce système novateur (Fig. 1 et 2) permet non seulement de produire de l'électricité et de l'eau chaude mais également de réduire les émissions de gaz à effet de serre du fait d'un meilleur rendement de la chaîne de conversion énergétique. De plus, les dernières versions sont conçues pour être couplées à des panneaux photovoltaïques et à un stockage sur batteries, avec une gestion globale pour une optimisation énergétique des ressources. Dans ce cas, l'autonomie énergétique atteint une valeur dans la fourchette 80-90%.

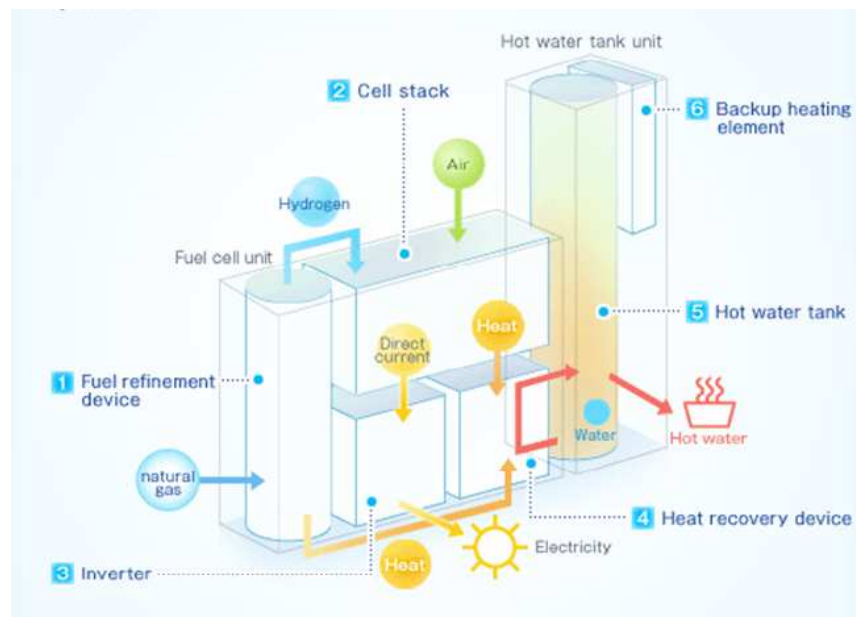


Figure 1 - Schéma d'un cogénérateur ENE-FARM



Figure 2 – ENE-FARM type S (SOFC) (Avril 2016)

La durée de vie annoncée des appareils actuellement vendus est de 50 000 à 80 000 heures, selon les constructeurs ; la garantie offerte est de 10 ans.

En 2009, le prix de vente (hors taxes, hors installation et hors subvention publique) était de 3,46 M¥ (environ 26 000 €). La figure 4 montre son évolution depuis cette date ; il était voisin de 9 000 € fin 2018.

Le cogénérateur ENE-FARM est aujourd'hui essentiellement commercialisé en technologie PEM mais la technologie SOFC se développe et séduit de plus en plus les constructeurs qui le commercialisent (sous l'appellation ENE-FARM type S) car il présente plusieurs avantages : absence de platine comme catalyseur, transfert de chaleur vers le ballon d'eau chaude plus aisé et plus efficace (écart de température plus élevé entre la pile et l'eau), disparition du reformeur (alimentation directe de l'anode en gaz naturel), rendement électrique plus élevé (45% au lieu de 35%) et encombrement moindre. Cette technologie conduit donc naturellement à un espoir d'abaissement de coût très significatif.

Fin 2013, quatre sociétés (Toyota Motor Corp., Kyocera Corp., Osaka Gas Co. et Aisin Sreiki Co.) se sont associées pour développer une version « appartement » du cogénérateur, conçu jusqu'ici pour la maison individuelle. De technologie SOFC, il est commercialisé depuis la mi-2014. Il se distingue de la version initiale par un encombrement moindre (disparition du reformer) et un coût sensiblement plus bas (1 M¥).

En juin 2017, Toshiba Corp. annonce qu'il cesse la fabrication² et la commercialisation de son produit, tout en assurant le service après-vente des générateurs déjà vendus. De son côté, à la même date, Panasonic annonce qu'il s'intéresse au marché européen, en particulier au Royaume-Uni, en Autriche et en Allemagne en s'associant au Groupe Viessmann.

En avril 2019 le nombre total de systèmes installés dépassait 305 000 unités (dont environ 50% fabriqués par Panasonic) ; la figure 3 montre l'image des unités installées vers la fin 2018, et la figure 4 montre l'évolution des coûts des technologies PEM (ou PEFC) et SOFC et des subventions publiques. On peut noter un effet « Fukushima » avec une vente accélérée de ces installations à partir de 2011, date de la catastrophe.

Une version de faible puissance (400 We) est commercialisée depuis fin 2019 ; elle est de technologie SOFC et baptisée ENE-FARM MINI.

² En 2016, le groupe Toshiba a acheté Westinghouse Electric, un fabricant américain de chaudières nucléaires pour 5,4 milliards de dollars. Mais, Westinghouse accumule des pertes vertigineuses, 9 milliards de dollars de dettes et fait faillite. Toshiba est forcé de réduire ses coûts pour faire face à ses engagements et, conséquence malheureuse, décide d'abandonner la production de piles à combustible

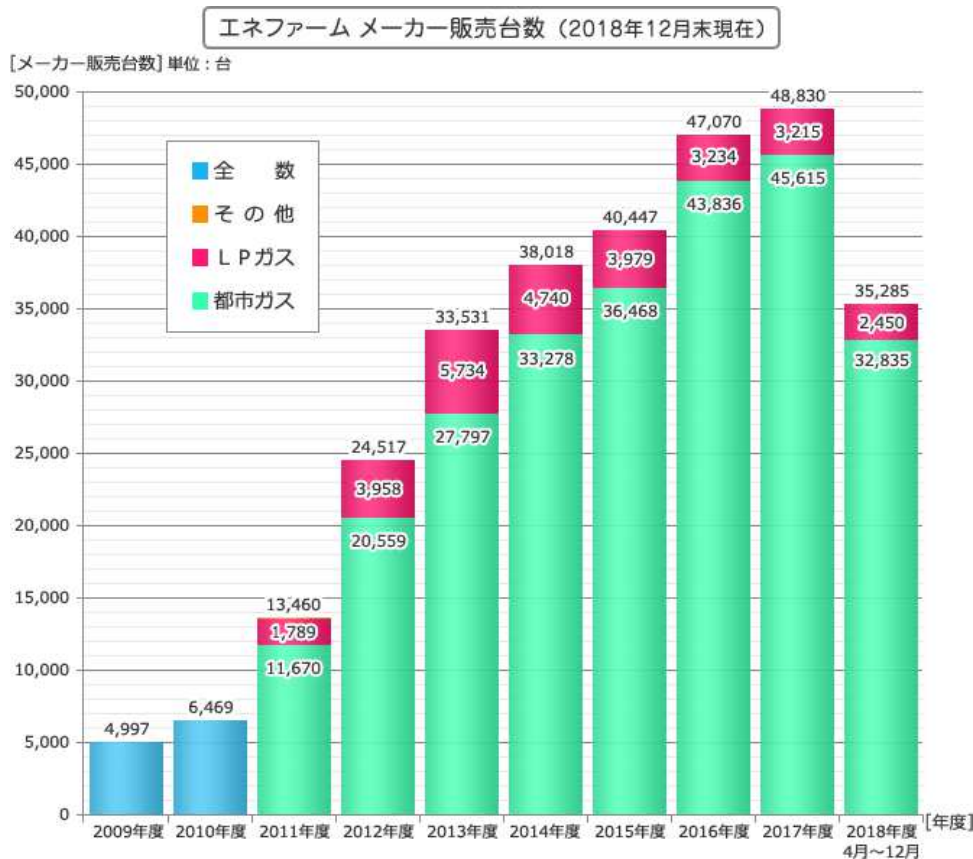


Figure 3 – ENE-FARM, évolution du nombre des installations de 2009 à 2018 (en vert les piles de type PEM et en rouge les systèmes SOFC)

Source: [Advanced Cogeneration and Energy Utilization Center Japan](#).

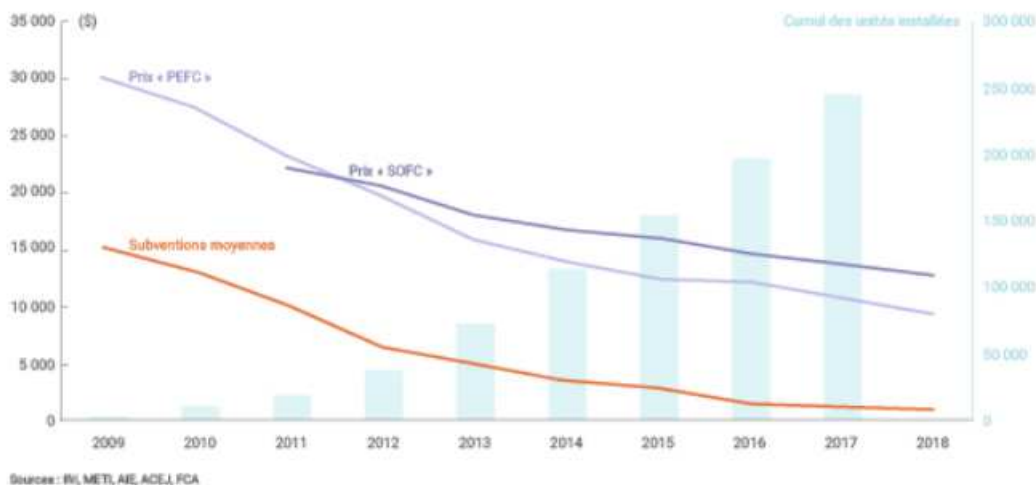


Figure 4 – ENE-FARM, évolution des coûts (en dollars)

En mai 2020, le constructeur *Panasonic* annonce le lancement d'une nouvelle version adaptée aux appartements, les précédentes étant adaptées aux maisons isolées. La puissance électrique fournie est la même (200 – 700 W) mais le poids est moindre : 65 kg au lieu de 81 kg dans un volume légèrement inférieur.

- Le programme européen **Ene.field**³

Ce projet européen de 53 M€, lancé fin 2012 dans le cadre du programme FCH-JU, s'est achevé fin 2017 : il avait pour objectif de déployer 1 000 exemplaires de divers types de cogénérateurs à pile à combustible dans 11 pays d'Europe via 26 compagnies (dont EnGie -ex GDF Suez-). Les deux technologies PEM et SOFC y étaient mises en œuvre. La puissance des divers appareils déployés était dans la gamme 0,3 – 5 kWe.

Les fabricants étaient:

- Technologie PEM : *Baxi Innotech, Dantherm Power* (technologie Ballard), *Elcore, Riesaer Brennstoffzellentechnik* et *Viessmann* depuis 2015,
- Technologie SOFC : *Bosch Thermotechnology, Ceres Power, Hexis* (1kWe), *SOFC Power's EnGen, Vaillant*.

Les deux premiers cogénérateurs ont été installés en septembre 2013 (cf. Fig. 5) à Hambourg et Munich par *Baxi Innotech* et *Elcore* (Elcore 2400: 300 We + 600 Wth, à droite sur la Fig. 5). Leur rendement global était donné à 96%.

Depuis mai 2016 la Commission Européenne a décidé d'assurer une suite à ce programme avec le lancement du projet baptisé **PACE**⁴, d'une durée de cinq années pour un coût total de 90,3 M€; il a pour objectif d'ouvrir un marché de masse avec l'installation de 2 650 exemplaires de micro-cogénérateurs; de plus, quatre industriels⁵ auront dû avoir mis en place, d'ici 2018, une capacité de production de 1 000 unités/an.



Figure 5 - Les deux premiers cogénérateurs Ene.field installés en 2013

En France, les deux premiers cogénérateurs (du fabricant *Baxi*) ont été installés, avec *EnGie* et *De Dietrich*, à Hagenau et MunschHausen, dans l'est de la France, en avril 2014.

- Le programme allemand **CALLUX/NIP**

Ce projet allemand de 75 M€ (subventionné à 48%) a été lancé en septembre 2008 dans le cadre du programme national NIP et s'est achevé fin 2016. Cinq partenaires (*EnBW, E.ON, EWE ENERGIE, MVV Energie, VNG*) ont installé (dans des maisons particulières) et testé (depuis janvier 2011) 500 cogénérateurs à pile à combustible de types PEM et SOFC, alimentés en gaz naturel. Les cogénérateurs testés ont été produits par trois fabricants (Fig. 6) : *Baxi Innotech, Hexis* et *Vaillant*. A noter qu'ils étaient aussi fournisseurs dans le cadre du projet Ene.field.

³ <http://enefield.eu/>

⁴ <http://www.fch.europa.eu/news/fch-ju-new-project-pace-will-deploy-over-2500-micro-chp-units>

⁵ Les quatre industriels sont: Bosch, SOLIDpower, Vaillant et Viessmann.

Quelques résultats :

- Plus de 3 millions d'heures de fonctionnement cumulées avaient été atteintes mi-2015,.
- Trois générations de cogénérateurs testées, la troisième atteignant un rendement global de 96%
- Dégradation des performances du module pile inférieure à 0,2% pour 1000 heures de fonctionnement.
- Durée de vie prouvée : 20 000 heures



Figure 6 - Les cogénérateurs du programme CALLUX

Remarque: à noter qu'en complément des programmes CALLUX et Ene.field, la société allemande *Viesmann*, a développé un cogénérateur de type PEM, en collaboration avec le japonais *Panasonic Corp.*, baptisé **Vitovvalor 300-P** (0,75 kWe + 1 kWth) et qui a été testé dans le cadre du projet **EPILOG** soutenu par l'Ademe dans le cadre de l'appel à projets TITEC et démarré en septembre 2013. Il est issu du programme japonais ENE-FARM. Les 3 exemplaires prévus ont été installés en octobre 2014 à Forbach, en Moselle.

Le cogénérateur **Gamma 1.0** de *Baxi Innotech* délivre 1,5 kWe, grâce à sa pile à combustible Ballard.

Une suite au projet CALLUX, baptisée "**Die Energiewende im Heizungskeller**" (*The energy turnaround in the boiler room*) a été lancée en août 2016 par le ministère allemand de l'économie et dans le cadre du programme NIP. Il a pour objectif d'ouvrir le marché allemand à ce type de cogénérateur, via des subventions, dans la gamme de production électrique 0,25 - 5 kW, dans la limite de 1 100 installations. Cette subvention se monte à un montant fixe de 5 700 € auquel s'ajoute un montant lié à la performance : ainsi la subvention peut atteindre 28 200 € pour une unité de 5 kWe.

En 2016, Toshiba, qui équipait les cogénérateurs **BDR Therma** depuis 2014, abandonne la fabrication de piles à combustible ; BDR Therma s'équipe alors de piles Panasonic.

En avril 2020, la société allemande *Senertec* commercialise le cogénérateur à pile à combustible **Dachs 0.8** (750 kWe + 1 100 kWth) équipé d'un cumulus d'eau chaude de 300 litres.

En décembre 2020, **BDR Therma** annonce qu'il va réaliser trois expérimentations aux Pays-Bas et qu'il envisage de s'implanter en France.

- Le projet **Anglo American Platinum/Ballard**.

Inauguré en août 2014, ce projet avait pour objet de tester un ensemble de 3 piles PEM ElectraGen™ de Ballard d'une puissance nominale de 5 kWe, alimentées avec de l'hydrogène obtenu in situ par reformage de méthanol dans un mini-réseau fournissant de l'énergie électrique à un ensemble de 34 habitations situées en Afrique du Sud (Fezile Dabi District). Ces 3 piles étaient couplées à une batterie, l'ensemble étant capable de fournir une puissance crête de 70 kW.

- Le projet **du refuge du col du Palet**

Dans le Parc de La Vanoise, au Col du Palet à 2 600 m d'altitude, la société française POWIDIAN a installé, en juillet 2015, un ensemble SAGES (*Smart Autonomous Green Energy Station*) d'autonomie énergétique (cf. Fig. 7). Des panneaux photovoltaïques assurent, via un stockage court terme par batterie, la fourniture d'énergie au quotidien. Le stockage long terme est assuré par la chaîne hydrogène. Après la charge complète des batteries, l'énergie, issue des panneaux solaires alimente un électrolyseur produisant, à partir d'eau, de l'hydrogène stocké dans des réservoirs (5kg max). Lorsque l'énergie renouvelable primaire vient à manquer, une pile à combustible PEM de 2,5 kW produit l'électricité nécessaire. L'ensemble est piloté automatiquement et un module de supervision à distance garantit le bon fonctionnement du système.



Figure 7 – Le refuge du col du Palet

- La compagnie allemande **Home Power Solutions GmbH** a annoncé, en mai 2019, le lancement de son système *Picea* équipé d'une pile Ballard FCgen(R)-1020ACS refroidie à l'air et dont la puissance électrique varie de 0,5 à 3 kW selon le choix de la pile retenue par l'utilisateur.
- Les coréens, via la société **Doosan**, proposent 4 modèles de cogénérateurs de puissances électriques 600 W, 1 kW, 5 kW et 10 kW, alimentables en gaz naturel, de rendement global proche de 85%.

- Les autres programmes en **technologie SOFC**

• Le programme européen **SOFT-PACT**⁶

Il s'agit d'un projet européen de 10,3 M€ développé dans le cadre du FCH-JU. Il s'étendait sur la période 2011 – 2014 et avait pour objectif de tester 80 cogénérateurs domestiques de technologie SOFC, fournis par 2 fabricants -GENNEX (Ceramic Fuel Cells/CFU de 1,5 kW) et BlueGEN (2kW)-, et installés dans des maisons particulières. Leur rendement électrique a été choisi supérieur à celui des cogénérateurs PEM : 60% au lieu de 30-35%, pour un rendement global de 85%.

- La société allemande *Sunfire Ceramic Center* (SCC) a testé, en septembre 2014, un cogénérateur SOFC à la suite d'une alliance avec *Vaillant GmbH* et *Energy Saxony*.

⁶ <http://www.soft-pact.eu/>

- La société australienne *CFCL* (Ceramic Fuel Cells Ltd) avait annoncé, en novembre 2014, le démarrage de son projet "**BlueGen Programme**" en collaboration avec la compagnie britannique *iPower Energy Limited* et qui a pour objectif d'installer 65 exemplaires de son cogénérateur BlueGen. Le rendement électrique de la BlueGen atteint 60% quand la puissance électrique fournie est abaissée de 1,5 kW à 0,8 kW.
- La société italienne *SOLIDpower* a annoncé, en décembre 2018, le lancement, en Allemagne, de sa BlueGEN BG-15, alimentée en gaz naturel, dont la puissance électrique se situe dans la gamme 0,5 – 1 kW.
- La compagnie japonaise *FCO Power Inc.* avait annoncé, en mars 2015, le développement d'une pile SOFC fournissant 700 W et ne mesurant que 3 cm d'épaisseur. Elle est destinée à équiper un cogénérateur compact pour appartement. Baptisée *The Printed Fuel Cell™*, elle fournit 1kWe/litre, ce qui est présenté comme un record en la matière. L'ensemble est un couplage de 10 unités de 70 W.
- La compagnie allemande *Buderus* avait annoncé, en mai 2015, avoir développé un cogénérateur SOFC baptisé "*Logapower FC10 energy centre*" fournissant 700 We + 700 Wth Une expérimentation de ce produit s'est faite dans le cadre du projet européen *Ene.field*.
- La société *KYOCERA* a annoncé, en juillet 2017, avoir développé un cogénérateur de 3 kWe dont le rendement électrique atteint 52% et un rendement global de 90%. Il met en œuvre 4 modules identiques à celui de sa pile résidentielle *ENE-FARM*. Il est destiné à l'équipement résidentiel collectif d'un ensemble de villas.
- La start-up française *Sylfen*⁷ développe depuis 2017 un système réversible électrolyse/pile à combustible pour l'habitat baptisé « *Smart Energy Hub* ».
- La compagnie japonaise *Miura Co.* associée à la compagnie londonienne *Ceres Power Technology* depuis la fin 2016, développe et commercialisera (prévu en octobre 2019) un système fournissant une puissance de 4,2 kW (Info juin 2019).

4. Les applications dans le résidentiel collectif

Les opérations de démonstration sont peu nombreuses, les applications de ce type de matériel dans le domaine industriel étant sans doute plus justifiées sur le plan économique (cf. Fiche 9.3.1). A titre d'exemple, deux démonstrations ont été menées, en France, avec trois technologies différentes :

Technologie PEMFC

Site de La Nouvelle au Cirque de MAFATE sur l'île de La Réunion

Ce projet pilote pour l'alimentation électrique du site isolé du village de La Nouvelle (cf. Fig. 8), lancé en février 2016, repose sur la technologie de stockage à base d'hydrogène. Ce dispositif 100% ENR cofinancé par EDF (40%), le SIDELEC (40%) et l'ADEME (20%) est un micro-réseau électrique (alimenté par une pile de 2,5 kW) qui relie et alimente trois bâtiments publics du village: l'école, le dispensaire et le bâtiment de l'ONF. Il repose sur une technologie développée par la société *Powidian*. Des panneaux photovoltaïques installés sur le toit de l'école sont associés à la fois à des batteries Li-ion, et à une production et un stockage d'hydrogène (5 kg). Ce dernier garantit une autonomie énergétique complète, quelle que soit la météo, permettant de se passer totalement de groupes électrogènes et ainsi de préserver l'environnement.

⁷ <http://sylfen.com/fr/accueil/>



Figure 8 – Le site de la Nouvelle, cirque de Mafate (La Réunion)

Le complexe de Vårgårda, en Suède.

Présenté en décembre 2018, il s'agit d'un ensemble de 30 appartements alimentés exclusivement à partir d'énergie solaire (photopiles sur le toit) couplée à un stockage hydrogène stocké à 300 bars, fruit d'une collaboration Danemark-Suède entre *Better Energy* et *Nilsson Energy*. Dans une 2^{ème} phase, 172 appartements seront ainsi alimentés.

Site des îles norvégiennes de Froan

En décembre 2018, *PowiDian* a annoncé le déploiement d'un système générateur autonome sur les 4 îles de *Froan* (réserves naturelles occupées par 200 habitants), en collaboration avec *Ballard*, *Hydrogenics* et *TronderEnergi*. Ces 4 îles sont actuellement alimentées par un câble immergé, à partir de la côte, dont le remplacement nécessaire est trop onéreux.

Technologie PAFC

EDF et Gaz de France se sont associés en 1998 pour réaliser la première démonstration en milieu urbain, à Chelles, en Seine et Marne, d'une pile stationnaire de moyenne puissance, à acide phosphorique (PAFC). Il s'agissait d'une pile de type PAFC de 200 kWe et 230 kWth, baptisée PC25, fabriquée par *ONSI Corp.*, filiale de IFC devenue UTC Power. L'installation était connectée au réseau de gaz naturel, lequel alimentait un reformeur. Elle a alimenté 200 foyers et a fonctionné de manière très satisfaisante de 2001 à 2004. Le coût élevé de cette technologie – voisin de 3 500 €/kWe à l'époque- a dissuadé EDF de poursuivre la valorisation de cette technologie.

Technologie MCFC

En juin 2006, *Veolia Energie/Dalkia* avait inauguré l'installation d'une pile de type MCFC, de l'allemand *MTU CFC* (technologie *FuelCell Energy Inc.*⁸), dans un projet baptisé **CELLIA**. Il s'agissait de remplacer l'une des deux chaufferies au gaz, en fin de vie, d'un ensemble immobilier de l'OPAC (283 appartements), dans le XV^{ème} arrondissement de Paris, près de la porte de St Cloud. Cette pile, de type *HotModule®*, fournissait 230 kWe + 180 kWth et était alimentée en hydrogène via un reformeur alimenté en gaz naturel. Elle a fonctionné, du 1^{er} novembre au 31 mars 2007, en parallèle de l'autre chaufferie classique laissée en place (voir Fig. 9). La pile a été arrêtée après quelques années de fonctionnement. Très peu d'information a été diffusée sur les résultats de cette opération.

⁸ www.fuelcellenergy.com/



Figure 9 - La pile MTU CELLIA à l'OPAC de la Porte de Saint-Cloud (Paris)

5. Sécurité, normes, réglementation

Un projet européen du 6^{ème} PCRD intitulé « *Installation Permitting Guidance for Hydrogen and Fuel Cells Stationary Applications (HYPER)*⁹», auquel ont participé l'INERIS, le CEA et le CNRS pour la France, a édité un document de 90 pages traitant en détail de tous ces aspects.

6. Conclusions

La large utilisation de la pile à combustible dans le domaine de l'habitat particulier depuis de nombreuses années prouve le bon comportement technique et la bonne fiabilité de ce nouveau type de matériel ainsi que des performances énergétiques séduisantes. Leur handicap était, jusqu'à il y a peu de temps, leur coût mais les résultats obtenus dans le cadre des programmes ENE-FARM et Ene-Field prouvent que leur accessibilité est devenue réaliste, en particulier en technologie SOFC. Ces piles seraient encore plus intéressantes si elles étaient directement alimentées en hydrogène parce qu'alors elles ne rejetteraient que de l'eau. Mais cela à la condition que cet hydrogène soit produit sans empreinte carbone et in situ car à l'heure actuelle, sa livraison est beaucoup moins courante que celle du gaz naturel.

Pour ce qui concerne l'habitat collectif, quelques démonstrations ont prouvé leur faisabilité mais leur coût est encore excessif, surtout si l'on tient compte du fait que la chaleur générée n'est majoritairement utilisée qu'en période hivernale, leur rentabilité s'en trouve alors sensiblement diminuée, même si une partie de cette chaleur se trouve être valorisée toute l'année par la fourniture d'eau chaude.

⁹ <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr715.pdf>