

Piles à combustible pour cogénération d'électricité et de chaleur

Exemples de réalisations / démonstrations et retours d'expériences en France

Michel Junker

Avenhyr Conseil - *Metz*

De nombreux projets de R&D et démonstrations
sur les 15 dernières années
Quelques exemples.....

Projet	Technologie / Constructeur	Caractéristiques	Nombre d'unités	Année de mise en service	Partenaires industriels
CHELLES	PAFC / ONSI	200 kWel / 200 kWth	1	2000	EDF R&D, GDF R&D, EDF GDF Services
CELLIA	MCFC / MTU	230 kWel / 180 kWth	1	2006	DALKIA, EDF R&D
EPACOP	PEMFC / H-POWER puis Plug Power	3,5 kWel / 5,6 kWth	5	2003	Gaz de France
N.C.	PEMFC / Vaillant	4 kWel / 10 kWth	2	2004	CREED / Veolia Environnement / Dalkia
N.C.	PEMFC / Vaillant SOFC / Sulzer Hexis	4 kWel / 10 kWth 1 kWel / 2,6 kWth	1 1	N.C.	GDF
GECOPAC	SOFC	5 kWel	1	Lancement du projet en 2004	CREED / Veolia Environnement / CEA.....
EPILOG	PEMFC / Viessmann - Panasonic	0,75 kWel / 1 kWth	3	2014	GrDF, ENGIE, Costic, Viessmann – Panasonic....
CRONOS	SOFC	1 à 2 kWel	1	Lancement fin 2014	Auer, Enercat, CEA....

Env. 50 systèmes actuellement en déploiement en France.....

Pile à Combustible de Chelles



Pile à combustible PAFC : ONSI 25 C

200 KWel – 200 KWth

Années d'installation et de mise en service: 2000-2001

Partenaires du projet : EDF R&D, GDF R&D, EDF, EDF GDF Services (Saint-Mandé)

Cofinancement : ADEME

Application:

- Chaleur : alimentation du réseau de chaleur local
- Électricité : injection sur le réseau



Pile à Combustible de Chelles - Résultats

Heures de fonctionnement : **19576 heures**

Energie produite : **3196 MWh électriques**

Plage de fonctionnement : **10-200 kW**

Fonctionnement en mode autonome

Rendement électrique mesuré : **41 % PCI**

Pile fonctionne toute l'année en cogénération

Hiver : contribution au chauffage et ECS

Eté : contribution à l'ECS

Disponibilité

2000 : < 50%

2001 : 77%

2002 : 80%

Emissions mesurées:

CO: 0 mg/kWh PCI
(inférieur au seuil de détection)

CH₄ : 0 mg/kWh PCI
(inférieur au seuil de détection)

NO_x : 4 mg/kWh PCI

Seuils établis par la réglementation

CO: 50 mg/kWh PCI
Label allemand «Ange Bleu», un des textes les plus sévères en Europe

NO_x : 65 mg/kWh PCI
Label allemand «Ange Bleu», un des textes les plus sévères en Europe

Autres Actions – Résultats

Information du public et des élus avant la réalisation

Traitement et gestions des questions réglementaires (production H2 sur site)

Point dur

cout de la technologie

30 000 F / kWel

Projet EPACOP

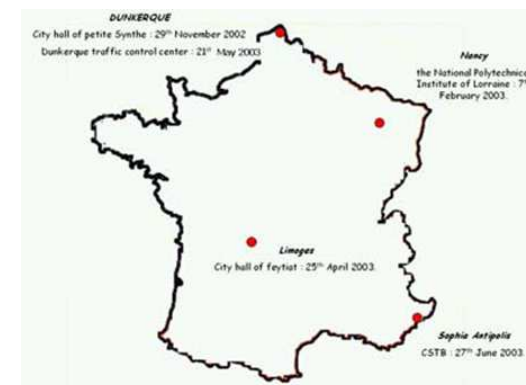
Projet porté par Gaz de France

Cofinancement : ADEME

Années de réalisation :

Expérimentation de 5 piles PEMFC sur sites opérationnels

- Communauté Urbaine de Dunkerque (2)
- Nancy (ENSAIA)
- Sophia Antipolis
- Agglomération de Limoges



Projet EPACOP - Objectifs

- Valider la technologie PEMFC pour les applications résidentielles et petit tertiaire
 - Marquage CE – Assurance responsabilité civile (ERP)
- Mieux comprendre le fonctionnement de piles en situation réelle
 - En conditions réelles et durant toute leur durée de vie
- Anticiper les évolutions nécessaires de la technologie
- Créer et transférer des compétences « Piles à combustible » aux acteurs des secteurs d'installation, opération et maintenance

Projet EPACOP – Caractéristiques de la pile Fabricant : H-Power



Le module RCU 4500 version 2

- Dimensions LxHxP : 1,6x1,4x1,1m³
- Poids : 1500 kg
- Puissance électrique nette : 3,5 kW
- Puissance thermique nette : 5,6 kW
- Alimentation gaz naturel
- Configuration : indépendant du réseau électrique, en parallèle avec le réseau électrique
- Sortie électrique : alternatif 230V
- Régulation sur les appels de charges électriques

Projet EPACOP – Analyse de la valeur

Référence : Moteur cogénération de 4,7 kWe commercialisé aujourd'hui

- Coût du produit : 12000 € soit 2555 €/kWe

La pile à combustible RCU 4500 V2

- Évaluation du coût final du RCU4500 V2 : **83500 € soit 18500 €/kWe**
- Production de masse (100 000 unités) : **30 700 € soit 6800 €/kWe**
- 2 fonctions coûteuses :
 - **La production d'électricité : 34% du coût global**
 - Dont cœur de pile : 81% du coût de la fonction
 - **La transformation du combustible : 37%**
- Les sauts technologiques (membrane, humidification, gestion électrique, purification...)
 - **11 150€ pour 100 000 unités soit un gain de 64%**
 - **Pour une unité de 4 kW : 2787 €/kWe**



commercialisation possible si verrous technologiques levés

Projet EPACOP – Pile Gensys 4C de Plug-Power



Caractéristiques

- Puissance électrique nette : 4 kW
- Puissance thermique nette : 8 kW
- Configuration : en parallèle avec le réseau électrique
- Régulation : aucune

- Installation Septembre 2005
- Commissioning Juin 2006 après
 - remplacement Batteries
 - Remplacement Onduleur
- Mise en exploitation
 - 13 Octobre 2006



Test d'un système 5 kW de Vaillant

- Pile à combustible PEMFC
- $4kW_e - 10kW_{th}$
- Chaudière Vaillant 25kW
- Combinaisons possible avec d'autres chaudières plus puissantes
- LxHxP : $0,9 \times 1,7 \times 1,6 \text{ m}^3$
- Poids : 400 kg
- Régulation thermique



Test d'un système 5 kW de Vaillant : résultats

▶ Performances énergétiques

- Rendement électrique
 - Brut 33%
 - Net 25%
- Rendement thermique
 - 60%
- Rendement global
 - 85%

● Performances environnementales

- Émissions atmosphériques
 - Cœur de pile à 3,5kW :
 - CO : 3,2 mg/kWh
 - No_x : 0 mg/kWh
 - Label Ange Bleu :
 - CO : 50 mg/kWh
 - Nox : 65 mg/kWh
- Émissions sonores « nulles »

Taux d'utilisation: 50%

Système à régulation thermique

- *Satisfait 100% de la demande moyenne thermique et électrique*
- *Revente de 50% de la production électrique*

Synthèse des REX de ses campagnes d'essais des années 2000

- Réponse aux besoins thermiques et électriques
- Polluants :
 - CO, NO_x << Label « Ange Bleu »
 - SO_x, particules en traces seulement
- Les PEMFC :
 - Amélioration des rendements électriques entre les expérimentations d'EPACOP et de Vaillant
 - Marché domestique et tertiaire
- PAFC (Chelles) :
 - Disponibilité 78%
 - Durée de vie estimé à 40 000 heures
- SOFC :
 - Coût total 28 900 € (cœur de pile 22 000 €)
 - Production de masse (100 000) : 8 200 €
 - Objectif 3 000 €

Produit mature
Coût prohibitif

A confronter au REX des
campagnes de tests en cours
avec les systèmes actuels

- **Performances (rendements, durée de vie) et fiabilité des systèmes actuels sont au rendez**
- **Il n'y a plus de verrous technologiques**
- **Les objectifs de coûts sont en passe d'être atteints (production en série)**
- **Les systèmes répondent aux profils des besoins électricité / chaleur des nouveaux bâtiments (BBC et BePOS) = un vrai potentiel de marché**
- **La réglementation évolue favorablement**