

Comparaison internationale  
Bâtiment et énergie

C10 – MICRO CO-GÉNÉRATION

Auteurs : Ahmad Husaundee et Orlando Catarina  
(orlando.catarina@cstb.fr)

Experts : François Bourmaud, Rémi Daccord

ADEME



PRÉB4T

PROGRAMME DE RECHERCHE  
ET D'EXPERIMENTATION  
SUR L'ENERGIE DANS LE BÂTIMENT

PUCA

plan  
urbanisme  
construction  
architecture

## 1. INTRODUCTION

La synthèse ci-dessous est issue d'un rapport de Cédric Beaumont du COSTIC. Quelques éléments sont également tirés d'une étude de la société Amoès.

### • ETAPE 1 : CONTEXTE, ANTERIORITES, DYNAMIQUES D'ACTEURS

#### 1.1 DEGRES DE DEVELOPPEMENT ACTUEL

Aujourd'hui, seuls 5 micro-cogénérateurs peuvent être considérés comme étant entrés en phase de commercialisation et ont obtenu un volume de ventes significatif : Senertec, Ecopower, Honda, Yanmar et Whispergen.

En 2005, environ **16 000 modules** de micro-cogénération de puissance inférieure à 5kWe auraient été vendus à travers le monde, représentant une puissance installée de 31MWe. Sur ce total, 75% est constitué par le marché Japonais (principalement les modules de Honda et Yanmar) et 20% par le marché Allemand (principalement les modules de Senertec et Ecopower). Cela veut dire que le marché de la micro-cogénération est aujourd'hui occupé à près de **95% par des moteurs à combustion interne**.

Néanmoins de nombreux produits pourraient apparaître sur le marché **d'ici 1 à 3 ans**. C'est notamment le cas de presque tous **les modules à combustion externe**. Beaucoup d'entre eux sont aujourd'hui testés dans des campagnes de mesure à grande échelle sur sites réels.

**Les piles à combustibles**, quant à elles, **ne devraient pas être disponibles avant 2010**, sauf peut-être au Japon où déjà 500 unités ont été installées en maison individuelle. Cependant, ces prévisions doivent être considérées avec prudence car les mises sur le marché sont régulièrement repoussées par les différents constructeurs.



**Micro-cogénérateurs à moteur à combustion interne  
des constructeurs Senertec, Ecopower et Honda**

#### 1.2 CONTEXTE NATIONAL ET LOCAL :

##### 1.2.1 L'Europe

L'Union Européenne, dans une résolution datant de 1997, a affiché son ambition de voir en 2010 la cogénération représenter **18%** de l'électricité produite. La Commission européenne a de plus adopté, en Février 2004, une directive visant la promotion de la cogénération (Directive 2004/8/CEE). Cette volonté de promotion de la cogénération se traduit notamment par des fonds attribués à des programmes de recherche. L'association Cogen Europe est impliquée dans un certain nombre de ces projets dont certains traitant spécifiquement de la micro-cogénération (les projets FutureCogen, MicroMap, Cogen Challenge,...).

Mais, le degré de développement de la micro-cogénération est aujourd'hui globalement faible et contrasté selon les pays.

### 1.2.2 L'Allemagne

**Plus gros consommateur d'énergie en Europe** en général et d'électricité en particulier, la production électrique de l'Allemagne repose principalement sur des centrales thermiques. Cette structure du parc aboutit à une électricité dont le **contenu CO<sub>2</sub> est très élevé** (641 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>e</sub>) et presque deux fois plus important que la moyenne européenne. De plus, le gouvernement Allemand a décidé de ne pas renouveler son parc de centrales nucléaires.

L'autre particularité de l'Allemagne est son fédéralisme. **Les acteurs régionaux voire locaux jouent donc un rôle très important**, notamment dans le domaine de l'énergie. Ainsi, dans le land de Hesse (Frankfurt), les projets de cogénération de faible puissance (<30 kW<sub>e</sub>) peuvent bénéficier d'aides à hauteur de 30% (pour la phase d'étude, les équipements et la réalisation). A Frankfurt, le fournisseur d'énergie communal (Mainova) rachète de plus l'électricité produite au dessus du tarif légal.

**L'Allemagne est aujourd'hui le pays européen où le nombre de micro-cogénérateurs en fonctionnement est le plus important** (modules Senertec et Ecopower principalement). Du fait de la proportion importante de logements collectifs (plus de 50% des logements), les produits de 5 kW<sub>e</sub> (ou plus) dominent.

**Les entreprises Allemandes** sont également bien représentées parmi les industriels ayant mis récemment sur le marché ou étant sur le point d'y parvenir des micro-cogénérateurs à moteur à combustion externe (Solo, Sunmachine, Otag). Notons enfin que les chaudiéristes allemands sont les leaders européens avec des entreprises comme Vaillant, Baxi, Viessmann, Buderus,... La plupart de ces industriels **ont des projets en cours sur la micro-cogénération**, notamment sur la pile à combustible (Vaillant, Viessmann,...) mais aussi par des logiques d'acquisition y compris à l'international.

Les financements publics ou privés sont captés dans une proportion importante par les projets autour de la pile à combustible. Ainsi, plusieurs fournisseurs d'énergie (au moins 6 recensés) sont impliqués dans des suivis sur site principalement avec Vaillant (20 unités en tout) et/ou Hexis (environ 100 unités).

### 1.2.3 Le Royaume-Uni

Le niveau d'**émission de GES** du Royaume-Uni est le deuxième plus important (derrière l'Allemagne) au plan européen. La production électrique du Royaume-Uni repose principalement sur des centrales thermiques. Cette structure du parc aboutit à une électricité dont le contenu CO<sub>2</sub> est assez élevé (430 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>e</sub>). Les pouvoirs publics anglais sont donc engagés dans **une politique importante de réduction** des émissions de GES qui a déjà permis de diminuer ces émissions de plus de 13% par rapport à leur niveau de 1990.

L'intérêt potentiel de la cogénération en général est, dans ce contexte, important. Le gouvernement anglais s'est donc fixé comme objectif de posséder une capacité installée de **10 000 MWe en cogénération à l'horizon 2010** (contre moins de 5000 MWe fin 2002).

Autre donnée structurelle, **le parc des logements** est important (24 millions d'unités) et **est**, en moyenne, relativement **mal isolé**. Cette donnée supplémentaire va, quant à elle, dans le sens spécifiquement de la micro-cogénération dont le potentiel estimé est important notamment pour les modules de 1 kW<sub>e</sub>.

Le « **MicroPower Council** » est une association qui regroupe les principaux acteurs de la micro-cogénération et qui en assure la promotion.

Dans un marché de l'énergie complètement ouvert à la concurrence, **les distributeurs d'énergie jouent également un rôle important**. Ainsi, le module aujourd'hui le plus installé en Grande-Bretagne est le micro-cogénérateur à moteur Stirling Whispergen. Cet équipement est commercialisé par Powergen (branche résidentiel de **E-on UK**, elle-même filiale du distributeur d'énergie allemand E-on). **British gas** est l'autre opérateur énergétique d'importance à travailler sur la micro-cogénération puisque Microgen qui développe un module de 1 kWe à moteur Stirling en est une filiale.

Les modules à moteur à combustion interne de Senertec (via Baxi technologies UK) et Ecopower sont également distribués. Enfin, Disenco et Baxi micropower sont deux autres acteurs anglais dont les produits (moteur à combustion externe) sont proches d'être commercialisés.

#### 1.2.4 La Hollande

**Le gaz** est très utilisé en Hollande que ce soit pour la production électrique (62% de l'électricité produite) ou pour le chauffage des bâtiments. Par ailleurs, la Hollande est en retard par rapport à ses engagements de réduction d'émission de GES.

Si la **micro-cogénération n'est pas encore très développée dans ce pays**, le contexte et le potentiel semblent favorables. Mais aucune mesure d'incitation n'a à ce jour été prise. Pour n'avoir pas pris en compte l'existence et la spécificité de la micro-cogénération, des mesures réglementaires récentes, conçues pour la cogénération, doivent s'appliquer à la micro-cogénération alors qu'elles sont parfois inadaptées à cette gamme de produit. L'ouverture prochaine des marchés de l'énergie et les travaux de concertation entre associations de promotion et pouvoirs publics pourraient permettre de lever ces barrières.

**Les distributeurs d'énergie sont très présents sur ces activités** que ce soit **GasUnie** (par des participations aux suivis sur sites sur des modules Whispergen et des PàC Vaillant et également par des collaborations avec Microgen) ou **Eneco** (qui participe également aux suivis sur les piles Vaillant et qui est actionnaire de ENATEC, entreprise qui développe un module à moteur Stirling).

#### 1.2.5 Hors Europe

Le **Japon** est le plus grand marché au monde en matière de micro-cogénération. Les produits à moteur à combustion interne y sont déjà largement diffusés et de nombreux acteurs travaillent sur la pile à combustible.

Le contexte japonais est particulièrement favorable :

- Electricité d'origine fossile (60% de l'électricité produite),
- Sous-capacité de production électrique par rapport aux pics de consommation,
- Forte dépendance énergétique,
- Coût de l'électricité élevé (le Japon est le pays de l'OCDE où l'électricité est la plus chère),
- Le marché du gaz est organisé autour de distributeurs régionaux (Osaka gas, Tokyo gas,...) mais est ouvert depuis 1995 (concurrence possible entre ces acteurs régionaux).

Ces différents éléments expliquent que les pouvoirs publics d'une part et les fournisseurs d'énergie d'autre part encouragent les technologies qui limitent le recours à l'électricité. C'est le cas de la micro-cogénération mais aussi de la climatisation au gaz (climatiseur à moteur thermique et machine à absorption). Par exemple, le module de Honda, Ecowill, coûte 730 000 JPY (environ 5000 €) et une subvention de 213 000 JPY (environ 1500 €, soit près de 30%) est attribuée.

Plusieurs constructeurs sont actifs en **Amérique du Nord**. Marathon prévoit de commercialiser le module Ecopower (MCI), Climate energy distribue le produit de Honda et la recherche est active

concernant les piles à combustibles (les américains PlugPower et Nuvera, le canadien Ballard,...). Mais plusieurs facteurs sont défavorables à la cogénération : l'électricité est peu chère, le chauffage à air chaud est très développé et les distributeurs d'énergie semblent marquer une résistance au développement de cette technique. Vectorcogen qui commercialisait un module avec un moteur Yamaha de 5 kWe a ainsi dû récemment déposer le bilan.



**Micro-cogénérateurs moteur stirling des constructeurs Solo, Whispergen et Microgen**

## 2. ETAPE 2 : CONTENU DE L'INNOVATION

### 2.1 DESCRIPTION DE LA TECHNOLOGIE :

#### 2.1.1 Les concepts du système

La cogénération (CHP, « Combined Heat and Power ») est la production simultanée d'une énergie mécanique (le plus souvent transformée ensuite en électricité) et d'une énergie thermique à partir d'une source unique d'énergie primaire. La cogénération permet une économie sur la consommation d'énergie primaire par rapport à une fourniture énergétique équivalente à partir de procédés dissociés.

La Directive européenne 2004/8/CE concernant la promotion de la cogénération a fixé à 50 kWe le seuil en dessous duquel on parle de micro-cogénération. En France, étant données les plages d'abonnement EDF et les contrats de raccordement, le seuil de la micro-cogénération est fixé à 36 kWe. Enfin, le projet de norme Pr NF EN 50438 sur les « Prescriptions pour le raccordement de micro-générateurs en parallèle avec les réseaux publics de distribution basse-tension » concerne les équipements dont la production électrique est inférieure à 16 A par phase (soit environ 10 kWe pour une production en tri-phasé). **C'est ce dernier seuil de 10 kWe qui est retenu pour cette étude.**

Les gros cogénérateurs sont avant tout conçus pour produire de l'électricité. Ils seront dimensionnés pour fonctionner à pleine charge durant une certaine période de l'année. La chaleur alors produite doit correspondre à un niveau de base du besoin thermique d'un ou plusieurs bâtiments ou être valorisée sur un réseau de chaleur. Le contrat de cogénération comprendra le plus souvent des exigences concernant la fourniture d'électricité (disponibilité, puissance,...). Ces installations sont gérées dans un contexte industriel.

A l'inverse, **les micro-cogénérateurs** de plus faible puissance (1 à 10 kWe) sont utilisés pour couvrir (en partie ou en totalité) les besoins thermiques d'un unique bâtiment. Ils peuvent donc être vus comme « **des chaudières qui produisent de l'électricité** ». La quantité d'électricité produite n'est alors qu'une conséquence du fonctionnement de l'équipement pour couvrir ces besoins (chauffage + eau chaude sanitaire). L'électricité produite est d'abord auto-consommée au niveau du bâtiment desservi et seul le surplus est exporté sur le réseau de distribution électrique. Selon leur puissance, ces équipements peuvent être utilisés pour couvrir les besoins d'une maison individuelle, de logements collectifs ou de bâtiments tertiaires de faible taille (hôtels, bâtiments de santé, bâtiments scolaires,...). L'exploitation de ces installations devra pouvoir être confiée à des entreprises assurant aujourd'hui l'exploitation des installations de chauffage traditionnelles (artisans chauffagistes ou entreprises de génie climatique,...).

De plus, la problématique de développement, les marchés potentiels, le jeu des acteurs et les règles de raccordement au réseau sont très différents entre ces deux familles de produits.

#### 2.1.2 Technologies employées et principes de fonctionnement

Les technologies pouvant être mises en œuvre afin de produire l'énergie mécanique (ou directement l'électricité) dans un micro-cogénérateur peuvent être diverses. On distinguera principalement :

- Les moteurs à combustion interne
- Les moteurs à combustion externe
- Les piles à combustibles

Quelle que soit la technologie, la fourniture thermique sera liée aux besoins de refroidissement du cycle thermodynamique.

#### Les moteurs à combustion interne

Le principe de fonctionnement des moteurs à combustion interne (MCI) utilisés dans certains micro-cogénérateurs est le même que les moteurs à explosion de nos voitures à essence.

La technologie de ces moteurs est donc connue et maîtrisée de longue date. La production à grande échelle, notamment pour l'industrie automobile, permet à ce type de moteurs de pouvoir être fabriqué pour un coût faible.

### **Les moteurs à combustion externe**

Contrairement aux moteurs précédents, dans les moteurs à combustion externe, le combustible ne sert qu'à fournir de l'énergie thermique à un fluide de travail, utilisé en cycle fermé. Pour des applications en micro-cogénération, on trouve essentiellement deux grandes familles de moteurs à combustion externe : les moteurs à cycle de Stirling (appelés plus simplement « moteurs Stirling ») et les moteurs à cycle de Rankine (le cycle de Rankine est le cycle thermodynamique des turbines à vapeur, donc celui des centrales électriques thermiques ou nucléaires).

Dans les moteurs Stirling, le fluide de travail peut être de l'hélium ou de l'azote sous forte pression. Dans les moteurs à cycle Rankine, c'est l'eau qui est usuellement le fluide de travail (dans les grosses installations et dans les micro-cogénérateurs), bien que des micro-cogénérateurs ont également été développés pour utiliser des fluides organiques de masse moléculaire élevée («Organic Rankine Cycle »).

### **La pile à combustible**

Contrairement aux technologies précédentes, la production d'électricité dans une pile à combustible ne repose pas sur une production d'énergie mécanique pour entraîner un alternateur mais sur une réaction électro-chimique qui peut être présentée de manière simple comme étant la réaction inverse de l'électrolyse de l'eau :  $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$

Il existe différents types de piles à combustible. Cependant, les piles de type PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) et SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) semblent les plus adaptées pour des applications en micro-cogénération.

### **Autres technologies**

D'autres technologies sont envisageables pour produire de l'électricité mais n'ont pas été retenues dans le champ de cette étude soit parce que le procédé fait encore l'objet de recherches fondamentales (structures thermo-électriques) soit parce qu'il n'existe pas de produit dans la gamme de puissance retenue (cas des turbines à gaz dont le plus petit modèle actuellement sur le marché à une puissance de 30 kWe).

#### **2.1.3 Comparaison entre les différentes technologies**

Les familles de produits présentées précédemment se différencient sur des critères tels que :

- le ratio puissance électrique / puissance thermique,
- la gamme de puissance électrique,
- le niveau sonore,
- les contraintes de maintenance,
- la flexibilité de la nature du combustible,
- le coût,

- le degré de maturité.

Du fait que la combustion soit externe, les moteurs Stirling et à cycle de Rankine présentent les avantages suivants par rapport aux moteurs à combustion interne :

- grande souplesse et nombreuses possibilités dans le choix du combustible,
- faible niveau sonore,
- besoins de maintenance réduits,
- niveaux d'émissions de polluants plus bas (meilleure maîtrise de la combustion).

Ces moteurs ont, par contre, des rendements électriques plus faibles que les moteurs à combustion interne et que les piles à combustible (respectivement de l'ordre de 10%, 25% et 30/40%). Précisons de plus que les moteurs à cycle de Rankine travaillent à des pressions plus faibles et présentent une inertie plus faible que les moteurs Stirling.

Les piles à combustible, quant à elles, constituent la technologie de micro-cogénérateurs qui présente le potentiel le plus important en terme de rendement électrique. La conséquence est que la puissance thermique est faible. Un brûleur d'appoint se trouvera toujours associé à la pile. Elles sont silencieuses mais nécessitent aujourd'hui des opérations de maintenance fréquentes. Elles restent assez largement la technologie la plus chère des micro-cogénérateurs, notamment du fait des métaux nobles employés pour la catalyse (platine). Des piles à combustible sont développées pour des applications très diverses et dans une très grande plage de puissance. Hormis le cas du Japon où déjà 500 unités ont été installées en maison individuelle, les produits les plus avancés semblent être ceux de Vaillant, Hexis qui ensemble cumulent plusieurs dizaines d'unités en essai sur sites réels. Mais, pour la plupart des produits, des efforts de R&D doivent être encore menés pour améliorer la fiabilité et la durée de vie (problème du réformage), diminuer le coût et diminuer l'encombrement.

## 2.2 HORIZON TEMPOREL : ETAT DE L'OFFRE

La très grande majorité des micro-cogénérateurs ont été développés pour utiliser le gaz naturel comme combustible.

Si le ratio [Puissance électrique/Puissance thermique] varie fortement d'une famille (voire d'un produit) à l'autre, le rendement global sur PCS ( $(P_{th} + P_{elec})/P_{gaz}$ ) est, quant à lui, le plus souvent compris entre 80 et 90%. Cela revient à dire que les produits qui auront les meilleurs rendements électriques produiront moins de chaleur.

Technologie	Constructeur	Origine	P <sub>élec</sub> (kWe)	P <sub>th</sub> (kW)	η <sub>élec</sub> (PCS)	η <sub>th</sub> (PCS)
Combustion interne	Senertec	Allemagne	5,5	12,5	24%	55%
	Ecopower	Suisse	4,7	12,5	22%	59%
	Honda	Japon	1,0	3,0	18%	59%
	Yanmar	Japon	-	-	-	-
Moteur Stirling au gaz	Solo	Allemagne	7,5	22,0	22%	64%
	Disenco	Angleterre	3,0	9,0 (→18)	23%	60%
	Whispergen	N <sup>lle</sup> -Zélande	1,2	8,0	11%	73%
	Enatec	Pays Bas	1,0	6,0 (→24)	-	-
	Microgen	Angleterre	1,1	- (→15 ou 36)	-	-
Moteur à cycle de Rankine	Baxi Micropower	Angleterre	1,0	10,0	-	-
	Cogen Micro	Australie	2,5	11,0	-	-
	Climate Energy	USA	3,0	30,0	-	-
	Enginion	Allemagne	6,0	25,0-	-	-
	OTAG	Allemagne	2,1	16	10%	76%
Moteur Stirling à Biomasse	Sunmachine	Allemagne	3	10	25%	70%
	Stirling Power Module	Autriche	1	15	-	-
	Hoval	Lichtenstein	1	50	-	-
Pile à combustible	Hexis	Suisse	1,0	2,0	-	-
	Vaillant	Allemagne	4,6	7,0	-	-
	Buderus	Allemagne	4,6	7,0	-	-
	European Fuel Cell	Allemagne	1,5	2,9	-	-
	CFCL	Australie	1,0	1,0 (→12 à 52)	40%	40%
	Viessmann	Allemagne	2,0-	-	-	-
	Ebara / Ballard	Japon/Canada	1,0	1,6	32%	50%-

Remarques :

Le tableau a été établi à partir des documentations techniques disponibles. Mais la plupart des matériels n'étant pas encore commercialisés, ces documentations n'existent pas toujours et certaines caractéristiques techniques sont encore susceptibles

d'évoluer avant la version finale. De plus concernant les rendements, il n'est pas toujours précisé s'ils sont exprimés par rapport au PCI ou au PCS.

*Certains micro-cogénérateurs possèdent deux générateurs : le moteur et un brûleur d'appoint. Quand l'information nous était connue, nous avons différencié ces deux puissances (en adoptant l'écriture « (→ kW) » pour la puissance de l'appoint).*



**Micro-cogénérateurs à moteur à cycle rankine  
des constructeurs Cogen Micro, Enginion et Otag**

### 3. ETAPE 3 : MISE EN ŒUVRE

#### 3.1 MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER

Aujourd'hui, il paraît aujourd'hui difficilement envisageable de faire une mise en service sans appui d'un représentant du constructeur ou du distributeur. La commercialisation des modules Senertec repose sur un réseau de 25 « centres techniques » régionaux (franchises) et plus de 350 installateurs locaux agréés.

Pourtant les raccordements hydrauliques demandent peu de compétence, les parties gaz, fumisterie et évacuation des condensats sont tout à fait identiques à celles de chaudières et le raccordement électrique doit être protégé par un fusible. La partie comptage est plus complexe. Néanmoins, de nombreux installateurs de panneaux photovoltaïques sont formés à la mise en place de compteurs et ces installations sont de plus vérifiées par EDF.

Enfin, la phase de mise au point de l'installation comprend plus de vérifications que sur une chaudière (vérification de la pression d'azote pour les moteurs Stirling par exemple) mais aussi certaines opérations communes (comme l'analyse de la combustion). Les chaudiéristes sont donc a priori les installateurs à même de prendre en main la MCHP. Mais une formation est nécessaire.

#### 3.2 SPECIFICITE DE MISE EN ŒUVRE

Si les micro-cogénérateurs sont assimilables à une famille particulière de chaudière, leur intégration à une installation de chauffage à eau chaude doit tout de même prendre en compte certaines spécificités.

##### 3.2.1 Conception spécifique : Hydroaccumulation, Régulation

Les micro-cogénérateurs seront le plus souvent régulés par rapport aux besoins thermiques, mais l'installation n'est pas nécessairement conçue pour suivre ce besoin en instantané. Le rendement électrique moyen se dégrade avec la répétition trop fréquente des cycles de démarrage et d'arrêt (de manière plus ou moins prononcée selon les produits). Il faudra chercher à privilégier **des séquences de fonctionnement longues**.

Beaucoup de produits ont la capacité de moduler leur puissance sur une partie de leur plage de fonctionnement (moteurs à combustion interne et brûleurs modulants). Mais il sera préférable en plus de mettre en oeuvre des réseaux de distribution hydraulique présentant une forte inertie (ballon de stockage ou plancher chauffant). Cette caractéristique remet en cause les méthodes habituelles de dimensionnement basées sur la notion de puissance (déperditions) et non d'énergie. De même, la production d'eau chaude sanitaire ne pourra se faire de manière instantanée mais nécessitera également un stockage (qui pourra être le même que celui du chauffage).

On distingue deux modes de fonctionnement :

- Dimensionnement en base : dans ce mode, le micro-cogénérateur est « sous dimensionné », c'est-à-dire qu'il répond au besoin minimum en chaleur et il fonctionne donc sans arrêt toute l'année. La rentabilité d'un tel système est maximale. Néanmoins, ce mode n'est applicable que dans les bâtiments où les besoins minimaux sont suffisamment élevés. Une seconde chaudière fonctionne de manière variable pour correspondre à la courbe de charge.
- Compromis entre temps de fonctionnement et rentabilité : ce mode est choisi lorsque le précédent n'est pas réalisable. Le micro-cogénérateur est le seul générateur utilisé. Il doit lui-même suivre la courbe de charge. Certains micro-cogénérateurs ne fonctionnent pas à charge partielle, il est donc nécessaire qu'ils disposent d'un brûleur d'appoint. Il s'agit alors d'optimiser la longueur des séquences de fonctionnement afin d'avoir le meilleur rendement. L'inertie du réseau et du bâtiment permet de créer un déphasage entre les besoins et la production thermique (et donc électrique). La régulation de l'installation doit donc permettre de faire

fonctionner le module prioritairement sur les heures pleines (ce qui augmente l'intérêt économique et l'intérêt pour le gestionnaire de réseau).

### **3.2.2 Raccordement électrique**

Un micro-cogénérateur ne peut fonctionner indépendamment du réseau. Un micro-cogénérateur n'est pas, comme un groupe électrogène, un équipement permettant de produire de l'électricité en cas de défaillance ou de coupure volontaire sur le réseau.

Les micro-cogénérateurs doivent être raccordés au réseau basse-tension. Selon le mode de raccordement,

- soit toute l'électricité produite est exportée sur le réseau et tous les besoins électriques du bâtiment sont couverts par le réseau,
- soit le réseau couvre ou absorbe la différence entre la production et les besoins.

Les protocoles de raccordement simplifié ou les préconisations des constructeurs semblent aujourd'hui privilégier la seconde solution. Mais, dans le cas où le tarif de rachat de l'électricité exportée est supérieur à celui importée, la première solution permettrait une meilleure rentabilité économique si le surcoût de raccordement n'est pas élevé.

En Allemagne, le raccordement au réseau nécessite toujours une demande d'autorisation au près de l'opérateur de réseau. Mais des discussions sont en cours pour mettre au point des procédures simplifiées. Notons également que l'électricité exportée ne peut être rachetée que par l'opérateur local.

Au Royaume Uni, le raccordement au réseau est simplifié : le référentiel technique G83/1 permet de raccorder un micro-cogénérateur (et plus largement tout microgénérateur, c'est à dire également photovoltaïque, éolien,...) sans accord préalable de l'opérateur de réseau.

### **3.2.3 Stockage du bois**

Pour les cogénérateurs fonctionnant à partir de biomasse, on retrouve les contraintes des chaudières à bois. La place dédiée au stockage du bois est un facteur qui limite le marché aux zones rurales ou périurbaines, de même que l'approvisionnement en bois. La filière bois se structure aujourd'hui en France afin de répondre au besoin généré par les chaudières bois.

## **3.3 MODALITES DE MAINTENANCE**

L'objectif est une maintenance annuelle, ce qui n'est pas encore le cas pour tous les produits, notamment pour les piles à combustibles. La maintenance de premier niveau paraît assez simple : vérifier la combustion, vérifier la pression d'azote,... Pour les moteurs à combustion interne, la partie moteur et son exploitation (vidange, filtres,...) nécessitent des compétences différentes de celles d'un chauffagiste et correspondent plutôt à celles d'un garagiste.

En revanche, en cas de panne, l'expertise de l'électronique et de la partie moteur ne semblent pas pouvoir échapper au constructeur.

Pour la MCHP à bois, il y a également un ramonage annuel à effectuer.

## **3.4 INCITATIONS REGLEMENTAIRE, FISCALE..., MODALITES DE FINANCEMENT**

### **3.4.1 Allemagne**

L'Allemagne est donc fortement engagée dans le développement des moyens de production énergétique plus efficaces et plus propres. Le développement de la cogénération en général est donc encouragé et plusieurs mesures incitatives ont été prises :

- **exonération de la taxe sur les produits pétroliers** (qui s'élève à 0,55 c€/kWh<sub>PCS</sub> pour le gaz naturel),
- prise en compte dans la réglementation thermique sur le neuf (utiliser un micro-cogénérateur permet d'abaisser le niveau d'isolation exigé),
- en rénovation, il est possible de bénéficier de prêts à bas taux et de subventions d'une banque spécialisée (la Kreditanstalt für Wiederaufbau Bank),
- Enfin, **les tarifs de rachat** de l'électricité produite sont de plus assez avantageux. Le « German co-generation act » définit les tarifs de rachat de l'électricité. Ce tarif est constitué de trois composantes :
  - un prix de base variant en fonction des prix de l'énergie (environ 4 c€/kWh),
  - une prime pour l'électricité évitée (0,4 à 0,8 c€/kWh),
  - une composante garantie pour une durée de 10 ans (5,11 c€/kWh pour une installation mise en service avant 2008). Ce dernier facteur est plus élevé si le combustible utilisé est du biogaz (7c€ environ) ou de la biomasse (11 c€ environ).

Ces mesures sont accompagnées de nombreuses initiatives locales qui complètent et augmentent les incitations nationales.

### 3.4.2 Royaume Uni

Depuis 2002, **plusieurs aménagements réglementaires et autres incitations** ont été adoptés en faveur de la micro-cogénération :

- Le gouvernement a annoncé en 2005 que la TVA sur les micro-cogénérateurs passera de 17,5% à 5,5% ;
- Pour les usages non résidentiels, les installations de cogénérations sont exonérées de la taxe sur le changement climatique (« Climate change Levy ») ;
- Prise en compte de la micro-cogénération dans la réglementation Thermique (Building Regulation, part P).



**Micro-cogénérateurs à moteur Stirling à biomasse  
des constructeurs Hoval et Sunmachine**

## 4. ETAPE 4 : EVALUATION DES RESULTATS DANS LES PAYS CONCERNES

### 4.1 LES PERFORMANCES

Le « Carbon Trust » est une entreprise indépendante mais financée par le gouvernement anglais. Entre autres actions, cet organisme finance des essais sur sites pour évaluer plus précisément l'intérêt réel de la petite et de la micro-cogénération. La campagne en cours porte sur 40 appareils (31 micro-cogénérateurs et 9 petits cogénérateurs) dont Microgen, Whispergen, Baxi, Disenco and Frichs. Cette campagne d'essais doit se prolonger jusqu'en 2007.

#### 4.1.1 Energie

Toute production d'énergie mécanique d'origine thermodynamique produit de la chaleur qui peut être considérée comme un déchet de cette production. Dans les centrales de production d'électricité (nucléaires ou thermiques), cette chaleur est évacuée dans l'environnement, via des tours aéroréfrigérantes et représente environ deux fois la quantité d'énergie électrique produite. La cogénération valorise au contraire cette chaleur et permet une économie sur la consommation d'énergie primaire par rapport à une fourniture énergétique équivalente à partir de procédés dissociés.

La performance total du système atteint en moyenne 90%. Ce rendement total n'est pas aussi élevé que pour une chaudière à condensation par manque de maturité de la technologie. Néanmoins, la plus grande marge de progression reste sur les rendements mécaniques afin de produire plus d'électricité.

La valeur moyenne des besoins électriques d'une maison individuelle est de l'ordre de 1 kW. Cette valeur moyenne est le résultat d'une consommation de base (autour de 100 à 500 W) et de pics de consommation. Selon plusieurs auteurs et les essais du COSTIC, le taux de couverture des besoins électriques par un micro-cogénérateur de 1 kW serait d'environ 50%.

#### 4.1.2 Environnementale

Au Royaume-Uni, plusieurs études estiment à 1,5 t/an la diminution des émissions de CO<sub>2</sub> engendrée par l'utilisation d'un micro-cogénérateur de 1 kW<sub>e</sub>.

Par ailleurs dans le contexte allemand, Senertec et Ecopower annoncent des réductions de CO<sub>2</sub> de 50%.

## 4.2 LES COUTS REELS

### 4.2.1 Coût Initial - Investissement

Dans le tableau ci-dessous, se trouvent les prix des MCHP. Pour une installation complète, il faut rajouter le système à hydro-accumulation, les coûts de raccordement au réseau et la main d'œuvre.

	Prix de l'unité (€)	Prix en €/kWélectrique
Senertec	15000 – 20000	2700 - 3600
Ecopower	17000	3600
Honda	5300	5300
Whispergen	4500	3750
Solo	25000	3300
Sunmachine	23500	7800 (Biomasse)

### 4.2.2 Coût Opérationnel - Exploitation – Maintenance

La maintenance des unités doit être réalisée une fois par an, à l'identique d'une chaudière.

Le fonctionnement de la MCHP va faire en sorte que l'on consomme plus de combustible : bois ou gaz, mais une partie sert à produire de l'électricité qui permet soit de diminuer la facture électrique d'autant soit de générer un revenu supplémentaire selon le mode de raccordement au réseau choisi.

Dans le contexte allemand, Senertec et Ecopower annoncent des temps de retour de 4 à 7 ans.

### 4.3 LE VECU DES UTILISATEURS – AVIS DES ACTEURS ET DU PUBLIC

#### 4.3.1 Intérêts pour les clients finaux

Du point de vue des clients finaux, la micro-cogénération peut permettre :

- de **réduire la facture énergétique** ;
- de satisfaire la volonté de participer à l'effort commun de réduction des consommations d'énergie et d'émission de GES (réponse à la prise de conscience des enjeux environnementaux).

#### 4.3.2 Intérêts pour les pouvoirs publics

Du point de vue des pouvoirs publics, la micro-cogénération peut permettre :

- d'augmenter l'efficacité énergétique moyenne du parc de production électrique (par la valorisation thermique mais aussi par les pertes en ligne évitées) et donc, à besoins constants, de **diminuer la consommation d'énergie primaire** ;
- de contribuer au respect des engagements nationaux et internationaux sur l'efficacité énergétique et **la diminution des émissions de gaz à effet de serre (GES)** ;
- d'**éviter des investissements** qui seraient engendrés par la mise en œuvre de nouveaux moyens de production centralisés (centrale et renforcement des lignes) ;
- de reporter sur l'utilisateur final l'investissement de nouvelles capacités de production.

#### 4.3.3 Intérêts pour les syndicats d'électrification

La micro-cogénération peut permettre de faire baisser les coûts de renforcement des réseaux de distribution d'électricité, notamment en zone rurale, par la production décentralisée d'électricité.

#### 4.3.4 Intérêts pour les fournisseurs d'énergie

Du point de vue des fournisseurs d'énergie, la micro-cogénération peut permettre :

- de contribuer au respect des **obligations d'économies d'énergie** imposées à ces acteurs dans certains pays (par exemple, le mécanisme des certificats d'économie d'énergie, en France) ;
- de créer de **nouvelles formes de commercialisation de l'énergie** et de fidélisation des clients (dans un marché ouvert où un même fournisseur pourrait vendre le combustible et racheter l'électricité produite) ;
- d'afficher une implication et une activité dans le domaine de l'innovation et de l'efficacité énergétique.

### 4.3.5 Intérêts pour les industriels

Du point de vue des industriels des équipements de chauffage, la micro-cogénération peut permettre :

- d'**augmenter les ventes** ;
- d'élargir la gamme des produits et des services ;
- de se différencier de la concurrence ;
- d'afficher les qualités énergétiques et environnementales d'un produit innovant.

### 4.3.6 Limites

Si un micro-cogénérateur est un équipement dont la performance énergétique est élevée, les appareils déjà commercialisés ou en voie de l'être utilisent principalement le gaz naturel et restent donc des équipements qui utilisent des énergies fossiles et qui ne valorisent pas d'énergies renouvelables (la principale exception est constituée des micro-cogénérateurs à moteurs à combustion externe alimentés en biomasse). De ce fait, **l'intérêt environnemental** des installations de micro-cogénération n'est pas acquis de manière certaine et **peut varier de manière importante** selon les produits, les utilisations, les installations, les performances du produit remplacé ou concurrent et le contexte énergétique.

Il en va de même pour l'intérêt économique avec des facteurs supplémentaires à prendre en compte (coûts des énergies ou plus précisément le rapport entre le prix de l'électricité et celui de gaz, fiscalité, mesures incitatives,...).

Toujours sur le plan économique, les micro-cogénérateurs sont aujourd'hui pénalisés par un coût d'investissement encore trop élevé pour certains produits. Mais les valeurs actuelles n'ont pas tellement de sens dans un marché naissant dont les volumes sont encore très faibles.

Une autre limite de la micro-cogénération est la **faible puissance électrique** de chaque équipement. Pour impacter de manière significative sur un bilan énergétique national, la micro-cogénération devra connaître des niveaux de développement et des taux de pénétration importants (plusieurs dizaines de milliers d'unités).

Ce développement à grande échelle peut être antagoniste avec, ou limité par **le fonctionnement des réseaux électriques** qui ont été conçus pour fonctionner de la production centralisée vers l'utilisation et non de manière réversible. Tant que l'injection locale sur le réseau basse tension peut être absorbée par une charge voisine, le fonctionnement d'un micro-cogénérateur ne se traduit que par une diminution de l'appel de puissance au niveau amont. Mais si la production dépasse les besoins et que le niveau basse-tension devient exportateur, des difficultés de gestion importante apparaissent. Beaucoup de travaux de recherche sont en cours sur ces problématiques de gestion de réseaux à forte proportion de production décentralisée. Une étude commanditée par le Carbon Trust a montré que, jusqu'à un taux d'équipement de 50% des logements, le développement de la micro-cogénération n'aurait pas d'impact notable sur le fonctionnement du réseau anglais.

## 4.4 LE MARCHÉ – COMMERCIALISATION

### 4.4.1 Evaluation du potentiel par l'analyse du marché du chauffage à eau chaude

S'il est entendu que les micro-cogénérateurs visent le marché de la chaudière, le potentiel de développement de la micro-cogénération peut être approché par l'analyse du marché actuel des chaudières (neuf et rénovation).

Il a été vendu, en Europe en 2003, environ 6 millions de chaudières. Ce marché se répartit principalement entre la Grande-Bretagne (25%), l'Italie (17%), l'Allemagne (13%), et la France (12%).

Le parc installé en Europe serait de l'ordre de 60 à 80 millions de chaudières. Par ailleurs, le marché est largement dominé par les chaudières murales (dans un rapport de 1 pour 5 environ).

En ce qui concerne les chaudières à condensation, elles connaissent des degrés de développement variés selon les pays. Elles représentent 15% du marché en Grande-Bretagne et sont très présentes en Hollande et en Allemagne, tandis qu'elles représentent moins de 2% du marché français.

Ainsi, en théorie, la micro-cogénération pourrait à terme remplacer toutes les chaudières existantes car les modèles peuvent être déclinés sous différentes énergies, en chaudière murale ou non, etc. Cependant, un parallèle avec les chaudières à condensation est moins optimiste et reflète le faible taux de pénétration des innovations technologiques sur le marché des chaudières, en France notamment.

#### 4.4.2 Scénarii de développement

Plusieurs scénarii de développement de la micro-cogénération ont été exposés dans le cadre de différentes études. Les projections en Grande Bretagne varient entre 140 000 et 1,6 million d'unités pour 2010 et sont pour l'Europe de quelques millions pour 2020.

Les prévisions sont donc assez optimistes, mais elles peuvent varier dans des proportions importantes. Il faut dire que les incertitudes sont encore nombreuses au moment où le marché de la micro-cogénération commence à peine à émerger.

#### 4.4.3 Quelles formes de commercialisation ?

Les produits déjà commercialisés et les démarches actuelles des différents acteurs permettent de voir émerger différentes voies de commercialisation possible.

La première d'entre elles consisterait, encore une fois, à assimiler les micro-cogénérateurs à des chaudières et donc à commercialiser les micro-cogénérateurs par **la chaîne commerciale traditionnelle** : constructeurs → distributeurs / grossistes → installateurs / artisans → clients. Les chaudiéristes qui pratiquent aujourd'hui l'intégration horizontale (Baxi, Vaillant,...) ou les développeurs de moteurs qui cherchent des partenariats avec des industriels pourraient emprunter cette voie. Cette formule présenterait l'avantage de s'appuyer sur des structures déjà en place et permettre une diffusion à grande échelle. L'installateur qui est le premier prescripteur en individuel joue un rôle clé aussi bien technique que commercial. C'est justement la limite de cette chaîne, car les installateurs pourraient montrer une certaine résistance à ces nouveaux produits et à la formation complémentaire qu'ils nécessitent. L'autre inconvénient est que la multiplication des intermédiaires engendre généralement un prix final pour le client plus élevé.

Une seconde voie envisageable reposerait sur **une commercialisation directe**. Cette commercialisation directe peut être assurée par le constructeur (Ex : Senertec) ou par un fournisseur d'énergie :

- Powergen en Grande-Bretagne avec le module Whispergen (soit le client achète la machine et il paie mensuellement l'énergie consommée (l'électricité produite apparaît sur la facture), soit le client paie tous les mois pendant 3 à 5 ans un montant qui englobe le coût du système, l'installation, la maintenance et l'énergie consommée).
- Les compagnies du gaz japonais (Tokyo gas, Osaka gas,...) avec le module Ecowill de Honda (appareil en leasing + paiement mensuel en fonction de l'énergie produite).

Cette forme de distribution présente pour le client l'avantage de n'avoir qu'un seul interlocuteur. Etant donné le nombre importants de fournisseurs d'énergie ayant une activité directe ou indirecte (intégration verticale, partenariats, sponsoring,...) en matière de micro-cogénération, plusieurs offrent reposant sur ce schéma pourraient prochainement apparaître.



**Micro-cogénérateurs à pile à combustible des constructeurs Hexis et Vaillant**

## 5. ETAPE 5 : REFLEXION CRITIQUE

### 5.1 SWOT

#### Strengths – Forces :

- Diminue la consommation en énergie primaire de l'utilisateur
- Réduit la facture énergétique de l'utilisateur
- Est facile à mettre en œuvre et à utiliser, vient en remplacement des chaudières existantes
- Réduit les coûts d'électrification en zone rurale par production décentralisée d'électricité

#### Weaknesses – Faiblesses :

- Réduit faiblement l'impact environnemental et a une faible rentabilité à cause des faibles durées de fonctionnement par rapport à une chaudière fonctionnant avec le même combustible
- Réduit faiblement l'impact environnemental et a une faible rentabilité à cause de la faible capacité électrique des produits
- Représente un investissement très élevé. Ces coûts peuvent être liés à la technologie du produit (des efforts de R&D doivent alors être menés pour les réduire) ou au faible volume actuel de vente. Pour sortir de ce cercle (peu de ventes ↔ produits chers), les gouvernements et/ou les distributeurs d'énergie devront proposer des aides à l'investissement pour lancer ce marché
- Les produits ne sont pas encore arrivés à maturité. Les performances doivent augmenter et le coût diminuer.

#### Particularités pour la MCHP au gaz naturel :

- Fonctionne aujourd'hui avec des énergies fossiles dont le prix est soumis à de nombreuses tensions
- Fonctionne aujourd'hui avec des énergies fossiles qui émettent des gaz à effet de serre

#### Particularités pour la MCHP au bois :

- Est en pré-série actuellement. Les premiers produits finis sont prévus pour 2007-2008.

#### Opportunities – Opportunités :

- L'ouverture du marché de l'énergie est une opportunité pour la MCHP car **les fournisseurs d'énergie** ont un rôle important à jouer. En effet, la MCHP :
  - Peut faire émerger une nouvelle forme de commercialisation de l'énergie
  - Peut répondre à la problématique de croissance de la demande électrique en France en reportant une partie de l'investissement sur les utilisateurs, notamment elle peut éviter aux fournisseurs d'énergie d'investir dans de nouveaux moyens de production centralisée d'électricité en transférant une partie de cet investissement sur les utilisateurs
  - Peut permettre aux fournisseurs d'énergie de respecter les obligations d'économie d'énergie en pouvant devenir une action standard pour les certificats

- Peut permettre aux fournisseurs d'énergie de fidéliser leurs clients
- Peut être une solution différenciante entre fournisseurs d'énergie dans un contexte de marché de l'énergie libéralisé.
- Peut permettre aux **industriels** d'élargir leur gamme en proposant un produit aux qualités énergétiques intéressantes
- Peut permettre de diminuer les coûts d'électrification en zone rurale pour les **syndicats d'électrification** et peut pallier au manque d'infrastructure tels en Bretagne et en PACA
- Est l'objet de pressions européennes qui poussent à son développement. Elle peut devenir éligible au crédit d'impôt, être soumise à un tarif de rachat de l'électricité avantageux et être intégrée dans les prochaines versions de la réglementation thermique ainsi qu'au mécanisme des certificats d'économie d'énergie. Cependant, aujourd'hui, **les pouvoirs publics** manquent de visibilité sur les réels avantages de la micro-cogénération (en général mais aussi selon les produits et les situations) et manque de connaissance de ces spécificités. De ce fait, les micro-cogénérateurs ne sont pas inclus dans les mécanismes d'aides et ne sont pas pris en compte dans l'établissement des nouveaux textes réglementaires

#### **Threats – Menaces :**

- Requiert d'être raccordé au réseau de distribution d'électricité dont les formalités sont aujourd'hui longues, complexes et chères. Une simplification et une harmonisation au niveau européen sont nécessaires. C'est l'objectif du projet de norme PR NF EN 50 438. L'exigence serait alors reportée sur les produits qui doivent faire l'objet de certifications sur la base d'essais normalisés (comme pour les chaudières)
- Requiert d'être raccordé au réseau de distribution d'électricité qui n'est pas adapté à la production décentralisée d'électricité à grande échelle. Les gestionnaires de réseau peuvent donc rester frileux vis à vis d'une trop grande pénétration des systèmes de production décentralisée (difficulté de gestion technique et administrative)
- N'est aujourd'hui pas subventionnée par l'état et rentre en concurrence avec des technologies qui le sont et qui ont déjà pénétré les marchés : pompes à chaleur, solaire thermique et photovoltaïque
- Risque d'être bloquée dans son développement par les installateurs et les mainteneurs car ceux-ci ont besoin de formations particulières. De plus, en cas de panne, ils ne sont pas en mesure de réparer eux-mêmes mais il faut a priori l'intervention du constructeur ou distributeur. De plus, la MCHP manque de notoriété auprès des professionnels et des utilisateurs finaux. En conséquence, ce n'est pas la demande qui stimule l'offre ni les installateurs qui aiguillent la demande.

#### Particularité pour la MCHP au gaz :

- N'est intéressante pour l'environnement, dans les versions fonctionnant à partir d'énergies fossiles, que si le contenu carbone de l'électricité substituée est élevé ou si elle évite la construction de centrales électriques à énergie fossile.

#### Particularité pour la MCHP à granulés bois :

- Dépend de la structuration de la filière bois et, pour le marché des particuliers, de la filière « granulés bois » plus précisément. Elle ne pourra être implémentée que si la disponibilité, le prix et la qualité des granulés est assurée.

## 5.2 POINTS SINGULIERS DU CONTEXTE FRANÇAIS

Le Royaume-Uni et l'Allemagne sont bien plus avancés que la France dans leur engagement dans les économies d'énergie car ce sont de gros émetteurs de GES. L'implication du secteur bancaire est notamment plus grande, ce qui permet de financer nombre d'initiatives innovantes telles la MCHP.

La France, quant à elle, présente **un contexte énergétique tout à fait atypique** par rapport à ses voisins européens. En effet, sa production électrique repose principalement sur le fonctionnement de centrales nucléaires (pour 78%) et hydrauliques (pour 11%). En conséquence, le **contenu CO<sub>2</sub>** de l'électricité produite par la France est **très faible** (de 60 à 120 g<sub>CO2</sub>/kWh<sub>e</sub> voire 180 en pointe).

Le contexte énergétique français est également marqué par **le quasi monopole des opérateurs historiques** (EDF et GDF).

**Le raccordement** d'un micro-cogénérateur au réseau public est normalement possible. Un modèle de contrat pour les petites installations (<36kVA), dont les micro-cogénérateurs, existe même. Ce contrat prévoit notamment que l'électricité produite est rachetée au même tarif qu'elle est vendue à l'utilisateur final. Mais le raccordement nécessite un accord préalable du gestionnaire de réseau.

L'autre difficulté concerne **les protections de découplage**. Pour les équipements d'une puissance inférieure à 4,5 kVA, la garantie (par le constructeur) de la conformité du matériel à la norme allemande DIN VDE 0126 est admise comme condition suffisante. En revanche, en dehors de cette plage de puissance, EDF exige que soit mise en œuvre une protection de découplage externe agréée, même si le module possède lui-même un équipement similaire.

**Les fournisseurs d'énergie français** s'intéressent à la micro-cogénération mais n'en sont pour le moment qu'à des phases d'évaluation de produits. Ni EDF, ni GDF n'a à ce jour annoncé qu'il proposerait prochainement une offre commerciale ou des tarifs spéciaux pour la micro-cogénération.

## 6. ETAPE 6 : CONDITIONS DE LA TRANSPOSITION

### 6.1 LES CHANCES DE LA TRANSPOSITION EN FRANCE

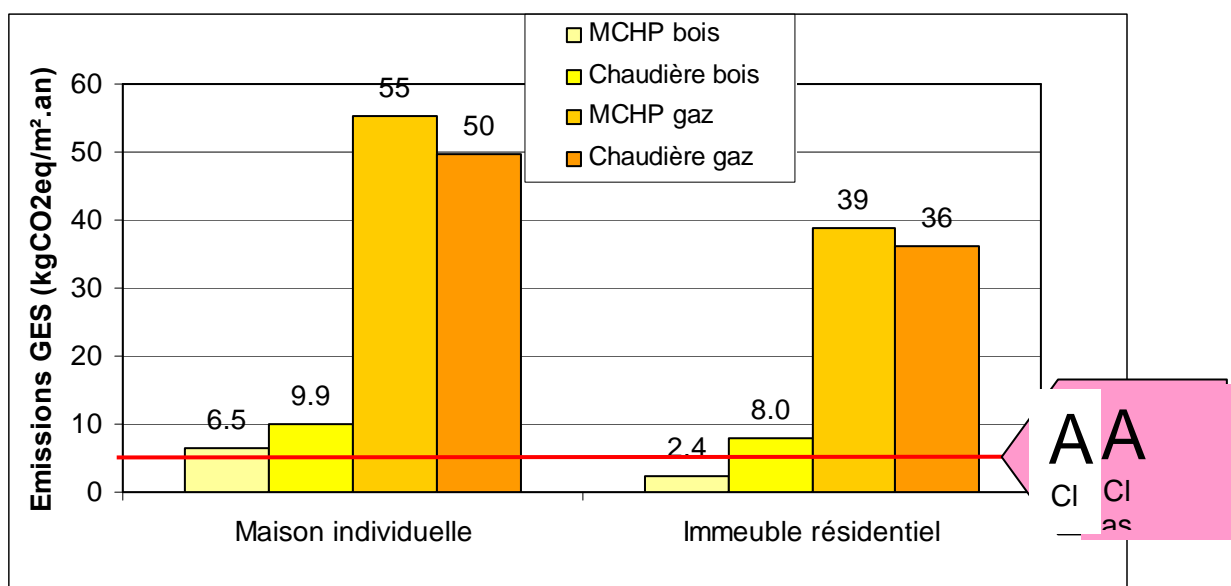
#### Contenu carbone de l'électricité

La différence la plus flagrante entre le contexte énergétique français et ceux du Royaume-Uni et de l'Allemagne est le contenu carbone de l'électricité. L'électricité nucléaire décarbonnée ne laisse pas beaucoup de place à la production d'électricité à partir d'énergie fossile. La micro-cogénération à partir d'énergie fossile, en référence à une chaudière fonctionnant avec la même énergie fossile, ne fait qu'augmenter les émissions de gaz à effet de serre en France alors qu'elle les réduit dans les autres pays. Elle bénéficie donc du soutien financier des états pour respecter les engagements de Kyoto, ce qui ne peut être le cas en France.

Par contre, en France, elle peut être une alternative à la construction de nouveaux moyens de production centralisée d'électricité à partir d'énergie fossile, ce qui devrait arriver avec l'ouverture du marché de l'énergie.

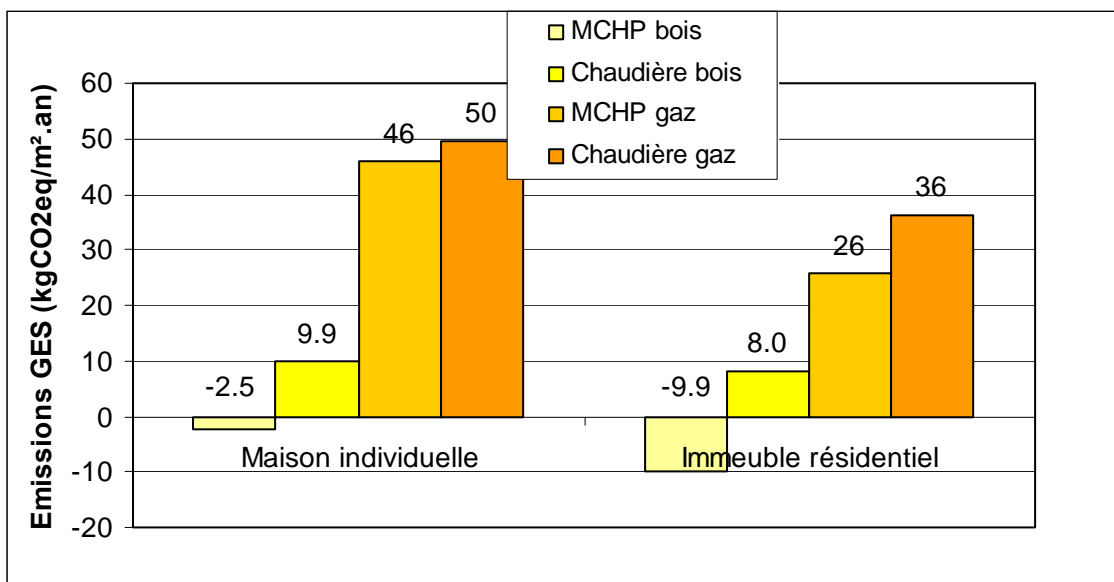
Par ailleurs, l'utilisation de la biomasse est une option intéressante pour la micro-cogénération car elle permettrait de développer cette filière mal valorisée en France et produirait de l'électricité encore moins carbonnée que l'électricité française actuellement. L'installation d'une unité de MCHP bois dans un immeuble est suffisante à elle seule pour que l'immeuble puisse être, au regard de l'étiquette CO<sub>2</sub>, de Classe A (émissions inférieures à 5 kgCO<sub>2</sub>éq/m<sup>2</sup>.an). En cela, elle peut constituer l'une des solutions pour le respect du protocole de Kyoto.

Enfin, l'impact de la MCHP à gaz sur les émissions de GES est plus dommageable que celui de la chaudière gaz condensation dans le contexte français [33].



Bilan carbone du bâtiment tous usages inclus (chauffage, ECS, usages électriques spécifiques, cuisson) par type de chaudière en France

Si on considère, par contre, qu'un parc d'unités de MCHP permet d'éviter la construction d'une « portion » de centrale thermique (électricité plus carbonnée) prévue, le bilan carbone du bâtiment est modifié [33].



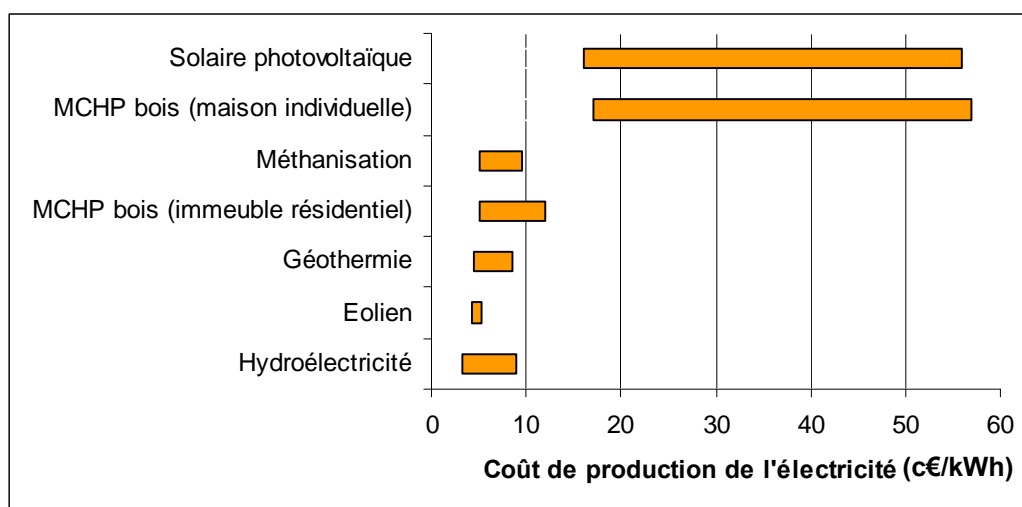
Bilan carbone du bâtiment tous usages inclus par type de chaudière, scénario « évitement de la construction d'une centrale thermique », en France

### Prix de l'électricité

Le prix français de l'électricité est bas, ce qui rend peu viables les initiatives visant à en produire. Cependant, l'ouverture du marché devrait faire tendre les prix vers les prix allemands de l'électricité et donc sur les prix de l'électricité produite à partir de charbon, énergie très demandée notamment par la Chine. Le prix de l'électricité français devrait donc augmenter dans les années à venir, de même que les subventions pour la production propre d'électricité, rendant plus rentable les initiatives telles la micro-cogénération.

Aujourd'hui, le prix de revente de l'électricité issue de micro-cogénération est égal au prix d'achat de l'électricité pour le client final. Une manière de rentabiliser la MCHP serait de fixer un prix de revente égal au prix de production pour un temps de retour sur 5 à 8 ans, à l'égal de ce qui s'est fait pour le solaire photovoltaïque.

Sous certaines hypothèses de prix des énergies, la MCHP bois est peu intéressante économiquement pour la maison individuelle : le prix du kWh électrique est élevé, de l'ordre du solaire photovoltaïque. En revanche, pour l'immeuble résidentiel, la MCHP est compétitive économiquement [33].



Situation de la MCHP bois dans l'échelle des technologies de production d'électricité décentralisées et renouvelables en France

### Décentralisation et libéralisme : un marché local de l'énergie

Par ailleurs, dans les pays considérés, l'état remplit un rôle moindre qu'en France. Le fédéralisme ou le libéralisme donne un pouvoir fort aux pouvoirs publics locaux ainsi qu'aux fournisseurs d'énergie privés. Ces pays disposent donc de dispositifs réglementaires et fiscaux développés à l'initiative d'acteur locaux appuyés par une implication des fournisseurs d'énergie locaux afin de proposer des produits viables économiquement. De nombreuses synergies sont apparues entre lesdits fournisseurs d'énergies, les grands fabricants de chaudières et des motoristes traditionnels ou nouveaux.

En France, l'opérateur historique, qui est pris dans une logique de production centralisée, ne favorise pas le développement du marché : temps de raccordement au réseau, prix du raccordement, prix d'achat de l'électricité... L'ouverture du marché de l'électricité va notamment permettre à de nouveaux acteurs d'émerger et de proposer des initiatives.

### **Modes de chauffage français**

La place du chauffage électrique est très importante en France. Or le développement de la micro-cogénération se fera principalement en remplacement de chaudières existantes. Le marché potentiel français est donc plus petit que celui des pays considérés.

La micro-cogénération à gaz est, dans le discours des industriels allemand et anglais, le produit de remplacement des chaudières à condensation. Or la part de marché de marché des chaudières à condensation, en France, est, aujourd'hui encore, très faible. Par comparaison, on peut présager d'un développement très lent de la MCHP si la pénétration du marché est réalisée au même rythme. Néanmoins, l'ouverture du marché de l'énergie peut modifier la donne avec l'intérêt des fournisseurs d'électricité qui tendent à vendre en direct et ainsi à passer outre les blocages qu'a rencontré la chaudière condensation en commercialisant par le circuit traditionnel.

La micro-cogénération à biomasse, quant à elle, vient plus facilement en remplacement d'un chauffage au fioul en zone rurale dû au volume de stockage du combustible et représente donc au final un marché de niche, soumis aujourd'hui à la disponibilité en bois, spécialement en granulés bois.

### **Climat**

La MCHP est certes indépendante des caprices du soleil et du vent à la différence des systèmes solaires et éoliens. Néanmoins, elle dépend du climat : la production d'électricité est corrélée aux besoins de chauffage. A cause du chauffage électrique, les périodes de chauffage correspondent à des pics de demande électrique : un parc de MCHP permettrait de diminuer ces pics. Toutefois, un climat plus rude conduit un temps de fonctionnement du MCHP plus long et donc un temps de retour plus faible. En comparant les degrés-jours de chauffage, on se rend compte que l'Allemagne possède un climat 30% plus rigoureux que la France et l'Autriche 45% (source CETIAT). Les temps de retours sont alors globalement diminués d'autant. En France, la MCHP est donc moins rentable, le photovoltaïque ou l'éolien peuvent être plus adaptés dans certains cas.

### **Fabricants de chaudière français**

Les chaudiéristes allemands sont les leaders européens avec des entreprises comme Vaillant, Baxi, Viessmann, Buderus,... La plupart de ces industriels ont des projets en cours sur la micro-cogénération. Les chaudiéristes français plus petits, semblent être suiveurs sur ce marché. Néanmoins, une MCHP à bois est en cours de développement en France.

### **Formation des chauffagistes et des mainteneurs**

Pour l'installation et la maintenance légère des MCHP une formation des chauffagistes peut suffire. Dans ce cadre, les moteurs Stirling sont avantagés car il n'y a pas de maintenance du moteur. Par contre, les réparations sont moins évidentes et les constructeurs doivent alors intervenir. Ce facteur risque de limiter le rythme de diffusion de la MCHP en France ou du moins favorise l'option de commercialisation directe par les constructeurs.

## **6.2 COMPATIBILITE AVEC LE CADRE REGLEMENTAIRE FRANCAIS**

La MCHP ne s'intègre pas encore complètement dans le cadre réglementaire français. Les normes de raccordement au réseau sont en cours d'évolution pour prendre en compte ses particularités. Un contrat EDF d'achat de l'électricité pourrait être spécifique. Enfin, un tarif de rachat spécifique devrait être mis au point. Aujourd'hui, il n'existe pas de tarif pour la MCHP bois, par exemple.

Par ailleurs, les normes CE gaz, CE compatibilité électromagnétique et CE produit électrique doivent être proclamées par les fabricants, ce qui est également valable pour les autres pays. Néanmoins, les normes françaises en matière de normes gaz sont plus exigeantes que les normes européennes. La MCHP gaz doit donc être légèrement adaptée au marché français.

Enfin, en ce qui concerne le bois, les MCHP devraient respecter la norme EN 303-5, afin de pouvoir bénéficier du crédit d'impôt potentiel. Cette norme donne des exigences de performances et d'émissions qui sont a priori déjà respectées par les fabricants.

## **6.3 QUELLE DYNAMIQUE D'ACTEURS NECESSAIRE ?**

Les acteurs clés de la MCHP sont les fournisseurs d'énergie, les chaudiéristes et les pouvoirs publics. Le développement de la MCHP requiert un marché de l'énergie libéralisé, des pouvoirs publics locaux et nationaux moteurs ainsi qu'une offre de produits de qualité adaptés aux spécificités françaises.

Si l'ouverture du marché est programmée et si l'offre industrielle devrait arriver, il revient aux pouvoirs publics d'amorcer le marché. Ils doivent promouvoir tout type de MCHP sachant qu'elles n'ont pas toutes les mêmes arguments. Les raisons de la promotion de la MCHP au gaz ne sont pas immédiates en France car elle émet plus de GES que dans un schéma traditionnel. Néanmoins la MCHP gaz peut pallier à la construction de centrales électriques au gaz ou bien peut partiellement répondre à la sous-production électrique en période de pointe et avec de meilleurs rendements. Quant à la MCHP à biomasse, l'argument est évident : un tel système permet à n'importe quelle maison de passer en classe A en terme d'émissions de GES.

### **6.3.1 Disponibilité en France des techniques concernées et des compétences de pose.**

Il n'y a aucun fabricant français de MCHP pour le moment car les fabricants de chaudières français ne sont pas parmi les leaders du marché et que les fournisseurs d'énergie historiques prédominent.

Les chauffagistes ayant reçu une légère formation sur la MCHP sont à même d'installer une MCHP. Les agents d'EDF doivent ensuite intervenir pour brancher le nouveau compteur. A ce niveau, un parallèle peut être fait avec le photovoltaïque pour lequel EDF a déjà formé ses agents. De même pour la maintenance, les mêmes chauffagistes et agents seront à même de l'effectuer.

Par contre, les réparations sont difficiles : a priori seuls les constructeurs disposent des compétences nécessaires.

### **6.3.2 Quels types d'incitations envisager**

#### **Réglementation Technique**

- Inclure la MCHP dans la RT 2010 ainsi qu'au mécanisme des certificats d'économie d'énergie
- Simplifier les procédures de raccordement au réseau des MCHP
- Alléger les exigences en terme de protection de découplage vis-à-vis des MCHP

## **Soutien des Collectivités locales**

- Promouvoir la MCHP qui peut éventuellement être couplée à de petits réseaux de chaleur (lotissements, ...)
- Promouvoir la MCHP à biomasse pour développer une économie locale du bois

## **Fiscalité, Financement**

- Intégrer la MCHP au mécanisme du crédit d'impôt avec une incitation plus élevée pour le bois que pour le gaz
- Réviser le prix d'achat de l'électricité issu de MCHP gaz et bois pour le positionner au niveau de son prix de production

## **Initiatives Privées**

- Créer en France une structure spécialisée dans la promotion de la micro-cogénération dont les besoins sont sensiblement différents de ceux de la cogénération en général, à l'instar du « micro-power council » anglais.

## 7. ANNEXE : SOURCES D'INFORMATION

- [1] « A Community strategy to promote combined heat and power (CHP) and to dismantle barriers to its development » Communication from the commission to the council and the european parliament – 15 Octobre 1997
- [2] « Directive 2004/8/CE du parlement européen et du conseil du 11 Février 2004 concernant la promotion de la cogénération sur la base de la demande de chaleur utile dans le marché intérieur de l'énergie. »
- [3] « Recommendations for the connection of small scale embedded generators (up to 16A per phase) in parallel with public low voltage distribution networks” Engineering recommendation G83 – Electricity Association- Août 2002
- [4] « Prescriptions pour le raccordement de microgénérateurs en parallèle avec les réseaux publics de distribution basse-tension» Pr NF EN 50 438
- [5] « Les contrats d'achat cogénération, biomasse et petites installations (moins de 36 kVA)» Présentation de Philippe Balaguier (EDF Pôle industrie) - Journées techniques ATEE du 24-25 Mai 2005
- [6] « Systèmes photovoltaïques raccordés au réseau – Guide de rédaction du cahier des charges techniques de consultation à destination du maître d'ouvrage » Guide ADEME – Juin 2004
- [7] « L'expérience européenne dans le domaine des petites, mini et micro-cogénérations» Présentation de Claude Cahen (EDF Réseau innovation) - Journées techniques ATEE du 24-25 Mai 2005
- [8] « Micro-CHP Fact sheets » Cogen Europe – Mars 2005
- [9] « Cogen Challenge facsheets » ([www.cogen-challenge.org](http://www.cogen-challenge.org))
- [10] [www.cogen.org](http://www.cogen.org) , le site de l'association Cogen Europe
- [11] « Micro-CHP : The technology Takes off » Présentation de Chris Wilcox (EA Technology), Novembre 2004
- [12] « MicroCHP Technical Challenges and Solutions » Présentation de John Parsons (EAMA) – Micropower 2004 Conference
- [13] « Micropower, Utilities and the next 12 months» Présentation de Jon Slowe (Platts Research & Consulting) – Micropower 2004 Conference
- [14] « Micro-CHP to increase energy efficiency : emerging technologies, products and markets» Présentation de Jon Slowe (Delta Energy & Environment) – International conference on energy efficiency in domestic appliances and lighting – Londres, Juin 2004
- [15] « Micro-CHP – The magic boiler » Présentation de Michael Colijn (Michael Colijn Project development & strategic advice) – ASUE Conference – Novembre 2005
- [16] « MicroCHP » Présentation de Ian Stares (Baxi group) – Micropower 2005 conference – Juillet 2005
- [17] « German Co-generation act »
- [18] « The potential market for micro CHP in the UK» Etude pour le compte du Energy Saving trust – Juin 2002

- [19] « MicroCHP, delivering a low carbon future» Etude du SBGI (Society of British Gas Industries) - Septembre 2003
- [20] « The government's strategy for combined heat and power to 2010» Department for environment Food and Rural Affairs - 2004
- [21] « The Carbon trust's small scale CHP field trial update» The Carbon Trust – Novembre 2005
- [22] « The Gasunie smart distributed power systems program» J.W. Turkstra (Gasunie Engineering & technology) – 23rd world gas conference – Amsterdam 2006
- [23] « Development of ECOWILL cogeneration system for residential applications » Masoto Ochi (Osaka Gas) – JGA Grand Awards for best research and development – 2004.
- [24] « Le marché de la micro-cogénération en France» Présentation de Sylvie Taprest (Gaz de France) - Journées techniques ATEE du 24-25 Mai 2005
- [25] « Petite cogénération de moins de 1 MW, développement actuel et perspectives » Patrick CANAL, Journées techniques ATEE du 24-25 Mai 2005
- [26] « La micro-cogénération, solution énergétique pour le résidentiel et le tertiaire » Présentation de Jean-Paul ONANA, chargé du projet PRODELEC chez Gaz de France, Mai 2006
- [27] « Les moteurs Stirling » cours de DEA, Pascal STOUFFS, Université de Nantes
- [28] « Essais de performances et de fiabilité sur un micro-cogénérateur à moteur Stirling » C. Beaumont – étude COSTIC pour l'ADEME – Mars 2006
- [29] « Energy & transport in figures » European Commission – 2005
- [30] « Note de cadrage sur le contenu CO<sub>2</sub> du kWh par usage en France » ADEME, Janvier 2005
- [31] « Le marché des matériels de chauffage central » GFCC – 2003
- [32] [www.recensement.insee.fr](http://www.recensement.insee.fr)
- [33] Impact de la MCHP à bois sur l'effet de serre, Amoès, Novembre 2006, [www.amoes.com](http://www.amoes.com)
- + sites internet et documentations techniques des constructeurs cités