

Atelier 6 : small is beautiful ?

André MARQUET (Electricité de France)

Quel avenir pour les piles à combustible ?

Si l'on observe aujourd'hui une tendance à faire des piles l'aile marchante d'une production décentralisée maîtrisable jusqu'à l'échelle domestique individuelle, c'est qu'on leur prête de hautes qualités environnementales :

- leur rendement électrique d'exploitation serait bon, parce que leur principe de fonctionnement, inverse de celui de l'électrolyse, transforme directement en électricité l'énergie de réaction chimique entre un combustible et l'air, d'une part ; ce principe n'évite bien sûr pas un certain volume de pertes thermiques, mais
- ces "pertes" peuvent être exploitées en bonne partie par un système de cogénération d'électricité et de chaleur et ce, jusqu'à une température faible, car la source peut être placée à proximité immédiate de l'utilisation ; en effet
- le fonctionnement est silencieux dans son principe puisque les seules pièces mobiles sont celles des auxiliaires, et surtout
- les émissions de polluants locaux sont très faibles car la température de réaction, de modérée à forte selon les "familles" de piles considérées, reste trop faible pour que puissent se former au contact de l'air les oxydes d'azote toxiques.

Ces qualités ne sont toutefois pas toujours réunies à leur niveau optimal dans les prototypes actuels.

Il faut aussi prendre en compte le choix et la préparation du combustible en amont. Selon que ce processus est plus ou moins sophistiqué, plus ou moins complet, selon qu'il est interne à la pile (cas des piles haute température) ou externe (cas des piles basse température), il induit une consommation énergétique non négligeable et, éventuellement, un supplément d'effluents à prendre en compte dans le bilan global.

Les piles à haute ou basse température ont chacune leurs avantages et leurs difficultés propres :

- dans le premier cas les matériaux et assemblages doivent résister à 800 ou 900°C, mais le rendement électrique peut être élevé (entre 50 et 60 %, et jusqu'à 70% en cycle hybride) et la préparation du combustible est simplifiée ; la chaleur produite (environ 600°C) est de haute qualité ; des prototypes sont en développement jusqu'aux alentours du MWe
- dans le second, les problèmes de matériaux sont moins ardues pour le cœur de pile, mais la préparation du combustible doit produire un hydrogène de très haute pureté avant introduction dans la pile, le rendement électrique est moins bon (entre 30 et 40 %) et la chaleur, produite entre 60 et 75°C actuellement, ne peut être utilisée qu'à très courte distance de la source ; ceci conduit à limiter en pratique la puissance unitaire des prototypes, pour l'instant aux environs de 250 kWe.

Des interrogations nouvelles sont apparues depuis quelques temps quant à l'utilisation de telles piles de petit calibre pour alimenter des consommations domestiques jusqu'à l'échelle du petit habitat collectif (quelques dizaines de kWe) ou même de l'habitat individuel (quelques kWe).

Plusieurs facteurs tendent à en accréditer la pertinence :

- la dérégulation des échanges d'énergies de réseaux conduit à réfléchir davantage à la diversité, à la complémentarité et à la compétitivité des sources d'énergie possibles à différentes échelles, ainsi qu'aux services énergétiques intégrés qu'attend le client
- on parle d'introduire dans le secteur automobile, à des termes diversement évalués, des générateurs auxiliaires ou de traction à pile à combustible ; les effets de série et les très bas coûts exigés pourraient avoir un certain effet d'entraînement
- le développement de générateurs de petite puissance, tels que des moteurs ou micro-turbines à gaz, dans une gamme inférieure à 100 kWe, avec des caractéristiques de rendement, de propreté et de maintenance en net progrès ; les forts effets de série envisageables pour différents marchés à satisfaire permettent d'envisager, et c'est très nouveau, des coûts de production comparables à ceux des ensembles de production de grande taille, de plusieurs dizaines voire centaines de MWe.

Parmi ces nouveaux moyens de petite taille qui font irruption dans la sphère économique, les piles auront-elles une vocation particulière à raison de leurs qualités environnementales, qui permettraient de les installer "encore plus près" de l'utilisateur ? Cela dépendra d'abord de l'environnement économique et nécessitera en tout cas des prises de risque industrielles qui n'en sont qu'à leurs premiers pas. Il est encore difficile d'affirmer que les délais de commercialisation annoncés à court terme seront tenus et il peut très bien se produire qu'une dizaine d'années encore soient nécessaires.

Mais, si l'on accepte les pronostics techniques et économiques optimistes auxquels prétendent les annonces de certains industriels et les ambitions des *start-up* américaines, japonaises ou allemandes en la matière, que penser du marché et de l'accueil qui serait fait à de tels dispositifs ? Si l'intérêt ne fait guère de doute pour des zones d'habitat très dispersé et/ou dont l'électrification est sujette à des fragilités spécifiques (par exemple les zones rurales du Texas ou des zones faiblement urbanisées du Canada) , on peut au contraire douter de l'accueil que réserveraient des populations de zones d'habitat dense desservies par des réseaux interconnectés comme en Europe occidentale, où la clientèle est habituée à un service "presse-bouton".

Des voix se sont élevées pour s'insurger contre l'idée d'une auto-production à l'échelle domestique et ce que certains ont désigné comme un enfermement des consommateurs dans une "bulle énergétique individuelle" par opposition au système d'interdépendance des réseaux. Une telle vision se nourrit de l'idée qu'un grand réseau crée un lien social et il est vrai que, si ce lien est très généralement oublié lorsqu'on allume la lumière en entrant chez soi, il redevient présent en temps de grande difficulté comme lors des tempêtes de fin 99. Symétriquement, cette même vision confine la pile dans un rôle de source isolée.

Cependant, les études fonctionnelles qui sont entreprises reposent souvent au contraire sur l'organisation des échanges avec les réseaux quand ils sont présents. Par exemple, on voit des analyses qui visent à assurer une gestion de la pile complémentaire avec la situation du réseau général vis à vis de la demande d'électricité, tout en cherchant bien sûr comment en tirer un parti légitime.

Au delà, on peut aussi considérer l'hypothèse de l'existence de nombreuses sources de petite taille mises en relations entre elles sur un mode d'interconnexion. Le développement formidable des techniques de télécommunications y jouerait sans doute un rôle éminent, en autorisant l'échange à bon marché d'un grand nombre d'informations.

A l'opposé de l'individualisme, et sans tomber dans les clichés du "phalanstère", on pourrait alors parler de "bulles de convivialité" énergétique accessibles à des groupes sociaux, née d'une communauté d'intérêts à leur échelle. Juger le réalisme et la praticabilité techniques et économiques de telles situations est une

tâche sur laquelle se penchent nombre d'énergéticiens dans le monde, d'autant qu'elle a de nombreuses adhérences avec le développement de l'électrification élémentaire dans les contrées qui en sont dépourvues, par la création progressive de mini-réseaux.

André Marquet
EDF Recherche et Développement - 1 avenue du Général de Gaulle / 92141 Clamart
E-mail : andre.marquet@edf.fr

Atelier 6 : small is beautiful ?

Stefan FREUDIGER (EcoPower)

La micro-cogénération pour maison individuelle et petite industrie

Principe

Dans notre micro-cogénération, c'est un petit moteur à gaz avec un seul cylindre à 270 cm³ qui produit de l'électricité en entraînant directement un générateur à aimants permanents. La chaleur, qui dans une véhicule est normalement perdue, est récupérée dans le moteur, dans le générateur ainsi que dans les gaz d'échappements. Par ceci, un rendement globale de plus de 90% peut être atteint avec 25% d'électricité et 65% de chaleur. Tout processus industriel nécessitant simultanément de la chaleur et de l'électricité, aussi bien que les maisons individuelles, sont prédisposé à l'exploitation d'une micro-cogénération.

Particularités du module *EcoPower*

Le module *EcoPower* représente la véritable haute technologie (high-tech). Trois cartes électroniques assurent le réglage optimale du moteur, le réglage de deux circuits indépendants de chauffage (p.e. chauffage sol et radiateurs ou 2 appartements individuels) et la production du courant électrique et tout ceci à un régime variable du moteur. La puissance peut donc être modulée entre 2.0 et 4.7 kW électriques et 6.0 à 12.5 kW thermiques. La modulation de puissance est assurée par une procédure brevetée qui consiste dans un clapet d'étranglement toujours plein ouvert, un réglage du régime par la charge au générateur et un réglage du mélange par un circuit Lambda. Le catalyseur à trois voies garanti des valeurs d'émissions inférieure aux normes les plus sévères connues en Europe (p.e. normes pour la ville de Zurich). Le module est certifié CE selon la Directive Européenne pour Appareils à Gaz. La constitution électronique permet également une maintenance assistée par ordinateur (PC) ainsi qu'une surveillance à distance.

Stratégies d'opération

La commande électronique permet des différentes stratégies d'opération. On distingue la commande par chaleur et la commande par courant électrique, selon le schéma ci-dessous:

Commande par chaleur

(typique pour maisons d'habitation)

Programme de production selon

- besoin propre, ou
- tarif rétro fourniture,

suivant le coût relatif de l'électricité.

Commande par courant électrique

(typique pour petite industrie)

- Programme du régime (temps de pointes connus)
- Commande par analyse d'impulsion

(temps de pointes inconnus)

L'opération de l'appareil permet donc de satisfaire à toute sortes de stratégie souhaitables par l'exploitant.

Modes d'exploitation

Le module disponible à l'heure actuelle est utilisé exclusivement en parallèle avec le réseau électrique. D'autres modules sont en phase de réalisation qui posséderont d'une part une fonction groupe électrogène pour fournir du courant électrique lors d'interruptions du réseau et d'autre part ils posséderont la possibilité d'une exploitation sans branchement à quelconque réseau. Ce type d'exploitation est également appelé type îlot où l'appareil fonctionne complètement autonome, donc indépendant aussi bien d'un réseau électrique que d'un réseau gaz ou autre. L'alimentation de l'appareil se fera donc par du gaz liquéfié (LPG) ou par du mazout. La fonction tampon du réseau électrique sera donc remplacée par un groupe de batteries avec une gestion électronique correspondante.

Avenir

Plusieurs circonstances donnent à la micro-cogénération un grand avenir, soient: La production de courant électrique décentralisée évite les pertes et les frais de transmission; la chaleur normalement co-produite avec le courant électrique et souvent difficilement transportable peut être utilisée sur place; en vue des craintes accrues par le peuple vis à vis des stations nucléaires, les cogénérations sont actuellement la seule alternative pour la production d'électricité tout en minimisant l'émission de CO₂; une mini-cogénération peut assurer un approvisionnement d'électricité également en phase d'interruption du réseau pour une quelconque raison.

Un grand avenir sera réservé aux cogénérations capable à brûler de l'énergie recyclé de la biomasse (énergie renouvelable), comme par exemple le biogas venant de la digestion anaérobique. L'entraînement d'une cogénération pourra consister un jour dans un moteur Stirling (moins sensible à la pureté de l'énergie disponible) ou dans une pile à combustion.

Stefan Freudiger EcoPower - Route de Boujean 39 / CH-2500 Biel Biene 4 Tel : 41.32.344.20.09
--

Atelier 6 : small is beautiful ?

Marc JEDLICZKA (Phébus)

Le photovoltaïque en milieu urbain : enjeux et perspectives

Pourquoi décentraliser et diversifier la production d'énergie ?

Pour la chaleur, forme d'énergie facile à produire et difficile à transporter (lois de la thermodynamique), la décentralisation de la production est une pratique courante reposant sur une évidence technique et économique. A l'inverse, pour l'électricité, difficile à produire et facile à transporter, le système français a été forgé de manière exclusive depuis au moins un demi-siècle sur une logique de centralisation mono-énergétique toujours plus accentuée de la production, censée procurer *ad vitam æternam* des économies d'échelle.

On voit aujourd'hui ce véritable dogme se fissurer, au point que même les grands opérateurs qui en sont les plus fervents adeptes commencent à se positionner sur des technologies et des applications peu propices à l'hyper-centralisation, comme en témoigne cet atelier.

Qu'est-ce qui a donc changé entre temps ? Quel est l'intérêt d'une décentralisation et d'une diversification de la production d'électricité ?

- les limites des effets positifs de la centralisation sont tangibles : pertes en ligne, saturation des réseaux, coût, fragilité (tempête, pannes génériques,...)
- les progrès technologiques enregistrés dans de nombreuses filières renouvelables ou "efficaces" (co-génération, PAC) - deux catégories par nature décentralisées – les rendent à court ou moyen terme compétitives
- les contraintes environnementales pèsent non seulement sur les modes de production (maîtrise des pollutions globales), mais aussi sur les modes de transport (lignes THT)
- l'évolution de l'organisation de la société vers des modes de décision de plus réactifs et flexibles, ainsi que la tendance lourde à l'ouverture à la concurrence sont peu compatibles avec le gigantisme et l'inertie des investissements
- la demande sociale se diversifie et se structure autour d'une aspiration paradoxale à plus de sécurité et plus d'autonomie en même temps
- le bilan en termes d'emplois est toujours plus favorable aux modèles décentralisés, quantitativement (nombre d'emplois par quantité d'énergie) comme qualitativement (meilleure répartition géographique)
- enfin, conséquence des points précédents, apparaît une commande politique explicite pour des stratégies décentralisatrice en matière énergétique (schémas de services, PNLCCC, plan gouvernemental "efficacité énergétique", etc.)

Mais attention, la décentralisation, pour répondre à ces enjeux, ne doit pas signifier indépendance totale et rupture des solidarités. En matière d'électricité, ces dernières sont matérialisées par le réseau, qui n'est pas un principe moral, mais le premier outil de sécurité, de fiabilité et d'efficacité énergétique.

Au total, l'introduction de nouveaux outils de production décentralisés conduit à remettre en question la fonction et l'organisation des réseaux électriques, à la fois d'un point de vue physique, dans leur conception

même, et du point de vue de la définition de ses missions, notamment dans le cadre d'un service public rénové et clarifié.

Dans cette perspective, le photovoltaïque offre un cas d'espèce particulièrement intéressant à analyser.

Photovoltaïque et décentralisation : mariage d'amour autant que de raison

Intrinsèquement, le photovoltaïque représente le summum de la décentralisation, à la fois parce qu'il utilise le flux le plus diffus et le plus réparti qui soit (la lumière), et parce que les technologies mises en œuvre sont elles-mêmes structurellement décentralisées (cellules, panneaux). Mieux, ses caractéristiques tout à fait originales font dire à certains que son avènement représente une véritable révolution technique :

- il s'agit de la seule "alternative à l'alternateur" pour la production d'électricité
- des économies d'échelles très importantes sont réalisables dans l'industrie de fabrication des composants, alors qu'elles sont faibles voire inexistantes au niveau de la production d'électricité
- sa modularité est extrême, depuis les milliwatts d'une calculette jusqu'aux dizaines de mégawatts d'une "centrale"
- il n'offre strictement aucune nuisance de fonctionnement
- il est d'une fiabilité remarquable et ne nécessite quasiment aucun entretien

La combinaison de ces qualités en font une source d'électricité sans pareille pour s'intégrer parfaitement sur les lieux même de consommation, y compris dans la vie quotidienne des 80% de la population vivant en zone urbaine, où les réseaux existants permettent le foisonnement de la production tout en apportant la sécurité d'approvisionnement.

Le raccordement au réseau du photovoltaïque, rendu possible à la fin des années 80 par les progrès de l'électronique de puissance, avait pour premier objectif d'aborder le marché solvable des pays industrialisés dans le but de faire baisser les coûts de fabrication par massification de la demande. C'est ce qui a justifié les programmes allemands, suisses, japonais et américains. Aujourd'hui, les résultats dépassent les attentes : le kWh produit sur site sera compétitif avec le kWh vendu par le réseau entre 2005 et 2010 suivant les filières.

Cet enjeu industriel se double désormais d'un enjeu énergétique réel : une étude a par exemple conclu que l'utilisation de la totalité des surfaces urbanisées disponibles aux Pays-Bas (bâtiments, parkings, bords de route, etc...) permettrait de produire 75 % de la consommation totale actuelle (et 25 % pour les seules toitures des bâtiments)

Enfin, les multiples expériences, dans des contextes énergétiques, économiques et culturels très divers, montrent que le photovoltaïque peut aussi devenir un formidable outil de rénovation et de dynamisation du secteur de la construction et du bâtiment. Il a vocation à se banaliser en s'intégrant dans les matériaux et les composants de base tels que les éléments de couverture (tuiles, ardoises, verrières, ...) et de façade, le mobilier urbain, les protections sonores, etc.

Le rôle de l'autorité locale pour la promotion du photovoltaïque

Le photovoltaïque est par nature très visible, ce qui à la fois lui confère un fort caractère pédagogique et démonstratif et peut l'exposer à heurter certaines habitudes. Par conséquent, l'autorité locale a un rôle important à jouer au carrefour entre l'acteur, l'organisateur et le facilitateur :

- elle peut commencer par donner l'exemple en équipant des bâtiments communaux comme les écoles, les services techniques et administratifs, les transports en communs (gares de trams, abribus, etc.) dans le cadre éventuellement d'une participation à des programmes européens
- elle peut intégrer de manière obligatoire ou optionnelle le photovoltaïque dans les cahiers des charges des programmes de construction concernant le logement social (en visant la baisse des charges de fonctionnement), les lotissements, les murs antibruit ou tout autre projet disposant d'une surface extérieure exposée à la lumière du soleil
- elle peut faciliter et orienter les démarches et les procédures administratives de son ressort, telles que les permis de construire et les déclarations de travaux pour un bâtiment publics ou privé, le zonage préférentiel au sein des documents d'urbanisme, la programmation intercommunale,...

Marc Jedliczka
Phebus – 1 rue de l'Oiselière / 69009 Lyon
Tel : 04 78 47 29 47 – E-mail : phebus@wanadoo.fr