

LA PILE A COMBUSTION ELECTROCHIMIQUE :
UN ESPOIR POUR LE VEHICULE ELECTRIQUE ET
L'ENERGIE AU 3^{ème} MILLENAIRE

Ivan GILLET
Université de Liège

MOTS-CLES : ENERGIE-ELECTRICITE-MUTATION-AVENIR-DEMONSTRATION.

RESUME : Face au défi que représentent les nuisances grandissantes de notre consommation d'énergie, la *pile à combustion électrochimique (pile à combustible)* fournit un moyen de sortir du cadre de ce qui a été fait jusqu'à présent. Elle permet d'envisager un avenir énergétique propre et durable. Elle devrait figurer dans les programmes d'enseignement

SUMMARY : In order to cope with the growing nuisance of our energy consumption, the electrochemical fuel *cell* gives us a way to go beyond what has been done up to now. With the fuel cell, an energy future, completely clean and sustainable, is possible. This should be taught in schools.

technologies/Technologie

XXI^{ES} JOURNÉES INTERNATIONALES
SUR LA COMMUNICATION, L'ÉDUCATION
ET LA CULTURE SCIENTIFIQUES ET INDUSTRIELLES

A. GIORDAN. J.-L. MARTINAND et D. RAICHVARG. Actes JIES XXI. 1999

1. SORTIR DU CADRE

En analysant les problèmes majeurs d'environnement et de santé qui assaillent actuellement notre civilisation, on s'aperçoit que notre façon d'utiliser l'énergie y joue un rôle clé. Sont en jeu ici, non seulement les *sources d'énergie* avec, entre autres, le problème de "l'effet de serre" et l'épuisement en vue, mais aussi les *filières énergétiques*, c'est-à-dire les séries de changements de formes d'énergie depuis les sources primaires jusqu'aux utilisations finales.

Plus de 90 % de l'énergie consommée dans le monde emprunte tout ou partie d'un seul type de filière : la *filière thermodynamique* ou des *moteurs thermiques* (à vapeur, à explosion, etc...) : A partir d'un combustible (énergie chimique) une combustion thermique produit de la chaleur à haute température ; de là on passe à l'énergie mécanique par la *conversion* de *CARNOT* puis, dans les centrales, à l'énergie électrique. Dans la variante nucléaire (6 à 7 % dans le monde) la chaleur est produite par fission nucléaire. Cette filière prépondérante coûte très cher en pollutions et en gaspillage d'énergie: la combustion thermique est intrinsèquement polluante (oxydes d'azote et autres polluants chimiques) ; le grave problème des déchets nucléaires n'est pas résolu ; le faible rendement de la conversion de CARNOT multiplie par trois à cinq les diverses nuisances, car l'énergie utile obtenue ne représente qu'un tiers à un cinquième de l'énergie primaire mise en œuvre.

Pour chercher à résoudre ce problème essentiel, il faut oser *sortir* du *cadre* de ce qui a été fait jusqu'à présent, c'est-à-dire non seulement de l'usage des sources d'énergies fossiles et nucléaire, mais avant tout de cette *filière thermodynamique* polluante et gaspilleuse qui domine actuellement notre paysage énergétique. Il s'agit de voir comment passer autrement, et sans nuisance, de l'énergie chimique, nécessaire au stockage d'énergie, à l'énergie mécanique de mouvement et à l'électricité. Pour cela, il n'existe qu'une seule autre voie: c'est *la filière électrochimique*. Dans celle-ci, l'énergie chimique d'une réserve de matières réactives donne directement de l'énergie électrique par conversion électrochimique comme dans une pile ou un accumulateur; de là un moteur électrique donne de l'énergie mécanique. Mais l'accumulateur n'est qu'un stockeur d'énergie électrique; sa recharge est nécessairement lente et requiert une source extérieure d'électricité. Quant à la pile classique, c'est bien un générateur, mais elle a l'inconvénient de contenir sa réserve de matières réactives, en quantité limitée; c'est pourquoi elle n'est utilisée que pour des applications consommant peu d'énergie et à faible

puissance. Pour se libérer de ces contraintes et pouvoir utiliser la filière électrochimique dans toutes les applications quelles que soient la puissance et la quantité d'énergie requises, il faut avoir recours à la *pile à combustion électrochimique*. C'est un générateur d'énergie électrique fonctionnant selon le même principe que la pile classique, mais elle se distingue nettement de cette dernière, car elle est alimentée en matières réactives (combustible et comburant), à partir de réservoirs extérieurs non limités, au fur et à mesure de son fonctionnement, de façon continue ou périodique; l'élimination des produits de réaction vers l'extérieur se fait de la même manière.

Lors de la communication par affichage, j'ai présenté une démonstration expérimentale didactique de deux types de piles à combustion : la "pile Hydrogène/Oxygène", qui fonctionne comme l'inverse de l'électrolyse de l'eau, et la "pile à méthanol" ; chacune actionnant un petit moteur électrique. Pour que ces démonstrations mettent bien en évidence les principes, et soient par conséquent didactiques, j'ai dépouillé le matériel de tous les accessoires que l'on trouve dans une installation complète. La pile à méthanol, à côté de la flamme d'une lampe à alcool, m'a permis de montrer concrètement la différence entre deux modes de combustion d'un même combustible, le méthanol : la combustion thermique donnant de la chaleur dans la flamme, et la combustion électrochimique donnant de l'électricité dans la pile. L'explication de cette différence se trouve dans les mécanismes réactionnels au niveau moléculaire: dans toute combustion, les molécules du combustible cèdent des électrons aux molécules du comburant. Dans la combustion thermique, ces transferts d'électrons se font sans intermédiaire, de molécule à molécule, dans tous les sens (chaos microscopique) ; la réaction est désordonnée et ne peut donner qu'une forme désordonnée d'énergie: la chaleur. Dans la combustion électrochimique, au contraire, les molécules du combustible et du comburant ne se rencontrent pas ; les transferts d'électrons se font par l'intermédiaire des électrodes sous forme d'un courant électrique utilisable dans le circuit extérieur à la pile. L'énergie électrique obtenue est donc liée au caractère ordonné de la réaction. Les nombreuses personnes qui ont assisté à cette démonstration ont pu ainsi se rendre compte que l'usage et le développement futur de la filière électrochimique...c'est possible. Cette prise de conscience a été renforcée par l'annonce qu'une installation pilote de 250 kW de piles à hydrogène va être implantée prochainement à l'Université de Liège ainsi que dans quatre autres sites dans le monde.

2. UN AVENIR POSSIBLE

Les piles à combustion électrochimique peuvent fonctionner sans pollution aucune, si on le veut. Elles sont facilement décentralisables, car leur rendement ne dépend pas de leur taille, c'est-à-dire de la puissance installée. Elles se prêtent donc à la "cogénération" effective d'électricité et de chaleur près des lieux d'utilisation. Grâce à cette cogénération et à l'absence de conversion thermodynamique, donc de "limite de Carnot", elles économisent l'énergie. Elles peuvent fonctionner sur des combustibles dérivés des énergies du Soleil. Elles seront utilisables dans des véhicules électriques et des installations électriques autonomes de toutes puissances. Tout cela permet d'envisager le développement graduel d'un tout nouveau système, propre et durable, de production décentralisée d'électricité, au cours du 21ème siècle, en parallèle avec l'épuisement progressif des réserves de pétrole, de gaz naturel et d'uranium.

Pour ce développement, il faudra encore faire de la recherche, fondamentale et appliquée, notamment sur deux points essentiels : D'une part, la catalyse des réactions d'électrodes de ces piles à combustion pour améliorer leur puissance spécifique, ou puissance massique (en W/kg), et pour remplacer le catalyseur platine dont les réserves mondiales sont très limitées (des pistes prometteuses existent) ; D'autre part, en amont de la pile, la fabrication non polluante des combustibles nécessaires. Cependant, la recherche, cela demande non seulement du financement, mais aussi des chercheurs compétents. Or il semble bien que, dans le domaine de la conversion électrochimique d'énergie (énergétique électrochimique), les chercheurs compétents soient trop peu nombreux dans le monde. Il faut donc en former plus. Cela concerne non seulement l'enseignement universitaire, mais aussi et d'abord l'enseignement secondaire pour intéresser à ce domaine des jeunes qui voudraient s'orienter vers des études scientifiques. A ce sujet, il importe de distinguer très clairement, dès l'abord, les différents domaines de l'électrochimie. Parmi eux, l'énergétique électrochimique, trop peu développée et enseignée jusqu'à présent, et l'électrochimie analytique, déjà bien développée, ont des buts, des méthodes et des modes de pensées totalement différents. Lorsqu'il y a confusion, cela débouche sur d'importants problèmes de communication et de formation.

3. CONCLUSION

Depuis 40 ans que je travaille dans le domaine de la combustion électrochimique, mes activités didactiques universitaires et extra-universitaires avec des jeunes adultes et des adolescents ont fréquemment porté sur des questions relatives à la conversion électrochimique d'énergie en pile à combustion. J'ai pu ainsi constater que ce thème intéresse vivement les jeunes lorsqu'il est clairement relié au contexte global des grands défis de notre temps. Ces jeunes ont souvent exprimé que cette "*sortie du cadre*" leur rendait *espoir*.

Après une longue période de latence, on sent maintenant évoluer les idées sur les piles à combustion, et j'ai la ferme conviction que des réalisations techniques concrètes se développeront au bénéfice de notre système énergétique mondial et de notre environnement global.

BIBLIOGRAPHIE

KORDESCH K., SIMADER G., 1996 -*Fuel Cells and their Applications*, Ed. VCH, Weinheim (375 p.).

GILLET I., 1997 -*La pile à combustion électrochimique: une ouverture sur le 3e millénaire*, Bull. "Science et Culture", n° 349, p. 75-79.

PRIGENT M., 1997 - *Les piles à combustible -Etat du développement et des recherches en cours à l'aube de l'an 2000*, Institut Français du Pétrole.

GILLET I., 1989 - *Fuel Cells* in biomass utilisation, in "Biomass Handbook", Gordon and Breach Science Publishers, p. 623-637.

BLANCHART A., 1982 - *Etude fondamentale du fonctionnement des cathodes poreuses à air en pile à combustion: cas des piles alcalines*, Thèse de doctorat, Université de Liège, Faculté des Sciences.

BLANCHART A., 1982 - *Sur la conversion électrochimique du méthanol en énergie électrique: Le problème de catalyse*, Thèse annexe de doctorat, Université de Liège, Laboratoire d'Electrochimie organique.

GILLET I., 1964 - *Pétrochimie et Piles à combustion*, Annales de la Société Belge pour l'Etude du Pétrole, n° 15, p. 33-49.

Voir aussi ma communication sur *La voiture électrique* dans le présent volume.