

**Roger Cadiergues**

**MémoCad nB42.a**

# **LES PILES A COMBUSTIBLE**

## **SOMMAIRE**

**nB42.1.** Les piles à combustible

**nB42.2.** Les types de piles à combustible



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

## nB42.1. LES PILES À COMBUSTIBLE

**A côté des solutions techniques plus courantes reste une technique plus incertaine, celle des piles à combustible. Elles pourraient devenir des réalités commerciales dès les années 2015. Le problème essentiel sera certainement celui du combustible (en principe, actuellement, l'hydrogène).**

Les **piles à combustible** convertissent directement en électricité l'énergie chimique de combustibles divers (*sans combustion*), avec de multiples avantages : une grande modularité permettant des montages très variés avec une très grande facilité d'insertion (y compris dans des unités préfabriquées), une flexibilité d'installation très forte quel que soit l'emplacement d'utilisation, de grandes facilités de maintenance dues à l'absence de pièces mobiles et à la facilité de remplacement in situ des composants, une absence quasi-totale de dégagement de polluant (de CO<sub>2</sub> en particulier) le seul rejet étant celui d'eau très pure, un rendement élevé de production d'électricité (très supérieur à celui des solutions classiques), un rendement pratiquement indépendant de la charge l'équipement pouvant facilement être très voisin du point d'utilisation, des temps de réponse extrêmement courts, un fonctionnement très silencieux. Le *seul obstacle significatif* est le **coût**.

### LE FONCTIONNEMENT DES PILES À COMBUSTIBLE

La partie centrale d'une pile à combustible est une membrane électrolytique (voir ci-dessous) avec :

- sur la première face une *anode* (électrode négative repoussant les électrons),
- et sur la deuxième face une *cathode* (électrode positive attirant les électrons).

Voici ce qui se passe avec la traversée de l'hydrogène (combustible type), de l'anode vers la cathode.

1. L'hydrogène fourni à la pile pénètre dans celle-ci par la face anodique, où une couche de platine favorise la décomposition de l'hydrogène en électrons et en protons.
2. La membrane électrolytique laisse passer les protons, mais s'oppose au passage des électrons, qui sont recueillis séparément sur la première face afin de fournir le courant électrique.
3. L'oxygène, transitant vers la cathode, y rencontre une autre couche de platine qui provoque la combinaison de l'oxygène avec des électrons, fournissant de l'eau et de la chaleur.

### LES AVANTAGES MAJEURS

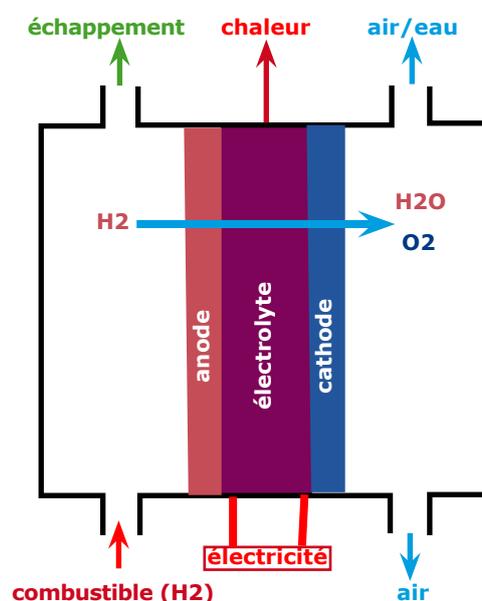
1. L'ensemble des processus revient à une conversion directe de l'énergie chimique en électricité, au contraire des systèmes courants (transformation de l'énergie chimique en énergie thermique).
2. Utilisées en production décentralisée d'électricité les piles à combustible présentent un double avantage :
  - une réduction significative de la consommation d'énergie par rapport à des solutions plus traditionnelles,
  - une réduction très forte des émissions de polluants.
3. S'ajoute la possibilité de faire appel à de multiples combustibles, avec un fonctionnement très silencieux, des coûts de maintenance a priori très réduits. Au contraire des batteries électriques les réactifs cathodiques et anodiques possèdent l'avantage de se renouveler régulièrement à partir de l'air et du combustible.

### L'INCONVÉNIENT MAJEUR

Le seul obstacle significatif restant celui du coût, il est possible d'espérer que les recherches en cours permettront d'atténuer, sinon de supprimer ce défaut, mais les prévisions ne sont pas probantes, et il règne encore beaucoup d'incertitudes (voir ci-contre les prévisions concernant la période 2015-2020).

### LES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES ET LE RENDEMENT

La membrane électrolytique, l'élément de base de toutes les piles à combustible, ne produisant qu'une tension assez faible, de l'ordre de 0,7 [V], il faut en empiler plusieurs pour obtenir une tension suffisante. Les performances en découlent comme suit: le nombre de membranes fixe la **tension**, la surface de membranes fixe l'**intensité** du courant, le produit des deux fixe la **puissance**. Le **rendement global** (toutes pertes des auxiliaires prises en compte) varie (selon les piles) de 35 à 55 % en production électrique. Si la production de chaleur est utilisée (cogénération) le rendement peut atteindre 75 à 90 %. Ces résultats sont d'autant plus intéressants que l'efficacité est largement **indépendante de la charge** lorsque celle-ci varie de 20 à 100 %.



PRÉVISIONS PEMFC (€/kW)	
Actuel ( <i>environ</i> )	700
2010	450
2015	350
2020	200

## nB42.2. LES TYPES DE PILES À COMBUSTIBLE

### LES TYPES DE PILES

Chaque type de piles à combustible est caractérisé par l'électrolyte adopté. Si l'on excepte les piles «AFC» (à la potasse), quatre catégories sont actuellement envisagées pour les *applications bâtiments*, applications désignées par leur sigle anglophone. Il s'agit :

- . des piles dites **PEMFC** (ou **PEFC**),
- . des piles dites **MCFC**,
- . des piles dites **SOFC**,
- . des piles dites **PAFC**.

Ces différentes catégories sont caractérisées par les électrolytes suivants.

1. Les piles «PEMFC» (ou «PEFC»), «*proton exchange membrane fuel cells*», possèdent un électrolyte qui est une membrane polymère.
2. Les piles «MCFC», «*molten carbonate fuel cells*», possèdent du carbonate de lithium fondu comme électrolyte.
3. Les piles «SOFC», «*solid oxide fuel cells*», possèdent une céramique (normalement de l'oxyde de zirconium) comme électrolyte.
4. Les piles «PAFC», «*phosphoric acid fuel cells*», possèdent un électrolyte à base d'acide phosphorique.

### LES PILES «BÂTIMENT»

Il existe plusieurs familles de piles à combustibles dont l'utilisation est envisagée dans le domaine du bâtiment, de perspectives assez différentes. Ces familles sont les suivantes : les piles «PEMFC» (ou «PEFC»), les piles «MCFC», les piles «SOFC», les piles «PAFC». A chacune de ces familles correspondent actuellement des coûts et des performances dont les ordres de grandeur sont indiqués à la table suivante, fournie à titre indicatif.

Type de pile	Electrolyte	Investissement €/kW 2020 prévu	Fonctionnement €/kWh 2008
<b>PEFC</b>	membrane polymère injectée d'acide sulfonique	de l'ordre de <b>200</b>	de <b>0,03</b> à <b>0,04</b>
<b>MCFC</b>	carbonate de lithium fondu	de l'ordre de <b>350</b>	de l'ordre de <b>0,06</b>
<b>SOFC</b>	céramique (oxyde de zirconium)	de l'ordre de <b>400</b>	de <b>0,03</b> à <b>0,04</b>
<b>PAFC</b>	acide phosphorique	de l'ordre de <b>750</b>	de l'ordre de <b>0,07</b>

### UN EXEMPLE (PEFC) : LES AVANTAGES

Dans les piles **PEFC** (ou **PEMFC**) la couche électrolytique centrale est un polymère conducteur de protons. Sur les deux faces de la membrane l'anode (d'un côté) et la cathode (de l'autre côté) sont des couches électrolytiques à base de platine fixées sur des particules de carbone. Cette version possède trois avantages de base :

- . celui de fonctionner à relativement basse température : 60 à 90 °C, ce qui limite évidemment (mais sans plus pour ce qui nous concerne) ses domaines d'emploi,
- . celui d'une mise en régime très rapide, d'une assez grande simplicité,
- . celui d'une absence d'émissions polluantes (si on utilise de l'hydrogène comme combustible).

### LES INCONVÉNIENTS

Pour le moment les **coûts d'investissement** et de **maintenance** restent encore assez élevés : s'ils ne deviennent pas rapidement acceptables les piles à combustible resteront des curiosités. Hors de cet aspect général l'**inconvenient principal** est que la pile doit fonctionner à partir d'un combustible qui ne peut guère être que de l'**hydrogène pur**, lequel peut être produit à partir de charbon, de gaz naturel ou de fermentations. Il est essentiel que le combustible, comme la combustion, soient d'une excellente propreté, ce qui est peut-être la servitude la plus lourde. Les impuretés telles que monoxyde de carbone (à des niveaux de quelques millièmes) ou les composés sulfureux (à des niveaux de quelques milliardièmes) doivent être éliminés afin de n'utiliser que de l'hydrogène d'une pureté d'au moins 99,999 %.

La nécessité de disposer d'une source d'hydrogène pur ne peut guère être satisfaite que dans les situations suivantes : ou bien nous disposons d'un réseau collectif de distribution d'hydrogène pur, soit sous forme gazeuse (en canalisations) soit sous forme solide (en camions), ou bien nous fabriquons cet hydrogène localement, vraisemblablement par reformage de gaz naturel. Dans ces deux cas l'avantage économique des piles restera difficile à justifier, la production et la distribution d'hydrogène pur n'étant «gratuite» ni au plan énergétique ni au plan environnemental. Malgré les progrès déjà accomplis l'avenir des piles à combustible reste donc encore assez incertain.

