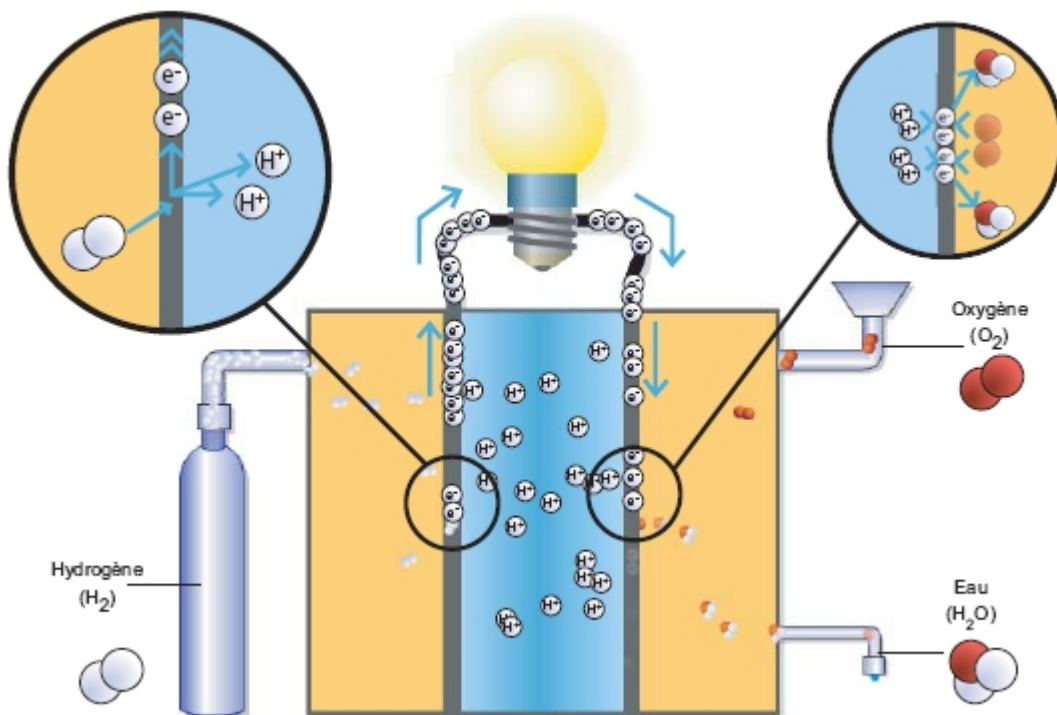


La Pile à Combustible en Grande Croisière

Principe

La pile à combustible est un procédé d'avenir pour produire du courant basse tension sur nos bateaux (et ailleurs, dans beaucoup d'applications). Si ce nom sonne très high tech à vos oreilles, le principe n'est pas récent, il a été découvert en 1839 par l'anglais Sir William Groove. Mis en veilleuse jusqu'au début des années 1960, cette technique est revenue en force grâce à la conquête spatiale.

La technique est relativement simple : l'électricité est produite grâce à l'oxydation sur une électrode d'un **combustible réducteur** (hydrogène pur ou composé comme le méthanol ou le méthane) couplée à la réduction sur l'autre électrode d'un **oxydant**, tel que l'oxygène de l'air. La réaction d'oxydation de l'hydrogène est accélérée par un catalyseur en platine, métal rare et coûteux.



dessin CEA

Si l'oxygène de l'air est par définition omniprésent, le combustible réducteur est plus problématique à utiliser, car l'hydrogène pur n'existe pas sous forme naturelle. Il faut le fabriquer et le stocker. Ce qui est coûteux et parfois dangereux. Les composés d'hydrogène (méthanol) sont plus facilement manipulables.

La pile utilisant de l'hydrogène pur ne rejette qu'un peu d'eau (résidu de l'air dont il a été pris une partie de l'oxygène). Par contre la pile utilisant du méthanol rejette un peu d'eau et du CO₂ (décomposition du méthanol en eau et CO₂).

Plusieurs technologies de pile à combustible sont développées aujourd'hui. L'objectif étant de pouvoir produire du courant avec un maximum de rendement en utilisant un combustible réducteur peu cher et facile à produire.

Si les technologies connues permettent en théorie de produire une large gamme de besoins (de quelques watts à 100MW), le rendement est assez faible (20 à 60 %). La technologie au méthanol est parmi les plus basses avec +/-25% de rendement, mais son combustible est le plus pratique et le moins dangereux. Cependant, les appareils déjà commercialisés répondent avec succès à une série d'applications fixes ou mobiles, mais à un prix de revient économique et écologique élevé.

La PAC (pile à combustible) se miniaturise. Elle s'embarque sur nos bateaux (nous allons en parler), mais aussi sur les PC portables et même dans les téléphones portables. Il n'est pas exclu qu'un jour, nos maisons puissent être autonomes en énergie électrique grâce aux PAC.

Wikipédia propose une [explication plus détaillée](#) de cette technologie.

Un bateau ami s'en est équipé dans le cadre d'une grande croisière. C'était l'occasion de faire point sur ce sujet avec lui au terme de huit mois de navigation en grande croisière. Il s'agit d'un DUFOUR 45 normalement équipé pour ce type de voyage (pilote, frigo, électronique complète avec cartographie électronique, **mais sans congélateur**).



Installation

Après avoir réalisé [son bilan électrique](#), Marcel a choisi d'équiper son bateau d'une pile à combustible **MAX POWER MFC100** produisant **100Ah par jour**.



C'est le milieu de gamme pour ce type de PAC qui s'étant aujourd'hui de 50 à 140 Ah par jour.

L'appareil se présente sous forme d'une valisette assez compacte. Une poignée permet de le transporter et un socle amovible permet de le fixer dans le bateau.

L'installation est très simple, vous trouverez toutes les explications sur ce sujet dans les [notices techniques du constructeur](#).

Le positionnement de la PAC à bord n'est pas anodin. Il faut tenir compte d'une série d'éléments :

- emplacement sec, présentant une gîte raisonnable
- le bidon de méthanol (5 ou 10 L) à moins de 30cm
- bonne arrivée d'air, car il joue un rôle dans le processus de fabrication électrique (consommation d'oxygène)
- bonne évacuation d'air, car le processus dégage de la chaleur
- la quantité d'eau produite en tant que déchet est faible, un fin tuyau flexible la dirige vers un pot vidé de temps en temps
- l'éloignement des batteries implique le respect de la section des câbles telle qu'indiquée dans la notice technique
- l'appareil est presque silencieux, ce qui permet de garder le coffre ouvert.

| Données techniques | MFC | | |
|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| | MFC 75 | MFC 100 | MFC 130 |
| Produit | MFC 75 | MFC 100 | MFC 130 |
| Puissance nominale | 38 W | 50 W | 65 W |
| Capacité de charge | 900 Wh par jour (75 Ah par jour) | 1200 Wh par jour (100 Ah par jour) | 1600 Wh par jour (130 Ah par jour) |
| Tension nominale | 12 V | 12 V | 12 V |
| Courant de charge à 12 V | 3.1 A | 4.2 A | 5.4 A |
| Seuil de mise en service* | U < 12,3 V | U < 12,3 V | U < 12,3 V |
| Seuil de mise hors service* | U > 14,2 V I < 10 A | U > 14,2 V I < 10 A | U > 14,2 V I < 10 A |
| Tension mini pour service | >10,5 V | >10,5 V | >10,5 V |
| Consommation électrique au repos | 15 mA | 15 mA | 15 mA |
| Consommation en carburant** | 0,9 l/kWh | 0,9 l/kWh | 0,9 l/kWh |
| Batteries connectables | Au plomb 12 V (acide ou gel) | | |
| | 15 à 150 Ah | 20 à 200 Ah | 25 à 250 Ah |

| Spécifications Générales | MFC 75 | MFC 100 | MFC 130 |
|----------------------------------|---|---------|---------|
| Niveau sonore | 39dB à 1 m / 23 dB à 7 m | | |
| Dimensions | 43,5 x 20,0 x 27,6 cm (L x l x H) | | |
| Espace requise pour installation | 51 x 35 x 30 cm (L x l x H) | | |
| Poids MFC sans accessoires: | 6,6 Kg | 7.6 Kg | 7.9 Kg |
| Température de service | - 20°C à + 40°C | | |
| Température de démarrage | + 5 à + 40°C | | |
| Température de stockage | + 1°C à + 45°C | | |
| Fonctionnement | Au moyen d'une télécommande à quatre touches affichant un texte multilingue | | |
| Interface électrique | Prise quadripôle MNL Type Tyco Electronics AMP Universal Mate-N-Lok (n° fabric. : 350779) | | |
| Nourrice de carburant | Volume : 5,0 litres / Poids : 4,3Kg / Dimensions : 19 x 14,5 x 28,3 cm | | |





Marcel a installé l'unité sous une banquette du carré. Malgré des ouïes de ventilation dans la banquette, il doit faire fonctionner la PAC avec la banquette ouverte. Ce qui n'est pas anormal au vu de la température dans le bateau sous les tropiques (28 à 33°C). La température de travail de la PAC ne peut pas dépasser 40°C.

On voit sur les photos ci-contre le bidon de 5L de méthanol raccordé, et un autre en réserve. Dans le compartiment voisin plusieurs bidons de réserve prennent place.

Cent litres de méthanol ont été emportés au début de la croisière. Un rangement spécifique a été installé dans un coffre de cockpit.



Parti en juillet de France, il restait 40 L de méthanol en mars, dans les conditions d'utilisation que nous verrons plus loin.

Le méthanol est inflammable, il faut donc stoker les bidons pour qu'ils ne se percent pas...

L'appareil se commande et se contrôle depuis un petit panneau, encastré à la table à carte.

Difficile de faire plus simple : un bouton ON/OFF, quelques voyants lumineux et un afficheur digital. Il ne faut d'ailleurs rien de plus.



Utilisation en Grande Croisière

L'utilisation de la PAC est simplissime, une fois enclenchée, on ne s'occupe plus que de vérifier s'il reste du méthanol dans le bidon. Le reste est transparent. La production de courant est automatique, l'électronique vérifiant les limites hautes et basses des batteries. Entre ces limites, la PAC produit.

La PAC est compatible avec tout autre producteur de courant (alternateur moteur, éolienne, panneau solaire, ...). Si un de ces appareils produit du courant, la PAC le détecte (tension aux bornes de la batterie) et diminue ou arrête de produire.

Inversement, la PAC va produire plus lorsque des consommateurs pompent sur la batterie, diminuant d'autant la décharge de la batterie. Le cycle de décharge étant plus lent, il y aura moins de cycles de décharge et donc une durée de vie plus longue de la batterie.

Marcel dispose de 4 batteries de service de 105Ah. Total 420Ah. En navigation, il consomme +/- 200Ah par jour et sa PAC peut délivrer 100Ah par jour. Le déficit de 100Ah est comblé par l'alternateur moteur, à défaut d'autres producteurs d'électricité.

Contrairement à la consommation annoncée par le constructeur (0,9L/KWh), Marcel relève une consommation de ±1,2L de méthanol par KWh produit, ce qui donne 4 KWh par bidon de 5L. Il a également mesuré que ces 5L disparaissaient en 94 heures >> production moyenne de ± 1000Wh/jour (4000Wh/94h). Le constructeur annonce 1200Wh/jour.

On pourra extrapoler que le plus gros modèle actuel de 140Ah (MFC140) par jour ne débitera réellement que 116Ah. Ce qui ne couvre pas les besoins d'un voilier hauturier actuel.

Dans ce cas du bateau de Marcel, la PAC MFC100 de Max Power compense la moitié de la consommation du bord. Il me dit qu'avec deux piles à combustible MFC 100, il étalerait complètement la consommation. Le fabricant indique d'ailleurs qu'il est possible de mettre deux PAC en parallèle. Mais à quel prix ! On le verra plus loin.

Si c'était à refaire, Marcel ajouterait deux batteries de 105 Ah pour porter son parc batteries service à 630 AH.

La PAC ne fait que débiter des ampères, la gestion de la recharge des batteries est un peu faiblarde. Comme avec l'alternateur du moteur, il n'est pas possible de les recharger complètement. Il est donc très important pour la vie des batteries d'être rechargées régulièrement avec un chargeur de quai.

Gare à ne pas tomber en panne de batteries, car la PAC a besoin d'un minimum de 10,5V pour fonctionner, mais ce défaut est vrai pour la plupart des moteurs et groupes électrogène.

Après huit mois de grande croisière, Marcel tire le bilan technique suivant :

POINTS POSITIFS

- Compacité du système
- Absence de bruit
- Absence de pollution à l'utilisation
- Absence d'entretien
- Entièrement automatique
- Production Ah en même temps que consommation

POINTS NEGATIFS

- Utilisation d'un carburant spécifique
- Actuellement peu répandu hors Europe
- Production électrique un peu faible
- Recharge incomplète (idem alternateur)
- Produit seulement du 12V et pas de 220V



Rendement énergétique en Grande Croisière

Essayons de faire un petit calcul d'exploitation pour une Grande Croisière de 3 ans ou 20.000 milles :

- temps de navigation : 20%, soit 216 jours
 - temps de mouillage : 50 %, soit 540 jours
 - temps en marina : 30%, soit 324 jours
-
- consommation navigation : 216 jours x 200 Ah = 43.200 Ah
 - consommation mouillage : 540 jours x 160 Ah = 86.400 Ah
 - consommation marina : 324 jours x 160 Ah = 51.840 Ah
- soit un total de : 181.440 Ah**
(près de 2.200 KWh !)

Les Ah en marina sont produits par le chargeur de batterie alimenté par le courant du quai.
Les Ah en navigation et au mouillage sont à produire sur le bateau.

La consommation en navigation est à pondérer par l'utilisation du moteur (pas assez de vent, voile-moteur, ...). Comptons 25% des milles parcourus au moteur (on fait toujours bien plus de moteur qu'attendu). Pas de chance, l'alternateur va charger très différemment en fonction de la charge présente dans les batteries. Prenons une charge moyenne de 15A >> 25% de 216 jours = 1.300 heures x 15A = 19.440 Ah. Pas de chance, le bateau a besoin de 43.200 Ah !

Constatation : les heures moteur « obligatoires » couvrent ± 50 % des besoins électriques du bord. Comme vu plus haut, les autres 50 % peuvent être pris en charge par une PAC de ± 1.000 Wh effectifs par jour. CQFD ?

Non, car le moteur ne tourne pas de façon régulière. Il arrive de devoir faire plusieurs jours consécutifs de zinzin en traversée par manque de vent et puis plus rien pendant une semaine. La PAC qui doit débiter toute sa puissance ne suffira pas. Il faudra faire des heures moteur « non obligatoires » seulement charger les batteries.

RESULTAT NAVIGATION : en traversée, une PAC de 1.000 Wh effectifs par jour plus l'utilisation normale du moteur ne suffit pas à couvrir les besoins électriques d'un bateau de 45 pieds sans congélateur. Il faut obligatoirement recourir à des heures moteur supplémentaires OU ajouter un autre moyen de production électrique (alternateur d'arbre, éolienne, panneau solaire, groupe, ou seconde PAC).

La consommation au mouillage est moindre (pas de pilote auto, ni d'électronique de navigation). Mais pas d'heures moteur « obligatoires ». Notre PAC MFC100 Max Power débite 1.000Wh effectifs par jour >> 540 jours x 1.000 Wh = 540.000 Wh / 12 V = 45.000 Ah pour un besoin de 86.400 Ah.

RESULTAT MOUILLAGE : au mouillage, cette PAC couvre ± 50 % des besoins électriques du bord. Il faut obligatoirement recourir à un autre moyen de production électrique (heures moteur au mouillage, éolienne, panneau solaire, groupe, ou seconde PAC).

Conclusion sur le rendement énergétique

Il apparaît clairement qu'une seule PAC de 1.000 Wh par jour ne peut couvrir seule les besoins électriques d'un bateau de grande croisière de 45 pieds, tant au mouillage qu'en navigation. Cette taille n'est d'ailleurs pas critique, la consommation d'un bateau de 38 pieds mené en grande croisière sera équivalente.

Il faut dès lors envisager de faire des heures moteur « inutiles » ou d'installer un autre producteur électrique. Il est aussi possible de se passer de frigo, de musique, de PC, etc... Ce que les navigateurs refusent de faire aujourd'hui.



Rendement économique en Grande Croisière

Une PAC Max Power MFC110 de 110AH par jour est actuellement (août 2009) vendue à 4.000€ TTC. Le bidon de méthanol de la marque coûte 35€/5L ou 50€/10L. On en trouve chez un concurrent (Efoy) à 37€/10L.

Sachant qu'un 1 KWh nécessite 1,2 L de méthanol, il faudra 1.540 litres de méthanol pour produire les 1.284 KWh nécessaires sur toute la croisière (3 ans). Chiffre qui tient compte de l'apport des heures de moteur « obligatoires ».

Ceci est un calcul théorique, puisqu'une seule PAC ne peut délivrer une telle puissance, il en faut deux. On devrait pouvoir les amortir sur 5 ans.

| | |
|---|-----------------|
| Amortissement partiel des 2 PAC sur les 3 ans de grande croisière : | 4.800 € |
| Consommation 1.540 litres de méthanol pour produire 1.284 KWh : | 5.700 € |
| TOTAL : | 10.500 € |

En comparaison un petit groupe 3000 tours de type Paguro 4000 coûte en ce moment ±8.000 € avec tous les kits d'installation. Le montage coûte ±2.000 €. Total : 10.000 €. La consommation est de 0,4 litre de gasoil par KWh (le rendement est meilleur que la PAC). Prenons le à 1€/litre (c'est moins cher au Brésil, Venez, etc...)

| | |
|--|----------------|
| Amortissement partiel du Paguro 4000 sur les 3 ans de grande croisière : | 6.000 € |
| Consommation 515 litres de gasoil pour produire 1.284 KWh : | 515 € |
| TOTAL : | 6.515 € |



Conclusion économique

Ce petit calcul sans prétention, fait apparaître qu'en grande croisière, l'utilisation d'un petit groupe électrogène fixe diesel de 3.500 W en 220 V coûte placé, 40 % de moins que deux PAC.

De plus, il utilise le même carburant que le moteur, produit du 220V et rechargera bien mieux les batteries avec le chargeur de quai qui est de toute façon indispensable dans le bateau. Il est même possible de le démarrer à la main en cas de panne électrique totale.



Conclusions générales

La technologie moderne et silencieuse de la pile à combustible est séduisante mais encore chère. Elle a le handicap d'un mauvais rendement et utilise un combustible différent. Si elle peut être tentante dans un petit bateau par manque de place pour installer un petit groupe, le problème n'est que déplacé puisqu'il faut embarquer quantité de méthanol de qualité, introuvable dans les pays exotiques. Pour les bateaux de plus de 45 pieds, le groupe est sans hésitation, le bon choix. Si possible un 1.500 T/m

Le groupe électrogène reste aujourd'hui la meilleure solution pour alimenter son cher voilier en indispensables Ah. La PAC est au même titre que les éoliennes, panneaux solaires et alternateurs d'arbre, un producteur secondaire destiné à faire moins de moteur ou moins de groupe. Si une PAC est envisagée, il faudrait prendre le modèle le plus productif (aujourd'hui 140 Ah par jour).

Ces producteurs secondaires ne sont pas à dédaigner, ils sont aussi une sécurité en cas de panne du groupe, du chargeur ou de l'alternateur moteur. Nous sommes en grande croisière, pas en promenade estivale.

Max Power, qui appartient au Groupe Navimo (Plastimo) n'est pas le seul à les vendre, l'allemand EFOY propose une gamme équivalente dont vous trouverez les caractéristiques ci-dessous.

Pour vous détendre après ce long article très technique :

Connaissez-vous la puissance électrique d'un coton-tige ? (2 ouates)

Merci à Marcel de Minariacum pour les informations qu'il a bien voulu partager.

Création : Septembre 2009 - **Dernière mise à jour** : Septembre 2009

Crédit photos : Patrick



| Produit | EFOY 600 | EFOY 900 | EFOY 1200 | EFOY 1600 | EFOY 2200 |
|--|--|----------------|------------------|------------------|------------------|
| Puissance nominale | 25 W | 38 W | 50 W | 65 W | 90 W |
| Capacité de charge par jour | 600 Wh (50 Ah) | 900 Wh (75 Ah) | 1200 Wh (100 Ah) | 1600 Wh (130 Ah) | 2200 Wh (130 Ah) |
| Tension nominale | 12 V | 12 V | 12 V | 12 V | 12 V |
| Courant de charge à 12 V | 2.1 A | 3.1 A | 4.2 A | 5.4 A | 7.5 A |
| Consommation nominale | 0.9 l/kWh | 0.9 l/kWh | 0.9 l/kWh | 0.9 l/kWh | 0.9 l/kWh |
| Batteries | Accumulateurs au plomb 12 V (plomb-acide ou plomb-gel) | | | | |
| raccordables Niveau sonore à 7 m de distance | 23 dB (A) | 23 dB(A) | 23 dB(A) | 23 dB (A) | 23 dB (A) |
| Poids | 6.5 kg | 6.8 kg | 7.4 kg | 7.6 kg | 7.9 kg |
| Dimensions (L x L x H) | 43.5 x 20 x 27.6 cm | | | | |

