Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 84 (1993)

Heft: 16

Artikel: Test de longue durée d'une pile à combustible au gaz naturel

Autor: Dinh Lan, Nguyen

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902713

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Dans le but de promouvoir les techniques tendant à utiliser l'énergie de manière économe et respectueuse de l'environnement, les Services industriels de Genève (SIG) ont décidé de participer aux tests de longue durée des piles à acide phosphorique actuellement mises sur le marché en pré-série industrielle. L'objectif principal du projet «GAZEL-SIG» est d'étudier les conditions technico-économiques de l'implantation de la pile à combustible en tant que moyen décentralisé de production d'électricité à partir du gaz naturel. Une pile à acide phosphorique d'une puissance de 200 kW électrique (figure 1) a été acquise et installée sur le site du Lignon à mi-novembre 1992. Les tests qui ont débuté fin février 1993 constituent une première suisse hors laboratoire pour cette technologie.

Test de longue durée d'une pile à combustible au gaz naturel

■ Nguyen Dinh Lan

Historique

La découverte de la pile à combustible est attribuée à l'anglais Sir W. R. Grove qui, en 1839, démontra le concept de base de la pile à l'aide d'électrodes en platine plongées dans de l'acide sulfurique, dans le cadre d'expériences sur la réversibilité de l'électrolyse de l'eau.

Pendant plus d'un siècle, cette expérience est restée confinée dans les laboratoires, jusqu'aux années 1930 où un autre pionnier anglais, F. Bacon, développa une pile alcaline fonctionnant à 240 °C et 55 bar. Les travaux de Bacon ont constitué la base du programme des piles alcalines développées pour les vaissaux spatiaux Apollo. L'avènement de la navigation spatiale a permis, à partir de 1960, de fournir la première application de la pile à combustible (lors des expériences spatiales Gemini et Apollo). Elle y était utilisée pour produire l'électricité nécessaire à bord des vaisseaux spatiaux. C'était une pile hydrogène-oxygène d'une puissance de 1 kW, qui s'est révélée efficace et fiable (figure 2). Son rendement s'élevait jusqu'à

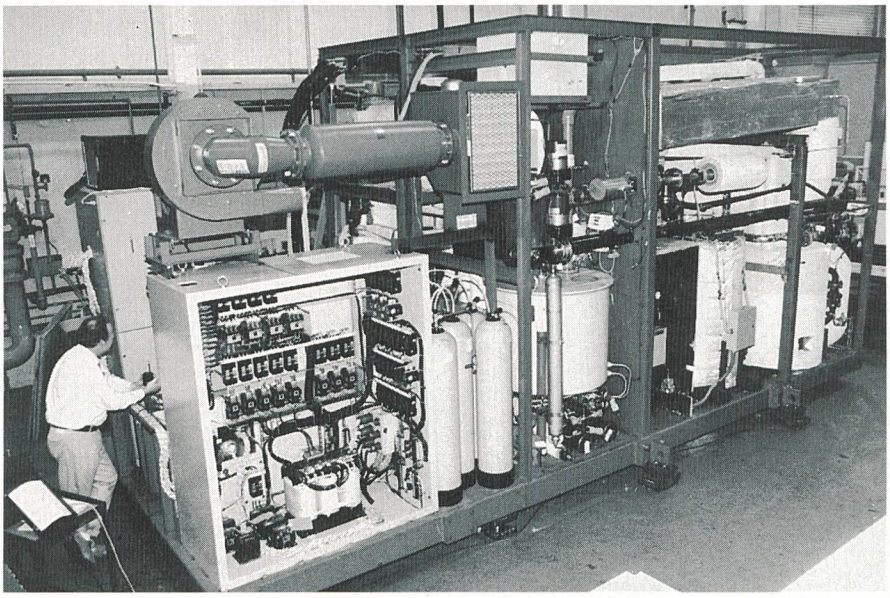

Figure 1 Pré-prototype de pile à combustible PC 25 de 200 kW en cours de montage

Adresse de l'auteur:
Nguyen Dinh Lan, Dr ès sciences EPFL,
Services industriels de Genève, 12, rue du Stand,
1211 Genève 11.

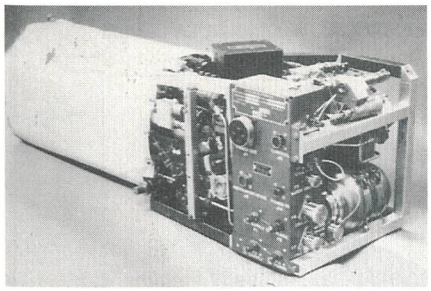

Figure 2 Pile alcaline d'une navette spatiale: Puissance 12 kW, poids 115 kg, dimensions 114 x 38 x 35 cm

72%. De plus, l'eau produite par la réaction électrochimique pouvait être utilisée par les astronautes. La durée de vie annoncée était de 550 h, mais dans la pratique jusqu'à 3000 h de fonctionnement ont été atteintes.

Principe de fonctionnement

Une pile à combustible est constituée d'un grand nombre de cellules élémentaires comportant chacune deux électrodes (une anode et une cathode) séparées par un électrolyte.

Elle fonctionne selon la réaction électrochimique inverse de l'électrolyse: l'hydrogène obtenu par reformage du gaz naturel réagit avec l'oxygène de l'air pour produire du courant électrique continu, sous une tension caractéristique de 0,7 volt et une densité de courant d'environ 150 mA/cm^2, avec de la chaleur et de l'eau comme sous-produits. Environ 300 cellules ou plus peuvent être assemblées dans une pile pour produire une grande puissance (200 kW) à une tension utilisable (250 volts), (figure 3).

La pile à combustible, tout comme la pile électrique, est un générateur qui transforme directement l'énergie chimique en énergie électrique. Toutefois, il s'agit cette fois de l'énergie chimique d'un combustible gazeux. En outre, contrairement aux piles électriques classiques et aux accumulateurs, lesquels emmagasinent de l'énergie et distribuent de l'électricité jusqu'à épuisement de leur charge, la pile à combustible produit elle-même le courant qu'elle débite aussi longtemps qu'on lui fournit les deux gaz nécessaires à la réaction électrochimique productrice d'électricité (gaz naturel et oxygène ou air atmosphérique). La possibilité de stocker combustible et oxydant (oxygène) à l'extérieur de la pile résout son problème d'autonomie.

Par rapport au système traditionnel de production d'énergie électrique (chaudière – turbine – alternateur), la pile transforme directement l'énergie chimique du combustible en électricité, sans machines tournantes, donc avec moins de pertes et moins de nuisances sonores.

Caractéristiques

La pile à combustible a des performances supérieures à tous les autres systèmes de production d'énergie électrique.

La figure 4 montre que, à partir d'une puissance de l'ordre de 200 kW, l'effet de taille ne joue pas de rôle, ce qui favorise une utilisation décentralisée de la pile. Pour des puissances plus faibles, les performances restent supérieures aux autres systèmes.

La figure 5 donne les performances comparées en fonction de la charge. A charge partielle, la pile a des performances très élevées, ce qui permet un fonctionnement très souple et une réduction considérable des rejets polluants vers l'environnement.

Du point de vue écologique, la pile à combustible est actuellement le système de production d'énergie électrique qui répond le mieux à la fois aux objectifs de performances et aux normes de protection de l'environnement. A cause de l'absence des machines tournantes telles que les turbines et les compresseurs, la pile ne présente pas de nuisances au point de vue de vibrations et de bruit et s'adapte instantanément aux variations de la charge.

Les rejets de monoxyde de carbone, de dixyde de soufre et d'oxyde d'azote sont extrêmement réduits et situés bien en dessous de toutes les normes antipollution actuellement en vigueur, et en particulier des nouvelles normes OPair 92.

Enfin, la pile à combustible réduit notablement la production de gaz carbonique CO_2 responsable d'une partie de l'effet de serre. Elle produit moins de CO_2 qu'un groupe classique à gaz. A charge partielle cet avantage est encore plus grand car la pile a un rendement supérieur à charge partielle. La figure 6 montre bien l'avantage de la pile sur tous les autres systèmes.

Classifications des piles à combustible

Les piles sont classées en trois générations selon le type de l'électrolyte utilisé. Les caractéristiques des différentes générations sont données dans le tableau de la figure 7. La pile à acide phosphorique, dite de 1ère génération, est la plus proche du stade de commercialisation. Les piles de 2e et de 3e génération sont encore au stade de recherche en laboratoire.

Le projet «GAZEL»

Le projet «GAZEL» est un projet de caractère pluridisciplinaire qui est piloté par le service du gaz, avec la collaboration du service de l'électricité et des services généraux. Il a débuté par l'acquisition d'une pile à acide phosphorique PC 25 d'une puissance de 200 kW électrique, dont une première présérie industrielle vient d'être mise sur le marché par la société ONSI Corporation, Connecticut, USA. L'objectif principal est d'en évaluer les performances et les problèmes «in situ» sur une durée raisonnable compatible avec les durées usuelles d'amortissement des installations de production d'énergie électrique.

Le projet «GAZEL» comporte essentiellement deux phases. La phase d'expérimentation 1993–1994 est caractérisée par les études et mesures suivantes:

- mesure des performances pour un fonctionnement en îlotage ou en parallèle avec le réseau électrique,
- étude de la réponse dynamique de la pile à charge partielle,
- tests de durabilité (durée de vie estimée: 40 000 heures),
- calcul des charges d'entretien,
- mesure de la qualité de l'énergie électrique fournie (tension, courant, taux d'harmonique, synchronisation avec le réseau électrique).

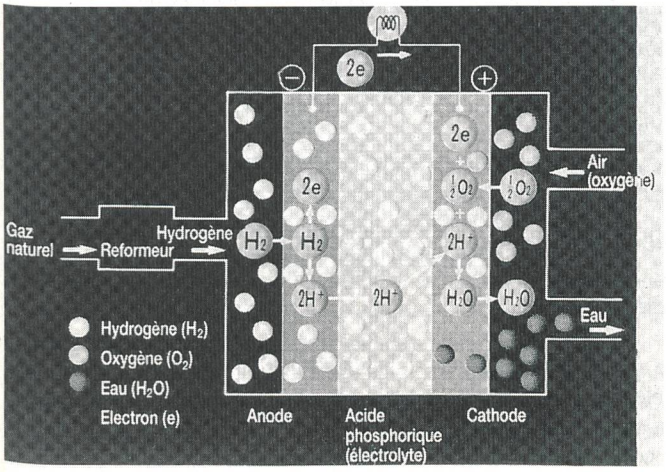

Figure 3 Schéma de principe

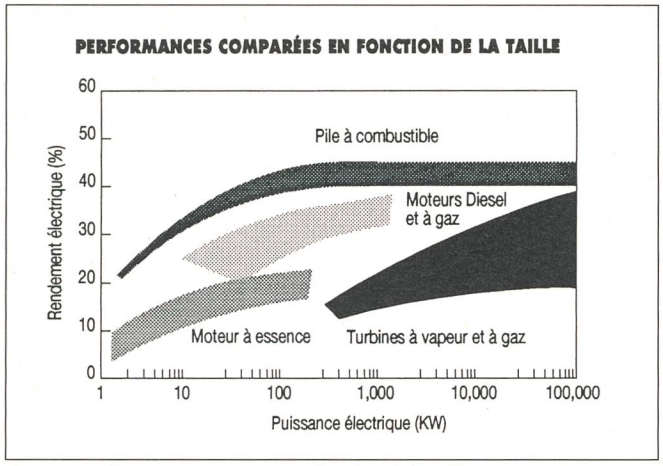

Figure 4 Performances comparées en fonction de la taille

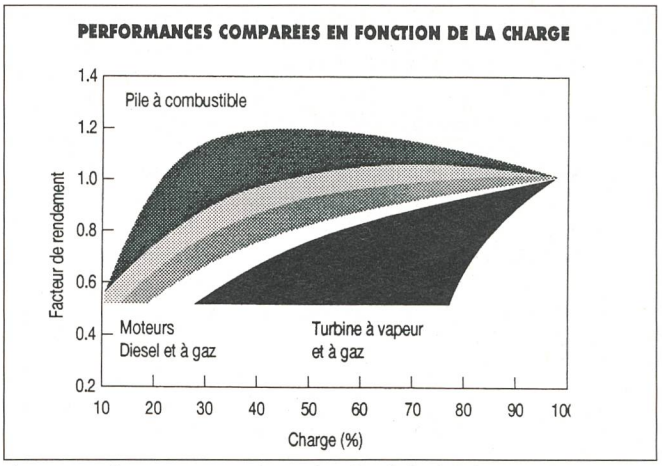

Figure 5 Performances comparées en fonction de la charge

La phase d'interprétation 1995–1996 comporte les études principales suivantes:

- évaluation technologique de la pile PC 25,
- étude des performances de la pile à combustible en fonction de la charge et du mode de fonctionnement (en îlotage ou en parallèle avec le réseau),
- évaluation des avantages écologiques,
- calculs de rentabilité,
- transfert de savoir-faire vers les entreprises de distribution électriques et gazières,
- étude du potentiel d'économie d'énergie réalisable par l'utilisation de la pile à combustible, à Genève et en Suisse.

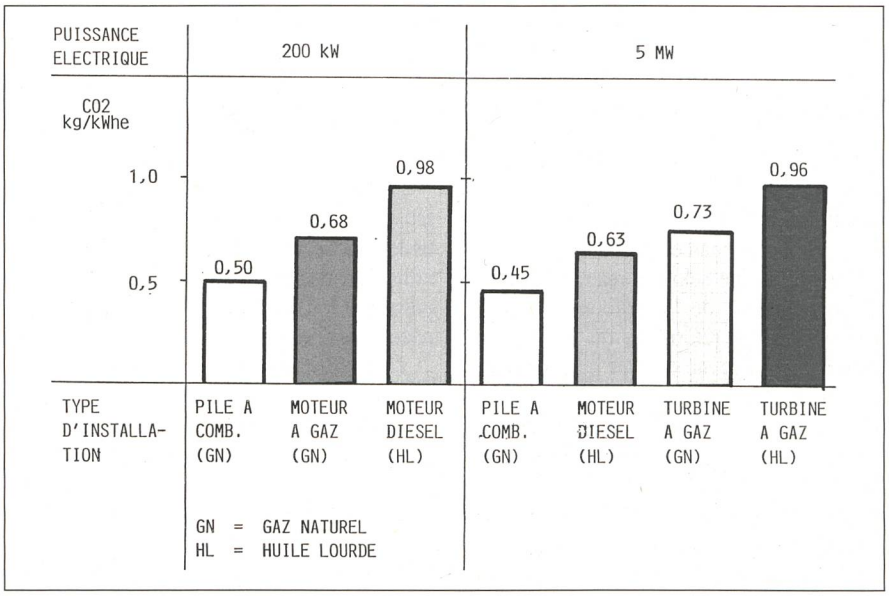

Figure 6 Production de CO_2 en fonction du type de l'installation

La pile PC 25

La pile à acide phosphorique PC 25 est une centrale chaleur-force qui possède les caractéristiques de construction suivantes:

Puiss. électrique	200 kW/235 kVA
Fréquence	50 Hz
Tension	400 V – 3 phases – 4 fils
	230 V – 3 phases – 3 fils
Rendement électr.	40% (sur PCI)
Puiss. thermique	221 kW
Eau chaude	74 °C
Cons. de gaz	54 Nm^3/h
Niveau de bruit	max. 60 dBa à 10 m
Courant de défaut:	
Ilotage	475 A phase à phase
Parallèle	110% du courant efficace nominal
Surcharge transitoire:	
Ilotage	120% kW nominal
	160% kVA nominal

La figure 8 donne la configuration de base d'une pile PC 25. Elle contient les éléments suivants:

- Le reformeur produit un gaz riche en hydrogène à partir du gaz naturel, sous haute température et en présence de la vapeur d'eau et d'un catalyseur.
- La cellule, constituée par l'empilage de plus de 300 cellules élémentaires, génère l'électricité en courant continu, à une tension utilisable (250 V continu).
- Le circuit thermique récupère la chaleur dégagée par le reformeur et la cellule. Cette chaleur est fournie sous la forme d'eau chaude à 74 °C.

Génération	Première		Deuxième	Troisième
Type	Pile à acide phosphorique	Pile alcaline	Pile à carbonate fondu	Pile à electrolyte solide
Electrolyte	Acide phosphorique	Potasse	Carbonate fondu	Oxyde de zirconium
Ions actifs	H+	OH–	CO_2	O_2
Température	160–220 °C	100 °C	600–700 °C	1000 °C
Combustible	H_2	H_2 pur	H_2, CO, Hn, CM	H_2, CO_2, HN, Cm
Combustible primaire	– Gaz naturel – Méthanol – Naphta – GPL – Huiles légères	Hydrogène pur seulement	– Gaz naturel, méthanol – Gaz de pétrole et de charbon, biogaz	
Mise en service commercial	1990 et suivantes	Généralisation de l'usage de l'hydrogène	env. 2000	après 2000
Rendement électrique	35–45%	45–60%	46–60%	50–60%

Figure 7 Classification des piles à combustible

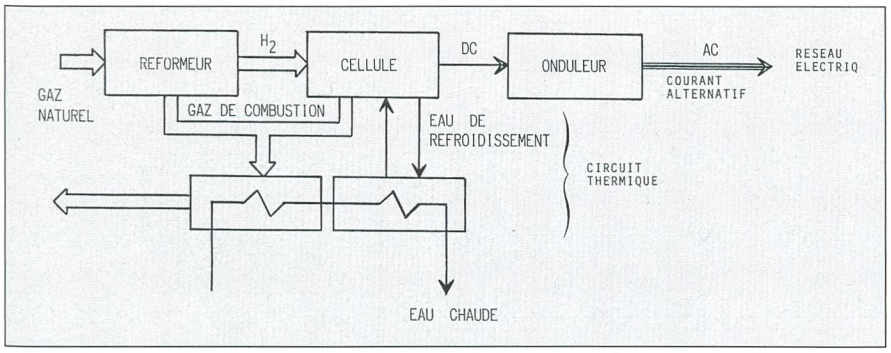

Figure 8 Schéma de principe de la pile PC 25

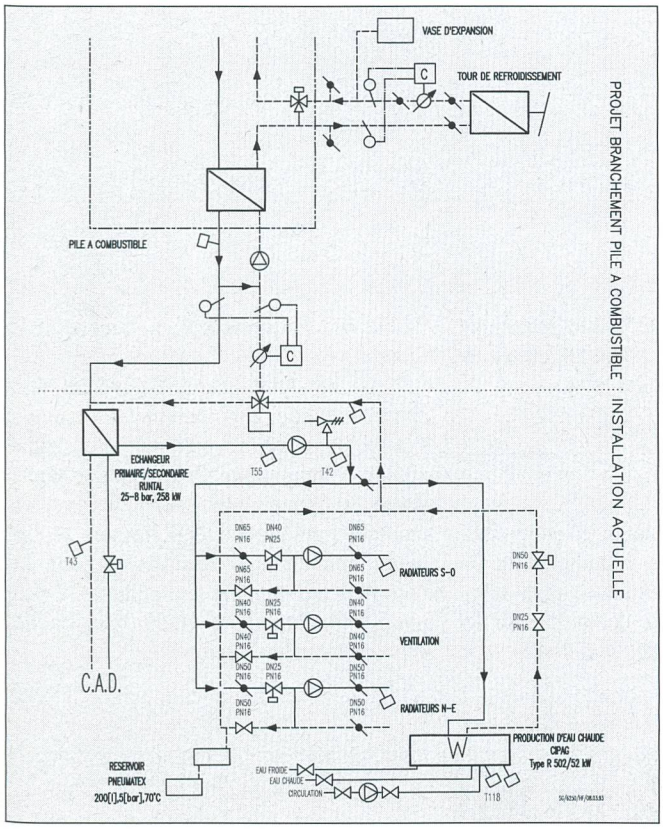

Figure 9 Principe de raccordement thermique de la pile PC 25

- L'onduleur convertit le courant continu produit par la cellule en courant alternatif pour les utilisateurs.

La PC 25 possède beaucoup de caractéristiques de fonctionnement favorables:

- Performances élevées (rendement électrique 40%) dans un large domaine de 40% à 100% de la charge nominale.
- Fonctionnement entièrement automatique, sans présence. humaine, d'où faible coût d'exploitation.
- Fonctionnement propre, silencieux, sans vibration.
- Production d'énergie de haute qualité, compatible avec l'alimentation du matériel informatique.
- Fonctionnement en îlotage ou en parallèle avec le réseau électrique local. En îlotage, la PC 25 s'adapte automatiquement à la demande lorsque cette dernière varie au dessous de la pointe.

La pile PC 25 a été installée dans le complexe du Lignon des Services industriels de Genève. Elle assure les besoins thermiques d'un bâtiment administratif en chauffage et en eau chaude sanitaire pour une puissance maximale d'environ 220 kW, l'appoint étant fourni par le réseau de chauffage à distance CAD du Lignon. Une tour de refroidissement permet d'évacuer vers l'atmosphère l'excé-dent d'énergie thermique lorsque la consommation de chaleur est plus faible que la production de la pile. La figure 9 donne le schéma de principe du raccordement thermique de la pile à la sous-station thermique du bâtiment administratif (bâtiment 101). La consommation de chaleur se situe aux niveaux des radiateurs S-O, N-E, de la ventilation et de la production d'eau chaude de CIPAG. Dans le cas où un réseau de chauffage à distance n'est pas disponible à proximité de la pile, une chaudière d'appoint à gaz pourrait surchauffer l'eau chaude à une température supérieure à 74 °C (température fournie par la pile PC 25 en régime nominal).

Raccordement thermique et électrique

Le raccordement électrique de la pile avec le réseau s'est fait à travers la sous-station électrique N° 105. Un inventaire des appareils électriques installés dans les bâtiments existants et alimentés par cette sous-station a permis de faire ressortir la diversité de ces appareils (moteurs de pompe et de compresseur, matériel informatique, installations de climatisation, atelier mécanique, etc.), ce qui permet de faire des simulations de charge en mode de fonctionnement en îlotage. La figure 10 présente le schéma de principe de raccordement de la pile vers la sous-station électrique BT 105.

Il existe 4 modes principaux de branchement de la pile:

Mode PC 25 hors service

Les disjoncteurs MCB001, MCB002, MCB003, Q1 et Q2 sont ouverts. Q132 reste en principe toujours ouvert quel que soit le mode de fonctionnement.

Mode PC 25 en attente

Une présélection est faite en enclenchant les deux interrupteurs de commande se trouvant dans la cellule 0.

Le disjoncteur Q2 se ferme et donne la tension en amont de MCB002. Q1, MCB001, MCB002 et MCB003 restent ouverts.

Dans ce mode, la pile PC 25 produit l'électricité pour alimenter ses auxiliaires, mais ne fournit pas l'électricité à l'extérieur. Lors du démarrage, ce mode est atteint avant que la pile puisse passer en mode îlotage ou en mode parallèle avec le réseau. De plus, lors d'une panne de réseau, la pile se met automatiquement dans ce mode en attente.

Mode PC 25 en îlotage

L'ordre de branchement en îlotage est donné par l'opérateur de la pile.

MCB001 se ferme, Q122 s'ouvre et Q1 se ferme aussitôt après une temporisation. Q2, Q142 et Q152 restent fermés alors que MCB003 et MCB002 restent ouverts.

Mode PC 25 en parallèle avec le réseau

L'ordre de branchement en parallèle sur le réseau est donné par l'opérateur de la pile. MCB002 se ferme, Q2, Q142 et Q152 restent fermés. Q122 reste fermé et Q1 ouvert.

Ce principe de raccordement de la pile donne beaucoup de flexibilité à l'exploitation

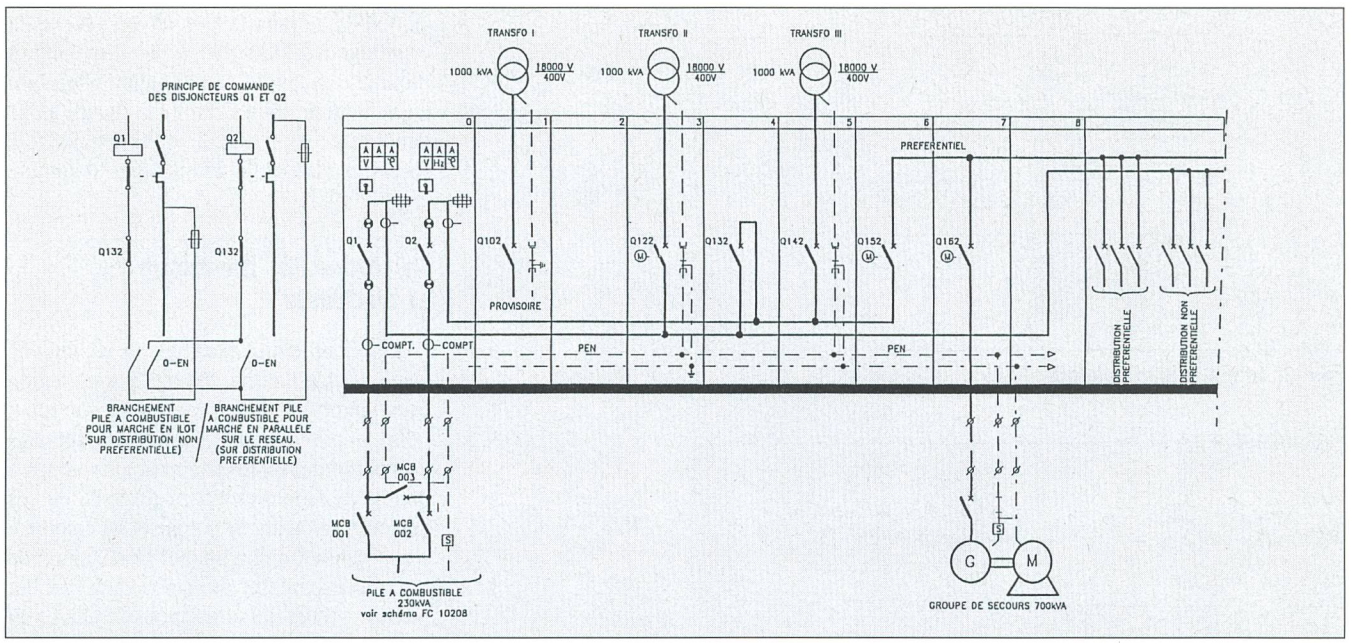

Figure 10 Principe de raccordement électrique de la pile PC 25

de la pile PC 25 par les possibilités d'action suivantes:

- choix du mode de fonctionnement (îlotage ou en parallèle au réseau)
- choix des charges préférentielles et non-préférentielles
- utilisation de la pile en groupe de secours.

Au niveau de la pile, des systèmes de protection efficaces contre les conditions anormales sont implantés aussi bien dans le logiciel de contrôle que dans les composants mécaniques et électriques. Cette protection permet d'assurer une disponibilité élevée et un grand confort d'exploitation.

Perspectives

La phase d'expérimentation en cours devra permettre d'évaluer la technologie de la pile PC 25, ses avantages écologiques et sa rentabilité, ce qui pourra déboucher sur le calcul du potentiel d'économie d'énergie réalisable par son utilisation, à Genève et en Suisse.

Le savoir-faire acquis durant les tests constituera une contribution importante à l'éla-boration de la politique énergétique aussi bien au niveau cantonal que sur le plan suisse. Au niveau international, les Services industriels de Genève, déjà membre de certaines commissions spécialisées dans les nouvelles technologies énergétiques, espère pouvoir renforcer son crédit vis-à-vis des autres entreprises gazières.

Erdgasgespeiste Brennstoffzelle im Test

Dass durch die elektrochemische Verbrennung von Wasserstoff und Luftsauerstoff direkt Strom und Wärme gewonnen werden kann, ist bereits seit 150 Jahren bekannt. Der englische Forscher W. R. Grove hatte das Prinzip 1839 entdeckt und der Öffentlichkeit vorgestellt. Weiterentwickelt wurde diese Technik aber erst in diesem Jahrhundert. In den 60er Jahren gelangte zum erstenmal in der Raumfahrt eine Brennstoffzelle zum Einsatz. Sie produzierte an Bord der Raumfähren Apollo und Gemini Strom für die Astronauten.

Die Brennstoffzelle gilt heute als eine saubere, umweltfreundliche Energiequelle der Zukunft. Sie zeichnet sich einerseits durch einen hohen Wirkungsgrad aus, andererseits liegen die Emissionen von Luftschadstoffen weit tiefer als bei fossilbefeuerten Anlagen. Ausserdem ist die Technologie geräuschlos und produziert keine gefährlichen Abfälle. Die Brennstoffzellen-Technologie steht heute im vorindustriellen Stadium. Im Februar wurde erstmals in der Schweiz von den Industriellen Betrieben Genf eine mit Erdgas betriebene Brennstoffzelle versuchsweise in Betrieb genommen. Ziel des Projektes ist es, die Möglichkeiten der dezentralen Energieproduktion mit dieser umweltschonenden Technologie zu erproben. Das Projekt «Gazel» sieht zuerst eine zweijährige Versuchsphase vor. Bis Ende 1994 soll Aufschluss gewonnen werden über die Leistungsfähigkeit der Zelle im Insel- und im Netzbetrieb, über ihre Lebensdauer, die Unterhaltskosten und die Qualität der produzierten Energie. In einer anschliessenden Evaluationsphase werden die gewonnenen Erkenntnisse dann ausgewertet. Die von der ONSI Corporation in Connecticut (USA) gelieferte Anlage setzt sich aus drei Hauptteilen zusammen: dem Reformer, in dem Wasserstoff aus Erdgas gewonnen wird; der eigentlichen Brennstoffzelle, in welcher der Luftsauerstoff mit Wasserstoff zu Wasser reagiert und dabei Strom abgibt, und einem Wechselrichter zur Umwandlung des Gleichstroms in Wechselstrom. Die Anlage enthält rund 300 einzelne Zellen. Als Elektrolyt dient Phosphorsäure. Der Prozess läuft bei etwa 200 °C ab; der Strom wird teils ans Netz abgegeben, teils für eigene Apparate genutzt. Auch die Wärme wird zurückgewonnen. Das Projekt wird vom BEW im Rahmen der Bemühungen des Bundes zur Förderung von Energie-Demonstrationsanlagen unterstützt.