

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62282-2

Première édition
First edition
2004-07

Technologies des piles à combustible –

**Partie 2:
Modules à piles à combustible**

Fuel cell technologies –

**Part 2:
Fuel cell modules**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62282-2:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62282-2

Première édition
First edition
2004-07

Technologies des piles à combustible –

**Partie 2:
Modules à piles à combustible**

Fuel cell technologies –

**Part 2:
Fuel cell modules**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

W

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	4
INTRODUCTION.....	8
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	12
3 Termes et définitions	14
4 Exigences	22
4.1 Stratégie de sécurité générale	22
4.2 Exigences de conception	24
5 Essais de type.....	34
5.1 Essai de fuite de gaz	34
5.2 Fonctionnement normal	36
5.3 Essai de pression de service admissible	38
5.4 Essai de résistance à la pression du système de refroidissement	40
5.5 Essai de surcharge électrique	40
5.6 Essai de surpression	40
5.7 Essai de rigidité diélectrique	40
5.8 Essai de pression différentielle	44
5.9 Essai de fuite de gaz (répétition).....	44
5.10 Fonctionnement normal (répétition).....	44
5.11 Essai de concentration inflammable.....	44
5.12 Essais des conditions anormales.....	46
6 Essais individuels de série.....	50
6.1 Essai d'étanchéité au gaz.....	50
6.2 Essai de rigidité diélectrique	50
7 Marquages et instructions.....	50
7.1 Plaque signalétique	50
7.2 Marquage.....	52
7.3 Etiquette d'avertissement.....	52
7.4 Documentation	52
Annexe A (informative) Informations supplémentaires pour la réalisation et l'évaluation des essais	60
Bibliographie	74
Figure 1 – Composants d'un système à piles à combustible et domaine d'application de la norme	12
Tableau 1 – Tensions pour l'essai de rigidité diélectrique (dérivées de la EN 50178).....	42
Tableau A.1 – Viscosité des gaz à une atmosphère	66

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	9
1 Scope	11
2 Normative references	13
3 Terms and definitions	15
4 Requirements	23
4.1 General safety strategy	23
4.2 Design requirements	25
5 Type tests	35
5.1 Gas leakage test	35
5.2 Normal operation	37
5.3 Allowable working pressure test	39
5.4 Pressure withstanding test of cooling system	41
5.5 Electrical overload test	41
5.6 Overpressure test	41
5.7 Dielectric strength test	41
5.8 Differential pressure test	45
5.9 Gas leakage test (repeat)	45
5.10 Normal operation (repeat)	45
5.11 Flammable concentration test	45
5.12 Tests of abnormal conditions	47
6 Routine tests	51
6.1 Gas-tightness test	51
6.2 Dielectric strength withstand test	51
7 Markings and instructions	51
7.1 Nameplate	51
7.2 Marking	53
7.3 Warning label	53
7.4 Documentation	53
Annex A (informative) Additional information for the performance and evaluation of the tests	61
Bibliography	75
Figure 1 – Fuel cell system components and scope of standard	13
Table 1 – Dielectric strength test voltages (derived from EN 50178)	43
Table A.1 – Viscosity of gases at one atmosphere	67

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 2: Modules à piles à combustible

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés «Publication(s) de la CEI»). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62282-2 a été établie par le comité d'études 105 de la CEI: Technologies des piles à combustible.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
105/73/FDIS	105/77/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FUEL CELL TECHNOLOGIES –**Part 2: Fuel cell modules****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62282-2 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
105/73/FDIS	105/77/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

La CEI 62282 comprend les parties suivantes, publiées sous le titre général *Technologies des piles à combustible*:

- Partie 1: Terminologie¹
- Partie 2: Modules à piles à combustible
- Partie 3-1: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Sécurité¹
- Partie 3-2: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Méthodes d'essai des performances¹
- Partie 3-3: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Installation¹
- Partie 5: Systèmes à piles à combustible portables – Exigences de sécurité¹
- Partie 6-1: Micro-systèmes à piles à combustible – Sécurité¹
- Partie 6-2: Micro-systèmes à piles à combustible – Performance¹
- Partie 6-3: Micro-systèmes à piles à combustible – Interchangeabilité¹

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

¹ A l'étude.

IEC 62282 consists of the following parts under the general title *Fuel cell technologies*:

- Part 1: Terminology¹
- Part 2: Fuel cell modules
- Part 3-1: Stationary fuel cell power plants – Safety¹
- Part 3-2: Stationary fuel cell power plants – Test methods for the performance¹
- Part 3-3: Stationary fuel cell power plants – Installation¹
- Part 5: Portable fuel cell appliances – Safety requirements¹
- Part 6-1: Micro fuel cell power systems – Safety¹
- Part 6-2: Micro fuel cell power systems – Performance¹
- Part 6-3: Micro fuel cell power systems – Interchangeability¹

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition, or
- amended.

¹ Under consideration.

INTRODUCTION

Les modules à piles à combustible, tels qu'ils sont définis plus loin, sont des dispositifs électrochimiques qui convertissent de manière continue le combustible fourni, comme l'hydrogène ou des gaz riches en hydrogène, des alcools, des hydrocarbures et des oxydants, en courant continu, en chaleur, en eau et en d'autres sous-produits.

NOTE Le terme «module à piles à combustible» s'applique à un sous-ensemble qui pourrait comprendre un peu plus qu'une pile à combustible, par exemple des capteurs, une enveloppe. Cet ensemble est destiné à être intégré dans un produit fini par un intégrateur de systèmes.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2:2004

Without watermark

INTRODUCTION

Fuel cell modules, as defined later, are electrochemical devices which convert continuously supplied fuel, such as hydrogen or hydrogen rich gases, alcohols, hydrocarbons, and oxidants to d.c. power, heat, water and other by-products.

NOTE The term fuel cell module describes a subassembly that could comprise slightly more than a stack, for example, sensors, enclosure. This assembly is intended to be integrated into an end product by a systems integrator.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-2:2004

Withd2M

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 2: Modules à piles à combustible

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62282 donne les exigences minimales de sécurité et de performance des modules à piles à combustible. Cette norme s'applique aux modules à piles à combustible avec les différents types d'électrolytes suivants:

- alcalins;
- à membrane échangeuse de protons (y compris piles à combustible à méthanol direct);
- à acide phosphorique;
- à carbonates fondus;
- à oxyde solide.

Les modules à piles à combustible peuvent être équipés ou non d'une enveloppe et peuvent fonctionner à des niveaux de pression élevés ou à une pression proche de la pression ambiante.

Cette norme couvre uniquement les conditions qui peuvent générer des dangers pour les personnes et des dommages à l'extérieur des modules à piles à combustible. La protection contre les dommages affectant l'intérieur des modules à piles à combustible n'est pas traitée dans cette norme, si ceux-ci ne suscitent pas de dangers à l'extérieur du module.

Ces exigences peuvent être remplacées par d'autres normes applicables aux équipements contenant des modules à piles à combustible dans le cadre d'applications spécifiques. Cette partie de la CEI 62282 n'est pas applicable aux applications automobiles.

Cette norme n'est pas destinée à limiter ou à entraver les progrès technologiques. Un appareil utilisant des matériaux ou présentant des modes de construction différents de ceux décrits dans les exigences de cette norme peut être examiné et essayé en fonction de l'objectif poursuivi par ces exigences et, s'il est jugé pratiquement équivalent, il peut être estimé conforme à la norme.

Les modules à piles à combustible sont des composants de produits finis. Ces produits nécessitent une évaluation fondée sur les exigences de sécurité appropriées qui sont applicables aux produits finis.

FUEL CELL TECHNOLOGIES –

Part 2: Fuel cell modules

1 Scope

This part of IEC 62282 provides the minimum requirements for safety and performance of fuel cell modules. This standard applies to fuel cell modules with the following electrolyte chemistry:

- alkaline;
- proton exchange membrane (including direct methanol fuel cells);
- phosphoric acid;
- molten carbonate;
- solid oxide fuel cell modules.

Fuel cell modules might be provided either with or without an enclosure and might be operated at significant pressurization levels or close to ambient pressure.

This standard deals with conditions that can yield hazards to persons and damage outside the fuel cell modules only. Protection against damage to the fuel cell modules internals is not addressed in this standard, provided it does not lead to hazards outside the module.

These requirements may be superseded by other standards for equipment containing fuel cell modules as required for particular applications. This part of IEC 62282 is not applicable for road vehicle applications.

This standard is not intended to limit or inhibit technological advancement. An appliance employing materials or having forms of construction differing from those detailed in the requirements of this standard may be examined and tested according to the intent of these requirements and, if found to be substantially equivalent, may be considered to comply with the standard.

The fuel cell modules are components of final products. These products require evaluation to appropriate end-product safety requirements.

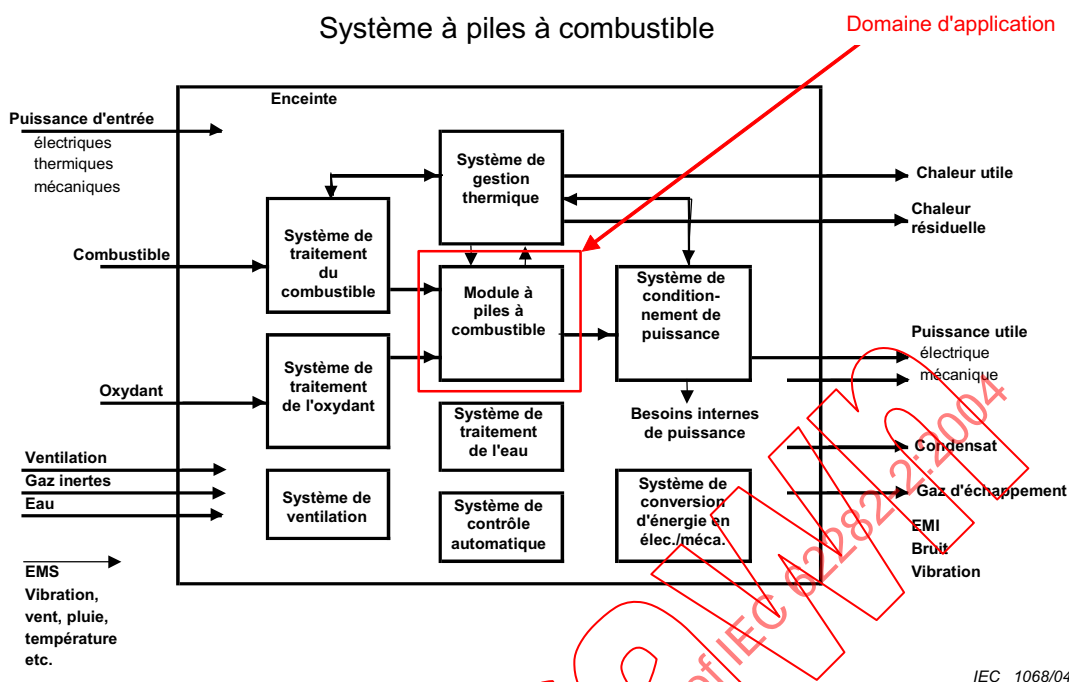


Figure 1 – Composants d'un système à piles à combustible et domaine d'application de la norme

Sauf spécification contraire, il faut que le module à piles à combustible soit capable de fonctionner dans les conditions ambiantes suivantes:

- a) altitude jusqu'à 1 000 m,
- b) air contenant approximativement $21\% \pm 1\%$ d'oxygène en volume.

Cette norme ne couvre que les éléments jusqu'à la sortie en courant continu du module à piles à combustible.

Cette norme ne s'applique pas aux dispositifs périphériques représentés à la Figure 1.

Cette norme ne couvre pas le stockage du combustible et de l'oxydant ni leur fourniture au module à piles à combustible.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60079 (toutes les parties), *Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses*

CEI 60079-10, *Matériel électrique pour atmosphères explosives gazeuses – Partie 10: Classement des emplacements dangereux*

CEI 60352 (toutes les parties), *Connexions sans soudure*

CEI 60512-8, *Composants électromécaniques pour équipements électroniques; procédures d'essai de base et méthodes de mesure – Partie 8: Essais mécaniques des connecteurs, des contacts et des sorties*

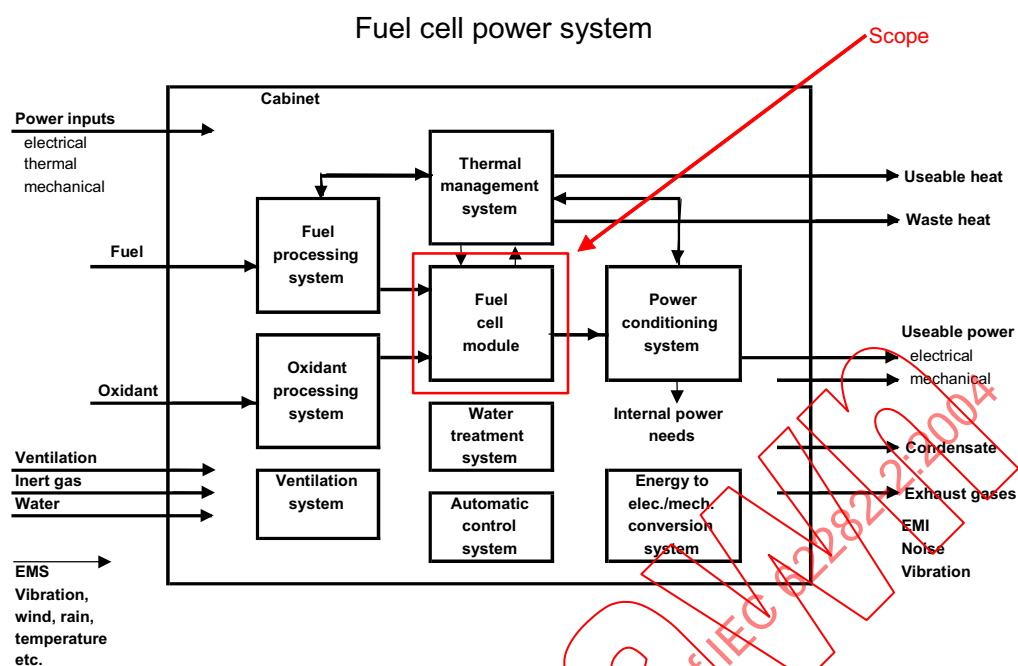


Figure 1 – Fuel cell system components and scope of standard

Unless otherwise specified, the fuel cell module must be capable of operating under the following ambient conditions:

- a) altitude up to 1 000 m;
- b) air containing approximately 21 % $\pm$ 1 % oxygen by volume.

This standard covers only up to the d.c. output of the fuel cell module.

This standard does not apply to peripheral devices as illustrated in Figure 1.

This standard does not cover the storage and delivery of fuel and oxidant to the fuel cell module.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60079 (all parts), *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres*

IEC 60079-10, *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres – Classification of hazardous areas*

IEC 60352 (all parts), *Solderless connections*

IEC 60512-8, *Electromechanical components for electronic equipment; basic testing procedures and measuring methods – Part 8: Connector test (mechanical) and mechanical test on contacts and terminations*

CEI 60529, *Degrés de protection procurés par les enveloppes (code IP)*

CEI 60617-DB:2001², *Symboles graphiques pour schémas*

CEI 60695 (toutes les parties), *Essais relatifs aux risques du feu*

CEI 60812, *Techniques d'analyse de la fiabilité des systèmes – Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)*

CEI 61025, *Analyse par arbre de panne (AAP)*

CEI 61508 (toutes les parties), *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité*

CEI 61508-1, *Sécurité fonctionnelle des systèmes électriques/électroniques/électroniques programmables relatifs à la sécurité – Partie 1: Prescriptions générales*

ISO 37:1994, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination des caractéristiques de contrainte-déformation en traction*

ISO 188:1998, *Caoutchouc vulcanisé – Essais de résistance au vieillissement accéléré et à la chaleur*

ISO 1307:1992, *Tuyaux en caoutchouc et en plastique à usage général dans les applications industrielles – Diamètres intérieurs et leurs tolérances, et tolérances sur la longueur*

ISO 1402:1994, *Tuyaux et flexibles en caoutchouc et en plastique – Essais hydrostatiques*

ISO 1436-1:2001, *Tuyaux et flexibles en caoutchouc – Types hydrauliques avec armature de fils métalliques tressés – Spécifications – Partie 1: Applications pour fluide à base d'huile*

ISO 4672:1997, *Tuyaux en caoutchouc et en plastique – Essais de souplesse à température inférieure à l'ambiante*

EN 50178, *Équipement électronique utilisé dans les installations de puissance*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions suivants s'appliquent.

3.1

essai d'acceptation

essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que l'entité répond à certaines conditions de sa spécification

[VEI 151-16-23]

3.2

pression de service différentielle admissible

différence maximale de pression entre le côté de l'anode et le côté de la cathode spécifiée par le fabricant à laquelle le module à piles à combustible peut résister sans dommage ou perte permanente des propriétés fonctionnelles

² «DB» se réfère à la base de données «on-line» de la CEI.

IEC 60529, *Degrees of protection provided by enclosures (IP code)*

IEC 60617-DB: 2001², *Graphical symbols for diagrams*

IEC 60695 (all parts), *Fire hazard testing*

IEC 60812, *Analysis techniques for system reliability – Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)*

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 61508-1, *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements*

ISO 37:1994, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of tensile stress-strain properties*

ISO 188:1998, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests*

ISO 1307:1992, *Rubber and plastics hoses for general-purpose industrial applications – Bore diameters and tolerances, and tolerances on length*

ISO 1402:1994, *Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Hydrostatic testing*

ISO 1436-1:2001, *Rubber hoses and hose assemblies – Wire-braid-reinforced hydraulic type – Specification – Part 1: Oil-based fluid applications*

ISO 4672:1997, *Rubber and plastics hoses – Sub-ambient temperature flexibility tests*

EN 50178, *Electronic equipment for use in power installations*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

acceptance test

contractual test to prove to the customer that the item meets certain conditions of its specification

[IEV 151-16-23]

3.2

allowable differential working pressure

maximum pressure difference between the anode and cathode side specified by the manufacturer which the fuel cell module can withstand without any damage or permanent loss of functional properties

² DB refers to the IEC on-line database.

3.3

pression de service admissible

pression manométrique maximale spécifiée par le fabricant à laquelle le module à piles à combustible peut résister sans dommage ou perte permanente des propriétés fonctionnelles

NOTE Pour les modules à piles à combustible équipés de limiteurs de pression, cette valeur est normalement utilisée pour définir le seuil de la pression réglée.

3.4

température ambiante

température du milieu dans lequel se trouve un appareil, un équipement ou une installation pouvant affecter la performance de l'appareil, de l'équipement ou de l'installation

3.5

fuite électrique

Voir 3.17 «courant de fuite».

3.6

fuite d'électrolyte

fuite d'électrolyte d'un module à piles à combustible

3.7

cellule élémentaire à combustible

dispositif électrochimique qui convertit un combustible, comme l'hydrogène ou des gaz riches en hydrogène, des alcools, des hydrocarbures et des oxydants, en courant continu, en chaleur, en eau et en d'autres sous-produits

3.8

pile à combustible

assemblage de deux ou plusieurs cellules élémentaires à combustible qui sont électriquement connectées

3.9

module à piles à combustible

assemblage incluant une pile à combustible qui convertit électrochimiquement l'énergie chimique en énergie électrique et en énergie thermique, destiné à être intégré dans un véhicule ou un parc de production de puissance.

NOTE Les composants principaux des modules à piles à combustible sont les suivants:

- une ou plusieurs piles à combustible;
- un circuit de tuyauteries pour le transport
 - des combustibles,
 - des oxydants,
 - des produits d'évacuation;
- des connexions électriques pour le courant fourni par les piles à combustibles.

De plus, les modules à piles à combustible peuvent être équipés

- de systèmes de surveillance et/ou de contrôle;
- de systèmes pour le transport de fluides supplémentaires (par exemple agents de refroidissement, gaz inertes);
- de systèmes pour la détection des conditions normales et/ou anormales de fonctionnement;
- d'enveloppes ou de réservoirs sous pression;
- d'un système de ventilation.

3.10

courant de pleine charge

intensité maximale du courant spécifiée par le fabricant du module à piles combustible à laquelle le module peut fonctionner

3.3**allowable working pressure**

maximum gauge pressure specified by the manufacturer which the fuel cell module can withstand without any damage or permanent loss of functional properties

NOTE For fuel cell modules incorporating pressure relief devices, this is normally used to define the threshold of the set pressure.

3.4**ambient temperature**

temperature of the medium surrounding a device, equipment or installation which may affect the performance of the device, equipment or installation

3.5**electrical leakage**

See 3.17 “leakage current”.

3.6**electrolyte leakage**

escape of electrolyte from a fuel cell module

3.7**fuel cell**

electrochemical device that converts fuel, such as hydrogen or hydrogen rich gases, alcohols, hydrocarbons, and oxidants to d.c. power, heat, water and other by-products

3.8**fuel cell stack**

assembly of two or more fuel cells which are electrically connected

3.9**fuel cell module**

assembly including a fuel cell stack which electrochemically converts chemical energy to electric energy and thermal energy intended to be integrated into a vehicle or power generation system

NOTE Fuel cell modules comprise the following main components:

- one or more fuel cell stacks;
- piping system for conveying
 - fuels,
 - oxidants,
 - exhausts;
- electrical connections for the power delivered by the stacks.

Additionally, fuel cell modules may comprise:

- means for monitoring and/or control;
- means for conveying additional fluids (for example, cooling media, inert gas);
- means for detecting normal and/or abnormal operating conditions;
- enclosures or pressure vessels;
- ventilation system.

3.10**full load current**

maximum continuous load current as specified by the fuel cell module manufacturer at which the fuel cell module has been designed to operate

3.11

perméation de gaz

transfert de gaz du côté du combustible ou du côté de l'oxydant dans l'une ou l'autre direction

3.12

fuite de gaz

cumul de tous les gaz s'échappant du module à piles à combustible à l'exception des gaz d'échappement prévus

NOTE La fuite de gaz peut provenir

- de la pile à combustible;
- des limiteurs de pression associés;
- d'autres composants de conduites de gaz et de contrôle de flux.

3.13

ventilation artificielle générale

mouvement et renouvellement mécanique d'air frais dans une zone donnée, en utilisant des moyens artificiels, des ventilateurs par exemple

3.14

dangers

situation physique pouvant provoquer des blessures de personnes, des dégâts matériels, des dégâts environnementaux ou une combinaison de ceux-ci.

NOTE Il convient que les dangers soient identifiés et ils peuvent être éliminés, limités ou laissés à la gestion de l'utilisateur. S'ils sont laissés à la gestion de l'utilisateur, il convient que la documentation d'utilisation fasse bien prendre conscience à l'utilisateur de l'étendue de ces dangers.

3.15

zones dangereuses (classées)

toute zone ou tout espace où des poussières combustibles, des fibres inflammables ou des composés liquides, du gaz, des vapeurs ou des mélanges inflammables ou volatils sont ou peuvent être présents dans l'air en quantités suffisantes pour produire des mélanges explosifs ou inflammables

3.16

température de transition thermique

température à laquelle une éprouvette standard sous contrainte se déforme sur une distance déterminée. Cela est utilisé pour déterminer la résistance thermique à court terme.

3.17

courant de fuite

courant électrique qui s'écoule à travers un chemin électrique non désiré autre qu'un court-circuit

[VEI 151-15-49]

3.18

limite inférieure d'inflammabilité (LFL – lower flammability limit)

concentration minimale de combustible dans un mélange combustible-air pour laquelle une combustion peut être initiée par une source d'inflammation

NOTE Un mélange combustible-air est inflammable lorsque la combustion peut être déclenchée par une source d'inflammation. Les proportions ou la composition du mélange combustible-air constituent la composante principale. Un mélange qui contient une quantité de combustible inférieure à la quantité critique dite limite inférieure d'inflammabilité (LFL) ou une quantité supérieure à la quantité critique dite limite supérieure d'inflammabilité (UFL) ne sera pas inflammable.

3.11**gas crossover**

leakage between the fuel side and the oxidant side in either direction

3.12**gas leakage**

sum of all gases leaving the fuel cell module except the intended exhaust gases

NOTE Gas leakage may occur from

- the fuel cell stack;
- associated pressure relief devices;
- other gas ducting and flow controlling components.

3.13**general artificial ventilation**

movement of air and its replacement with fresh air by artificial means, for example fans, and applied to a general area

3.14**hazards**

physical situation with a potential for human injury, damage to property, damage to the environment, or some combination of these.

NOTE Hazards should be recognized and may be eliminated, mitigated, or left to the user. If they are left to the user, the user documentation should make the user fully aware of the extent of the hazard.

3.15**hazardous locations (classified)**

area or space where combustible dust, ignitable fibres, or flammable, volatile liquids, gases, vapours or mixtures are or may be present in the air in quantities sufficient to produce explosive or ignitable mixtures

3.16**heat deflection temperature**

temperature at which a standard test bar deflects a specified distance under load. It is used to determine short-term heat resistance

3.17**leakage current**

electric current in an unwanted conductive path other than a short circuit

[IEV 151-15-49]

3.18**lower flammability limit (LFL)**

minimum concentration of fuel in a fuel-air mixture where a combustion can be ignited by an ignition source

NOTE A fuel-air mixture is flammable when combustion can be started by an ignition source. The main component is the proportions or composition of the fuel-air mixture. A mixture that has less than a critical amount of fuel, known as the lower flammability limit (LFL) or more than a critical amount of fuel, known as the rich or upper flammability limit (UFL), will not be flammable.

3.19

collecteur

canalisation qui alimente en gaz ou qui recueille le gaz de la cellule élémentaire à combustible ou de la pile à combustible

3.20

pression de service maximale

pression la plus élevée pour le combustible et l'oxydant, spécifiée par le fabricant, pour laquelle le module à piles à combustible a été conçu pour fonctionner de manière continue

3.21

tension minimale

tension continue la plus basse qu'un module à piles à combustible est capable de produire à sa puissance assignée ou dans les conditions de surcharge maximales admissibles, aussi faible que soit la tension

3.22

ventilation naturelle

mouvement et renouvellement d'air frais dus aux effets du vent et/ou des gradients de température

3.23

tension de circuit ouvert

tension aux bornes d'un module à piles à combustible en présence du combustible et de l'oxydant, lorsque aucun courant extérieur ne circule

NOTE Il s'agit de la tension la plus élevée que le module à piles à combustible peut atteindre.

3.24

essai individuel de série

essai de conformité effectué sur chaque entité en cours ou en fin de fabrication

[VEI 151-16-17]

NOTE Essai de conformité [VEI 151-16-15]: essai destiné à l'évaluation de la conformité.

Evaluation de la conformité [VEI 151-16-14]: examen systématique du degré de satisfaction d'un produit, d'un processus ou d'un service aux exigences spécifiées.

3.25

conditions de référence

conditions arbitrairement choisies pour recalculer des volumes mesurés de gaz à une température de 15 °C et à une pression absolue de 101,3 kPa

3.26

sauvegarde

procédure concernant les actions de l'équipement de commande, basée sur la surveillance du processus technique et destinée à éviter des états du processus qui seraient dangereux pour le personnel, l'installation, le produit ou l'environnement

[VEI 351-18-32]

3.27

conditions d'équilibre thermique

conditions de température stable, caractérisées par des variations de température inférieures à 3 K (5 °F) ou à 1 % de la température de fonctionnement absolue, selon les variations les plus significatives entre deux lectures espacées de 15 min

3.19**manifold**

conduit which supplies gas to or collects from the fuel cell or the fuel cell stack

3.20**maximum operating pressure**

highest pressure for fuel and oxidant, specified by the manufacturer, at which the fuel cell module is designed to operate continuously

3.21**minimum voltage**

lowest continuous voltage that a fuel cell module is able to produce at its rated power or the maximum permissible overload conditions, whichever voltage is lower

3.22**natural ventilation**

movement of air and its replacement with fresh air due to the effects of wind and/or temperature gradient

3.23**open-circuit voltage**

voltage across the terminals of a fuel cell module with fuel and oxidant present, when no external current is flowing

NOTE This is the highest voltage attainable from the fuel cell module.

3.24**routine test**

conformity test made on each individual item during or after manufacture

[IEV 151-16-17]

NOTE Conformity test [IEV 151-16-15]: test for conformity evaluation.

Conformity evaluation [IEV 151-16-14]: systematic examination of the extent to which a product, process or service fulfils specified requirements.

3.25**reference conditions**

arbitrarily chosen conditions for measured volumes of gases when recalculated to a temperature of 15 °C and an absolute pressure of 101,3 kPa

3.26**safeguarding**

procedure for actions of the controlling system based on monitoring of the technical process in order to avoid process conditions which would be hazardous to personnel, plant, product or environment

[IEV 351-18-32]

3.27**thermal equilibrium conditions**

stable temperature conditions indicated by temperature changes of no more than 3 K (5 °F) or 1 % of the absolute operating temperature, whichever is higher between two readings 15 min apart

3.28

essai de type

essai de conformité effectué sur une ou plusieurs entités représentatives de la production

[VEI 151-16-16]

NOTE Essai de conformité [VEI 151-16-15]: essai destiné à l'évaluation de la conformité.

Evaluation de la conformité [VEI 151-16-14]: examen systématique du degré de satisfaction d'un produit, d'un processus ou d'un service aux exigences spécifiées.

3.29

ventilation

Voir 3.13 et 3.22.

4 Exigences

4.1 Stratégie de sécurité générale

La présente norme couvre uniquement les conditions qui peuvent générer des dangers pour les personnes et des dommages à l'extérieur des modules à piles à combustible. La protection contre les dommages affectant l'intérieur des modules à piles à combustible n'est pas traitée dans cette norme, si ceux-ci ne suscitent pas de dangers à l'extérieur du module.

NOTE La protection contre les dommages à l'intérieur du module à piles à combustible lui-même est de la responsabilité du fabricant, tant que le module est utilisé conformément aux spécifications du fabricant.

En fonction de la quantité de combustible et d'énergie d'autre nature stockée (par exemple matériaux inflammables, milieux sous pression, énergie électrique, énergie mécanique, etc.) dans le module à piles à combustible, il est nécessaire d'éliminer les dangers potentiels. La stratégie de sécurité générale pour le module à piles à combustible doit être établie selon la séquence suivante:

- a) éliminer les dangers à l'extérieur du module à piles à combustible, lorsqu'une telle énergie est libérée presque instantanément, ou
- b) exercer un contrôle passif (par exemple avec des disques d'éclatement, des détendeurs, des dispositifs de coupure thermiques) de telles formes d'énergie pour permettre une libération sans mettre le milieu ambiant en danger, ou
- c) exercer un contrôle actif de telles formes d'énergie (par exemple avec des équipements de contrôle électroniques inclus dans le module à piles à combustible, mettant en œuvre des contre-mesures appropriées à partir des évaluations données par les signaux des capteurs). Dans ce cas, le risque résiduel dû aux défaillances dans de tels équipements de contrôle doit être étudié en détail. Des lignes directrices concernant les composants critiques pour la sécurité peuvent être trouvées dans la CEI 61508. Sinon, le danger peut être communiqué à l'intégrateur de systèmes de piles à combustible, ou
- d) fournir les marquages de sécurité appropriés, concernant les risques résiduels de dangers.

En utilisant les techniques décrites ci-dessus, un soin particulier doit être apporté à la couverture des aspects suivants:

- dangers mécaniques – surfaces tranchantes, dangers de déclenchement, masses en mouvement et instabilité, résistance des matériaux et liquides ou gaz sous pression;
- dangers électriques – contact des personnes avec des parties sous tension, courts-circuits, haute tension;
- dangers CEM – dysfonctionnements du module à piles à combustible lorsqu'il est exposé aux phénomènes électromagnétiques ou dysfonctionnements d'autres équipements (situés à proximité) dus à des émissions électromagnétiques provenant du module à piles à combustible;

3.28**type test**

conformity test made on one or more items representative of the production

[IEV 151-16-16]

NOTE Conformity test [IEV 151-16-15]: test for conformity evaluation.

Conformity evaluation [IEV 151-16-14]: systematic examination of the extent to which a product, process or service fulfils specified requirements.

3.29**ventilation**

See 3.13 and 3.22.

4 Requirements**4.1 General safety strategy**

This standard deals with conditions that can yield hazards to persons and damage outside the fuel cell modules only. Protection against damage to the fuel cell module internals is not addressed in this standard, provided it does not lead to hazards outside the module.

NOTE Provided it is used in accordance with the manufacturer's specification, protection against internal damage of the fuel cell module itself is the responsibility of the fuel cell module manufacturer.

Based on the quantity of fuel and other stored energy (for example, flammable materials, pressurized media, electrical energy, mechanical energy, etc.) in the fuel cell module, there is a need to eliminate potential hazards. The general safety strategy for the fuel cell module shall be established according to the following sequence:

- a) eliminate hazards outside the fuel cell module, when such energy is released nearly instantaneously, or
- b) passively control (for example, burst disks, release valves, thermal cut-off devices) such forms of energy to ensure a release without endangering the ambient, or
- c) actively control such forms of energy (for example, by electronic control equipment included in the fuel cell module, which enforces adequate counter-measures based on the evaluation of sensor signals). In this case, the remaining risk due to failures in such control equipment shall be investigated in detail. Guidance for safety critical components can be found in IEC 61508. Alternatively, the hazard may be communicated to the fuel cell system integrator, or
- d) provide appropriate safety markings, concerning the remaining risks of hazards.

Using the techniques described above, special care shall be taken to address the following:

- mechanical hazards – sharp surfaces, tripping hazards, moving masses and instability, strength of materials, and liquids or gases under pressure;
- electrical hazards – contact of persons with live parts, short circuits, high voltage;
- EMC hazards – malfunctions of the fuel cell module when exposed to electromagnetic phenomena or malfunctions of other (nearby) equipment due to electromagnetic emissions from the fuel cell module;

- dangers thermiques – surfaces chaudes, dégagement de liquides ou de gaz de température élevée, fatigue thermique;
- dangers de feu et d'explosion – gaz ou liquides inflammables, possibilité de mélanges explosifs dans les conditions normales et anormales de fonctionnement, possibilité de mélanges explosifs en conditions de défaut;
- dangers de dysfonctionnement – fonctionnement non sûr dû à des défaillances des logiciels, des composants des circuits de contrôle ou des composants de protection/de sécurité ou fabrication incorrecte ou mauvais fonctionnement;
- dangers liés aux matériaux et aux substances – détérioration de matériaux, corrosion, fragilisation, dégagements toxiques;
- dangers liés à l'élimination des déchets – élimination des matériaux toxiques, recyclage, élimination des liquides ou des gaz inflammables;
- dangers liés à l'environnement – fonctionnement dans de mauvaises conditions de sécurité dans des environnements chauds/froids, avec de la pluie, des inondations, du vent, des séismes, des feux extérieurs, de la fumée.

4.2 Exigences de conception

Le module à piles à combustible doit être conçu conformément à l'évaluation de risques réalisée par le fabricant du module de piles à combustible. Des lignes directrices peuvent être trouvées dans la CEI 60812, la CEI 61025 et la CEI 61508-1.

Toutes les pièces doivent être

- a) adaptées à la plage de températures, de pressions, de débits, de tensions et de courants à laquelle elles sont soumises lorsqu'elles sont utilisées selon l'usage prévu, et
- b) à l'épreuve des réactions, processus et autres conditions auxquels elles sont exposées lorsqu'elles sont utilisées selon l'usage prévu.

Si le fabricant de modules à piles à combustible fournit une enveloppe avec un module à piles à combustible, cette enveloppe doit être adaptée à sa destination conformément à la CEI 60529.

4.2.1 Comportement dans des conditions normales et anormales de fonctionnement

Le module à piles à combustible doit être fabriqué de manière à résister à toutes les conditions normales de fonctionnement définies dans les spécifications du fabricant sans subir de dommages. En cas de conditions anormales de fonctionnement prévisibles, le module à piles à combustible doit être évalué selon 4.1.

4.2.2 Fuite

En fonction de la conception, il peut se produire des fuites de gaz combustibles. Le débit de fuite du gaz doit être inclus dans le document de spécification de manière à ce que l'intégrateur du système à piles à combustible puisse déterminer la capacité minimale du système de ventilation nécessaire (voir 5.1).

Lorsqu'une perméation entre l'anode et la cathode donne lieu à une condition dangereuse, elle doit être surveillée de manière continue par un dispositif de surveillance de la tension des piles ou des moyens équivalents pour mettre le module en état présentant toutes les conditions de sécurité.

NOTE Pour la classification des zones dangereuses, se reporter à la CEI 60079-10.

4.2.3 Fonctionnement sous pression

Si le module à piles à combustible est équipé d'enveloppes étanches aux gaz ou sous pression, ces enveloppes doivent être conformes aux réglementations nationales et internationales.

- thermal hazards – hot surfaces, release of high temperature liquids or gases, thermal fatigue;
- fire and explosion hazards – flammable gases or liquids, potential for explosive mixtures during normal or abnormal operating conditions, potential for explosive mixtures during faulted conditions;
- malfunction hazards – unsafe operation due to failures of software, control circuit or protective/safety components or incorrect manufacturing or mis-operation;
- material and substance hazards – material deterioration, corrosion, embrittlement, toxic releases;
- waste disposal hazards – disposal of toxic materials, recycling, disposal of flammable liquids or gases;
- environmental hazards – unsafe operation in hot/cold environments, rain, flooding, wind, earthquake, external fire, smoke.

4.2 Design requirements

The fuel cell module shall be designed in accordance with a risk assessment performed by the fuel cell module manufacturer. Guidance can be found in IEC 60812, IEC 61025, and IEC 61508-1.

All parts shall be

- a) suitable for the range of temperatures, pressures, flow rates, voltages, and currents to which subjected during intended usage, and
- b) resistant to the reactions, processes and other conditions to which exposed during intended usage.

If the fuel cell module manufacturer provides an enclosure as part of the fuel cell module, that enclosure shall be fit for its purpose in accordance with IEC 60529.

4.2.1 Behaviour at normal and abnormal operating conditions

The fuel cell module shall be manufactured in such a way that it withstands all normal operating conditions as defined by the manufacturer's specification without any damage. In case of foreseeable abnormal operating conditions, the fuel cell module shall be addressed using 4.1.

4.2.2 Leakage

Depending on the design, leakage of combustible gases may occur. The gas leakage rate shall be included in the specification document, so that the integrator of the fuel cell system can determine the minimum capacity of the required ventilation system (see 5.1).

Where a crossover between the anode and the cathode results in a hazardous condition, it shall be monitored continuously by a cell voltage monitoring device or equivalent means which transfers the fuel cell module into a safe state.

NOTE For classification of hazardous areas, consider IEC 60079-10.

4.2.3 Pressurized operation

If fuel cell module include gastight and pressurized enclosures, these enclosures shall comply with international and national regulations.

4.2.3.1 Modules à piles à combustible PEM

La pression n'est pas un facteur important pour la conception des piles à combustible de type PEM (Proton Exchange Membrane). Les dimensions, le choix des matériaux et des règles de fabrication d'une pile à combustible PEM sont essentiellement fondés sur les exigences de résistance, de rigidité et de stabilité suffisantes pour satisfaire aux caractéristiques statiques, dynamiques et/ou autres caractéristiques opérationnelles. Par exemple, un modèle utilisant un matériel à compression de force coaxiale fuit avant de se briser.

4.2.3.2 Modules à piles à combustible PAFC

Les modules de type PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) fonctionnent généralement à la pression atmosphérique.

4.2.3.3 Modules à piles à combustible MCFC

Pour un fonctionnement sous pression d'un MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell), le module MCFC doit être intégré dans un système MCFC. Ce système MCFC abrite le module MCFC et doit être conçu conformément aux codes nationaux et internationaux ainsi qu'aux normes applicables concernant les systèmes sous pression. Un danger dû à la pression associée à un module MCFC peut être exclu en raison de la présence d'une enveloppe conforme aux réglementations mentionnées.

4.2.3.4 Modules à piles à combustible SOFC

Pour un fonctionnement sous pression d'un SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), le module SOFC sera intégré dans un système SOFC. Pour cette application, le module SOFC doit être enfermé à l'intérieur d'un réservoir sous pression conçu, fabriqué et équipé conformément aux codes nationaux et internationaux ainsi qu'aux normes applicables concernant les systèmes sous pression. Les conditions de fonctionnement qui pourraient générer des conditions dangereuses à l'extérieur du module doivent être identifiées et ces informations doivent être transmises à l'intégrateur de systèmes.

4.2.4 Feu et inflammation

Le module à piles à combustible doit être protégé par des moyens (par exemple ventilation, détecteurs de gaz, oxydation contrôlée, températures de fonctionnement supérieures à la température d'auto-inflammation, etc.) tels que les gaz fuyant à l'intérieur du module de piles à combustible ou s'en échappant ne puissent pas former de concentrations explosives. Les critères de conception de ces moyens (par exemple débit de ventilation nécessaire) doivent être fournis par le fabricant du module à piles à combustible. Les moyens doivent être fournis soit par le fabricant du module à piles à combustible soit par le fabricant du système de piles à combustible.

Les composants et les matériaux se trouvant en atmosphères explosives gazeuses classées doivent être construits ou doivent utiliser des matériaux tels que la propagation du feu et de l'inflammation soit limitée. L'inflammabilité des matériaux doit être telle qu'un feu soutenu ne perdure pas après coupure du courant électrique et de l'alimentation en combustible et en oxydant. Cela peut être démontré en choisissant des matériaux FV 0, FV 1 ou FV 2 conformes à la CEI 60695.

4.2.4.1 Exceptions

Les membranes ou d'autres matériaux à l'intérieur du volume de la pile à combustible qui représentent moins de 10 % de la masse totale de la pile à combustible sont considérés comme une quantité limitée et sont admissibles sans tenir compte de leurs caractéristiques de propagation de la flamme.

4.2.3.1 PEM fuel cell modules

Pressure is not a significant design factor for the design of a PEM (Proton Exchange Membrane) fuel cell stack. The dimensioning, choice of material and manufacturing rules of a PEM fuel cell stack are based primarily on requirements for sufficient strength, rigidity and stability to meet the static, dynamic, and/or other operational characteristics. For example, a design using coaxial force compression hardware leaks before it breaks.

4.2.3.2 PAFC fuel cell modules

The PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) module usually is operated under atmospheric pressure.

4.2.3.3 MCFC fuel cell modules

For a pressurized operation of an MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell), the MCFC module shall be integrated into an MCFC system. This MCFC system provides the housing of the MCFC module and shall be designed according to the applicable national and international codes and standards for pressurized systems. A hazard due to pressure associated with an MCFC module can be excluded due to the housing, which is in accordance with the regulations mentioned.

4.2.3.4 SOFC fuel cell modules

For the pressurized operation of an SOFC (Solid Oxide Fuel Cell), the SOFC module will be integrated into the SOFC power system. For that application, the SOFC module shall be enclosed within a pressure vessel designed, manufactured and equipped according to applicable national and international codes and standards for pressurized systems. Operational conditions that could generate hazardous conditions outside of the module shall be identified and the information conveyed to the system integrator.

4.2.4 Fire and ignition

The fuel cell module shall be protected by means (for example, ventilation, gas detectors, controlled oxidation, operating temperatures higher than the auto-ignition temperature, etc.) such that leaking gases from or inside the fuel cell module cannot form explosive concentrations. The design criteria for such means (for example required ventilation rate) shall be provided by the fuel cell module manufacturer. The means shall be provided either by the fuel cell module manufacturer or by the fuel cell system manufacturer.

Components and materials inside the classified gas explosive atmospheres shall be constructed or shall make use of such materials that propagation of fire and ignition is mitigated. The material flammability shall be such that a sustained fire will not be supported after electrical power and the fuel and oxidant supply have been terminated. This may be demonstrated through the selection of materials meeting FV 0, FV 1 or FV 2 in accordance with IEC 60695.

4.2.4.1 Exemptions

Membranes, or other materials within the fuel cell stack volume which comprise less than 10 % of the total fuel cell stack mass, are considered to be of limited quantity and are permissible without flame spread ratings.

Si la température réelle à un emplacement quelconque du module à piles à combustible, où un mélange inflammable peut apparaître, est supérieure à la température d'auto-inflammation, la fuite du gaz combustible dans l'oxydant ou vice versa entraîne une oxydation immédiate du gaz inflammable. Ainsi, il est évident qu'il ne peut pas y avoir d'accumulation de concentrations importantes de gaz explosifs.

Lorsque la température de telles piles à combustible à température élevée est inférieure à la température d'auto-inflammation, le module à piles à combustible peut être mis dans un état sûr (par exemple en purgeant).

4.2.5 Sauvegarde

Les modules à piles à combustible conçus selon les points a) et b) de 4.1 peuvent fonctionner sans sauvegardes externes.

Les modules à piles à combustible contrôlés de manière active doivent être soit protégés par un système de sécurité intégré du module soit être conçus pour être correctement supervisés par les systèmes de contrôle et de sécurité fournis par l'intégrateur de systèmes. La conception du circuit de contrôle de sécurité doit être telle que la défaillance électrique d'une pièce individuelle de fonctionnement entraîne ce qui suit

- a) le composant interrompt la fonction prévue qui est sous son contrôle, ou
- b) le composant permettra à un cycle de fonctionnement de se terminer mais il ne lancera pas le cycle suivant ou il le verrouillera.

4.2.6 Tuyauteries et accessoires

Les dimensions des tuyauteries doivent être conformes aux exigences techniques et les matériaux doivent être compatibles avec les paramètres prévus pour les fluides et les processus.

Les connections filetées ne doivent être autorisées que dans les cas où une fuite ne crée pas de danger, par exemple pour l'alimentation en air ou les circuits de refroidissement. Tous les autres jonctions doivent être soudés ou doivent au moins posséder des raccords avec une zone de scellement telle que spécifiée par le fabricant. Les raccords union, lorsqu'ils sont utilisés dans les conduites de gaz combustible ou d'oxygène, doivent être du type à joint rodé ou à assemblage par brides ou encore du type à compression avec des garnitures qui résistent à l'action des gaz combustibles.

Les surfaces internes des tuyauteries doivent être entièrement nettoyées pour éliminer les particules libres, et les extrémités des tuyaux doivent être soigneusement alésées pour enlever les éléments de nature à boucher et les bavures.

Les tuyaux flexibles et les accessoires associés, lorsqu'ils sont utilisés pour transporter le gaz, doivent être conformes aux normes suivantes: ISO 1307, ISO 37, ISO 188, ISO 4672, ISO 1402, ISO 1436-1. Une attention particulière doit être apportée aux tuyauteries contenant de l'hydrogène.

NOTE Des normes sont en préparation, par exemple l'ISO 15916.

4.2.6.1 Tuyauteries non métalliques

Les tuyaux, les tubes et les composants polymères et élastomères doivent être autorisés dans les conditions suivantes.

If the actual temperature in any location of the fuel cell module, where a flammable mixture may occur, is higher than the auto-ignition temperature, leakage of fuel gas into the oxidant or vice versa results in immediate oxidation of the flammable gas. Thus, it is obvious that no major concentrations of explosive gases can accumulate.

Whenever this temperature of such high-temperature fuel cells is lower than the auto-ignition temperature, the fuel cell module shall be transferred into a safe state (for example, by purging).

4.2.5 Safeguarding

Fuel cell modules designed according to items a) and b) of 4.1 are allowed to be operated without external safeguards.

Actively controlled fuel cell modules shall either be protected by an integrated safety system of the fuel cell module, or designed to be properly supervised by the control and safety devices provided by the system integrator. The design of a safety control circuit shall be such that electrical failure of an individual functional part will cause either

- a) the component to interrupt the intended function under its control, or
- b) the component will allow an operational cycle to complete, but will fail to start or will lock out on the subsequent cycle.

4.2.6 Piping and fittings

The piping shall comply dimensionally with the technical requirements, and the materials shall be compatible with the intended fluids and process parameters.

Threaded portions shall only be allowed in cases where a leakage does not create a hazard, for example, air supply, cooling circuits. All other joints shall be welded, or at least have fitting connections with a defined sealing area as specified by the manufacturer. Unions, when used in fuel gas or oxygen lines, shall be of the ground-joint type or the flanged-joint type or the compression-joint type having packing resistant to the action of fuel gases.

The internal surfaces of piping shall be thoroughly cleaned to remove loose particles, and the ends of piping shall be carefully reamed to remove obstructions and burrs.

Flexible piping and associated fittings, when used for conveying gas, shall comply with the following standards: ISO 1307, ISO 37, ISO 188, ISO 4672, ISO 1402, ISO 1436-1. Special consideration shall be applied for hydrogen pipes.

NOTE Standards are under preparation, for example, ISO 15916.

4.2.6.1 Non-metallic piping systems

Polymeric and elastomeric piping, tubing and components shall be permitted under the following conditions.

Il doit être démontré que les matériaux sont adaptés aux températures et pressions maximales de fonctionnement combinées et qu'ils sont compatibles avec les autres matériaux et produits chimiques avec lesquels ils entreront en contact en service ou au cours de la maintenance. Il doit être démontré qu'ils présentent une résistance mécanique appropriée d'après 5.3 et 5.4.

Les composants plastiques et élastomères doivent être protégés contre les dommages mécaniques à l'intérieur du module à piles à combustible. Le blindage peut être utilisé, comme cela est approprié pour protéger les composants contre les défaillances des équipements rotatifs ou d'autres dispositifs mécaniques se trouvant à l'intérieur de l'unité.

Tous les compartiments contenant des composants plastiques ou élastomères utilisés pour transporter des gaz inflammables doivent être protégés contre les échauffements éventuels. Un système de contrôle doit être prévu pour arrêter le flux de combustible avant que les températures atteignent un point minimal de 10 K inférieur à la température de transition thermique la plus faible des matériaux utilisés dans les composants pour le transport du combustible.

Les matériaux plastiques ou élastomères utilisés dans un emplacement dangereux doivent être électriquement conducteurs ou avoir une conception différente permettant d'éviter la formation de charge statique.

4.2.6.2 Tuyauteries métalliques

Les tuyauteries métalliques doivent être adaptées aux températures et pressions maximales de fonctionnement combinées et être compatibles avec les autres matériaux et produits chimiques avec lesquels ils entreront en contact en service ou au cours de la maintenance. Les circuits de tuyauteries métalliques doivent présenter une intégrité mécanique suffisante. Il doit être démontré qu'ils présentent une résistance mécanique appropriée d'après 5.3 et 5.4.

Les tuyauteries métalliques doivent être conformes à l'exigence de fuite donnée en 5.1.

Les coudes cintrés ne doivent pas faciliter les défaillances causées par le processus de mise en forme et doivent être conformes avec ce qui suit

- les coudes doivent être réalisés uniquement avec un équipement et des procédures de cintrage destinés à cet effet;
- tous les coudes doivent être lisses et exempts de voilement, de fissures ou de tout autre signe de dommage mécanique;
- la soudure longitudinale de la tuyauterie doit se trouver à proximité de l'axe neutre du coude;
- les tuyauteries ne doivent pas être cintrées selon un arc supérieur à 90°;
- le rayon intérieur d'un coude ne doit pas être inférieur au rayon minimal spécifié par le fabricant de tuyauterie.

4.2.7 Composants électriques

La bonne adaptation des composants électriques aux conditions ambiantes doit être communiquée à l'intégrateur de systèmes de piles à combustible. Lorsqu'un module à piles à combustible sous enveloppe qui fonctionne en dessous de la température d'auto-inflammation du gaz combustible n'est pas conforme aux limites de concentration inflammables décrites en 5.11, les composants électriques situés dans l'enveloppe doivent être adaptés à la classification des emplacements définie dans la CEI 60079-10 en utilisant une technique de protection définie dans le cadre de la série CEI 60079.

Materials shall be demonstrated to be suitable for the combined maximum operating temperatures and pressures and compatibility with other materials and chemicals they will come in contact within service and during maintenance. Adequate mechanical strength shall be demonstrated through 5.3 and 5.4.

Plastic or elastomeric components shall be protected from mechanical damage within the fuel cell module. Shielding may be used as appropriate to protect components against failure of rotating equipment or other mechanical devices housed within the unit.

Any compartment enclosing plastic or elastomeric components used to convey flammable gases shall be protected against the possibility of overheating. A control system shall be provided to terminate fuel flow before temperatures reach a point minimum of 10 K below the lowest heat deflection temperature of the materials used in the fuel conveying components.

Plastic or elastomeric materials used in a hazardous location shall be electrically conductive or otherwise designed to avoid static charge build-up.

4.2.6.2 Metallic piping systems

Metallic piping systems shall be suitable for the combined maximum operating temperatures and pressures and shall be compatible with other materials and chemicals they will come in contact within service and during maintenance. Metallic piping systems shall be of sufficient mechanical integrity. Adequate mechanical strength shall be demonstrated through 5.3 and 5.4.

Metallic piping systems shall be compliant with the leakage requirement according to 5.1.

Formed piping bends shall not promote failure caused by the forming process and shall comply with the following:

- bends shall be made only with bending equipment and procedures intended for that purpose;
- all bends shall be smooth and free from buckling, cracks, or other evidence of mechanical damage;
- the longitudinal weld of the pipe shall be near the neutral axis of the bend;
- pipes shall not be bent through an arc of more than 90°;
- the inside radius of a bend shall be not less than the minimum radius specified by the pipe manufacturer.

4.2.7 Electrical components

The suitability of the electrical components for the ambient conditions shall be communicated to the fuel cell system integrator. Where an enclosed fuel cell module, operating below the auto-ignition temperature of the combustible gas, does not comply with the flammable concentration limits described in 5.11, the electrical components located within the enclosure shall be suitable for the area classification as defined in IEC 60079-10 using a protection technique defined within the IEC 60079 series.

4.2.8 Bornes et connexions électriques

Les connexions électriques aux circuits externes doivent être

- a) fixées sur leurs montages sans possibilité de se détacher d'elles-mêmes;
- b) construites de telle manière que les conducteurs ne puissent pas glisser de l'emplacement qui leur est prévu;
- c) telles qu'un contact correct soit assuré sans dommage pour les conducteurs de nature à les empêcher de remplir leur fonction; et
- d) fixées de manière à être à l'épreuve des rotations, des torsions ou des déformations permanentes au cours du serrage normal sur le conducteur.

Les connexions réalisées directement avec la pile à combustible ne doivent pas être affectées de manière appréciable par les conditions qui apparaissent en service normal. La conformité est évaluée en satisfaisant aux exigences contenues dans la CEI 60352 et la CEI 60512-8 avant et après conditionnement.

Les bornes du module à piles à combustible doivent être conformes à la CEI 60352 et la CEI 60512-8.

4.2.9 Parties sous tension

Le fabricant doit spécifier dans sa documentation technique la présence de parties sous tension, en particulier s'il existe un danger dû à la tension résiduelle après l'arrêt du système. L'intégrateur de systèmes à piles à combustible doit être responsable de la protection contre les chocs électriques. On doit tenir compte de la protection des parties sous tension sur la pile à combustible contre tout court-circuit accidentel.

4.2.10 Matériaux isolants, rigidité diélectrique

La conception de l'ensemble des diélectriques du module à piles à combustible, appliqués entre les parties sous tension et les parties métalliques non conductrices, doit être conforme aux normes CEI applicables aux appareils électriques de la classe de tension appropriée.

Les caractéristiques mécaniques des matériaux qui affectent le comportement fonctionnel, par exemple la résistance à la compression, doivent être conformes aux critères de conception à une température jusqu'au moins 20 K ou 5 % (en prenant la valeur la plus élevée) au-dessus de la température maximale observée dans les conditions normales de fonctionnement, mais sans être inférieure à 80 °C.

La vérification doit être fondée sur les propriétés et les caractéristiques du matériau tels que définies par le fabricant du matériau.

4.2.11 Liaison équipotentielle

Les parties métalliques non conductrices doivent présenter une liaison équipotentielle en un point commun.

Pour assurer un bon contact électrique, ces connexions doivent être protégées contre la corrosion. Elles doivent être également conçues de manière à ce que les conducteurs soient protégés contre le desserrage et le torsadage et que la pression de contact soit maintenue.

Il ne doit pas y avoir de corrosion électrochimique entre les parties métalliques qui forment une liaison équipotentielle dans les conditions attendues d'utilisation, de stockage et de transport. La résistance contre la corrosion électrochimique peut être obtenue par un placage ou des processus de revêtement appropriés.

4.2.8 Terminals and electrical connections

Power connections to external circuitry shall be

- a) fixed to their mountings with no possibility of self-loosing;
- b) constructed in such a way that the conductors cannot slip out from their intended location;
- c) such that proper contact is assured without damage to the conductors that would impair the ability of the conductors to fulfil their function; and
- d) so secured against turning, twisting or permanently deforming during normal tightening onto the conductor.

Connections made directly to the fuel cell shall not be appreciably impaired by conditions occurring in normal service. Compliance is judged by meeting the requirements contained in (IEC 60352 and IEC 60512-8) before and after conditioning.

Terminals of the fuel cell module shall comply with IEC 60352 and IEC 60512-8.

4.2.9 Live parts

The manufacturer shall specify in his technical documentation the presence of live parts, especially if there is a hazard due to residual voltage after the system is shut down. The fuel cell system integrator shall be responsible for the protection against electric shock. Protecting live parts on the stack against accidental shorting shall be considered.

4.2.10 Insulating materials, dielectric strength

The design of all dielectrics of the fuel cell module, applied between live parts and non-current-carrying metal parts, shall be in accordance with applicable IEC standards for electrical equipment of appropriate voltage class.

The mechanical characteristics of the materials that affect the functional behaviour, for example compressive strength, shall comply with the design criteria at a temperature up to at least 20 K or 5 % (whichever is higher) above the maximum temperature observed under normal operation, but not less than 80 °C.

Verification shall be based on the properties and characteristics of the material as defined by the manufacturer of the material.

4.2.11 Bonding

Non-current-carrying metal parts shall be bonded to a common point.

To ensure good electrical contact, these connections shall be protected against corrosion. They shall also be designed so that the conductors are secured against loosening and twisting and that contact pressure is maintained.

There shall be no electrochemical corrosion between metallic parts, which form a bonding under the expected conditions of use, storage, and transportation. Resistance against electrochemical corrosion may be achieved through appropriate plating or coating processes.

4.2.12 Chocs et vibrations

Les caractéristiques de chocs et de vibrations pour l'application prévue ne doivent pas causer de danger. Les valeurs admissibles sont données par le fabricant du module à piles à combustible dans la documentation.

4.2.13 Moyens de surveillance

Lorsque cela est nécessaire, pour assurer que le module à piles à combustible n'entre pas dans une situation ne présentant pas toutes les conditions de sécurité, des moyens de surveillance des paramètres suivants doivent être prévus:

- a) température de la pile à combustible, et
- b) tension de la pile à combustible et/ou de la cellule élémentaire à combustible,

aux emplacements spécifiés par le fabricant du module à piles à combustible.

Le système de surveillance est destiné à verrouiller et à activer un système d'arrêt et d'avertissement de défaillance de la pile à combustible (voir aussi 4.2.5).

NOTE Lorsque le fonctionnement en toute sécurité du module à piles à combustible peut être également assuré par d'autres moyens, de tels moyens doivent procurer un niveau de sécurité équivalent à la surveillance de la température et de la tension.

5 Essais de type

Les essais de type doivent être réalisés dans une installation d'essai qui simule le système de piles à combustible escompté ou le système de piles à combustible lui-même de manière à obtenir les conditions de fonctionnement représentatives. En particulier, l'installation d'essai pour la réalisation des essais de type de fonctionnement normal peut être l'installation de conditionnement utilisée pour le démarrage initial du module à piles à combustible. Il est recommandé de réaliser les essais de type dans l'ordre décrit ci-dessous. L'essai des conditions anormales peut être destructif.

5.1 Essai de fuite de gaz

Cet essai n'est pas applicable pour les modules à piles à combustible

- dont les températures de fonctionnement sont supérieures à la température d'auto-inflammation du gaz combustible (voir 4.2.4), ou
- dont les piles à combustible se trouvent à l'intérieur d'un réservoir étanche au gaz approuvé selon les réglementations nationales en vigueur.

Lorsqu'il est impossible en pratique d'utiliser la pile à combustible complète, une pile à combustible avec un nombre réduit, mais néanmoins représentatif, de cellules élémentaires à combustible peut être utilisé. La fuite doit être calculée à partir du rapport des nombres de cellules.

Le module à piles à combustible doit fonctionner jusqu'à ce qu'il atteigne les conditions d'équilibre thermique à la température maximale de fonctionnement avec le courant de pleine charge.

Dès que ces conditions sont atteintes, le fonctionnement est interrompu, le module à piles à combustible peut être purgé et les sorties de gaz fermées; la température du module à piles à combustible doit être réduite pour atteindre la température de fonctionnement spécifiée la plus faible ou une température inférieure. Le module à piles à combustible doit ensuite être placé sous pression avec la quantité nominale de gaz d'anode ou d'hélium pour atteindre progressivement la pression maximale de fonctionnement et y être maintenu pendant 1 min.

4.2.12 Shock and vibration

Shock and vibration characteristics for the intended application shall not cause any hazard. Permissible values are given by the fuel cell module manufacturer in the documentation.

4.2.13 Means for monitoring

Where required, to ensure that the fuel cell module is not entering an unsafe situation, means for monitoring the following parameters shall be provided:

- a) stack temperature, and
- b) stack and/or cell voltage,

at locations specified by the fuel cell module manufacturer.

The monitoring system is intended for interlocking with and activating of a fuel cell failure warning and shutdown system (see also 4.2.5).

NOTE In case that the safe operation of the fuel cell module can be also provided by other means, such means have to provide an equivalent safety level as temperature and voltage monitoring.

5 Type tests

The type tests shall be performed in a test facility simulating the anticipated fuel cell system or the fuel cell system itself, in order to obtain the required operating conditions. In particular, the test facility for performing the type tests of normal operation can be the conditioning facility used for the initial start-up of the fuel cell module. It is recommended that the type tests be performed in the order described below. The test of abnormal conditions may be destructive.

5.1 Gas leakage test

This test is not applicable for fuel cell module with

- operating temperatures higher than the auto-ignition temperature of the combustible gas (see 4.2.4), or
- fuel cells within a gastight vessel already proven according to the relevant national regulations.

Where it is impractical to use the full stack, a stack with a reduced, but still representative, number of cells can be used. Leakage shall be calculated based on the ratio of cell numbers.

The fuel cell module shall be operated until it attains thermal equilibrium conditions at the maximum operating temperature under full load current.

Once these conditions have been achieved, operation is ceased, the fuel cell module may be purged and the gas outlets closed; the fuel cell module temperature shall be reduced to the lowest specified operating temperature or below. The fuel cell module shall then be pressurized either with the nominal anode gas or helium gradually to the maximum operating pressure and held steady for 1 min. The inlet pressure shall remain stable and unchanged

La pression d'entrée doit rester stable et inchangée pendant le temps que dure la mesure de la fuite. Le débit de la fuite du gaz doit être mesuré en utilisant un débitmètre situé à l'entrée du module à piles à combustible, en amont du limiteur de pression, qui soit capable de mesurer le débit de fuite avec une précision de 2 %. Si de l'hélium est utilisé comme gaz d'essai, le débit de la fuite de gaz doit être corrigé comme suit

$$R = \text{débit de fuite du gaz combustible} / \text{débit de fuite du gaz d'essai} \quad (1)$$

$$\text{où} \quad R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (2)$$

où

$FGSG$ est le poids spécifique du gaz combustible;

$TGSG$ est le poids spécifique du gaz d'essai;

$$\text{ou} \quad R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}} \quad (3)$$

où

μ_{test} est la viscosité absolue du gaz d'essai;

μ_{fuel} est la viscosité absolue du gaz combustible.

Ces deux formules doivent être utilisées pour calculer R , et le scénario du cas le plus défavorable, c'est-à-dire la valeur la plus élevée, doit être consigné.

Le débit de la fuite de gaz, y compris le débit du flux de gaz traversant le limiteur de pression doit être enregistré.

Si le limiteur de pression n'est pas inclus dans l'essai en raison, par exemple, de l'hystérésis ou du réglage de pression, alors la fuite totale doit être la somme de la fuite du limiteur de pression seul à la pression maximale d'alimentation en combustible et de celle de cet essai.

Le débit de fuite de gaz, corrigé d'après les conditions de référence et le type de gaz, multiplié par 1,5 doit être conforme au débit de fuite de gaz inclus dans la documentation (voir 7.4).

NOTE Il est prévu que cette information peut devoir être fournie à l'utilisateur du produit final pour mesurer les besoins en ventilation.

5.2 Fonctionnement normal

On entend par fonctionnement normal le fonctionnement du module à piles à combustible dans des conditions normales, en particulier

- puissance électrique nominale (assignée) en fonction de la tension et de l'intensité;
- puissance thermique nominale en fonction de la température et du flux d'agents de refroidissement (si applicable);
- plage de températures nominale du module à piles à combustible;
- composition nominale du combustible;
- flux nominaux des agents d'anode et de cathode;
- plages de pression nominale des fluides d'anode et de cathode;
- rythme de variation de la puissance électrique dans les plages nominales définies dans la spécification du fabricant.

Pour l'essai de type de fonctionnement normal, le module à piles à combustible doit être mis en fonctionnement dans les conditions normales définies ci-dessus jusqu'à ce que les conditions d'équilibre soient atteintes.

during the time the leakage is measured. The gas leakage rate shall be measured using a flow meter located at the inlet of the fuel cell module, upstream of a pressure relief device and capable of measuring the leakage rate with an accuracy of 2 %. If helium is used as test gas, the gas leakage rate shall be corrected according to

$$R = \text{fuel gas leakage rate} / \text{test gas leakage rate} \quad (1)$$

where
$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (2)$$

where

FGSG is the fuel gas specific gravity;

TGSG is the test gas specific gravity

or
$$R = \mu_{\text{test}} / \mu_{\text{fuel}} \quad (3)$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

These two formulas shall be used to calculate *R* and the worst case scenario, i.e. the higher value, shall be reported.

The rate of gas leakage, including the flow rate of gas through the pressure relief valve, shall be recorded.

If the pressure relief device is not included in the test, because of, for example, hysteresis or pressure setting, then the total leakage shall be the sum of the leakage of the pressure relief device alone at maximum fuel supply pressure and that obtained from this test.

The gas leakage rate, corrected to reference conditions and gas type, multiplied by 1,5 shall comply with the gas leakage rate included in the documentation (see 7.4).

NOTE It is anticipated that this information may need to be provided to the end-product user for the purpose of calculating the ventilation needs.

5.2 Normal operation

Normal operation is the operation of the fuel cell module under normal conditions, in particular

- nominal (rated) power output with respect to voltage and current;
- nominal thermal energy output with respect to temperature and cooling media flow (if applicable);
- nominal temperature range of the fuel cell module;
- nominal fuel composition;
- nominal flows of anode and cathode media;
- nominal pressure ranges of anode and cathode fluids;
- rate of change of power output within the nominal ranges defined in the manufacturer's specification.

For the normal operation type test the fuel cell module shall be operated under the normal conditions defined above until thermal equilibrium conditions are achieved.

Les paramètres suivants doivent être mesurés et les résultats doivent être enregistrés et doivent satisfaire aux exigences suivantes.

- a) Tension aux bornes du module à piles à combustible à la valeur du courant pleine charge: la tension avec le courant pleine charge ne doit pas être inférieure à la tension avec le courant de pleine charge spécifié en 7.4.
- b) Températures (de la pile à combustible, de la surface du module à piles à combustible, température ambiante): les températures mesurées doivent être conformes aux valeurs respectives incluses en 7.4.
- c) Pression du combustible (manométrique) dans les limites de $-5\%/+5\%$ ou ± 10 mbar, en prenant la valeur la plus élevée.
- d) Vitesse de consommation du combustible dans les limites de $-5\%/+5\%$: la vitesse mesurée doit être conforme à la valeur respective incluse en 7.4.
- e) Vitesse de consommation de l'oxydant: cette vitesse doit être mesurée avec une tolérance de $-5\%/+5\%$ et elle doit être conforme à la valeur respective incluse en 7.4.
- f) Pression de l'oxydant: cette valeur doit être mesurée avec une tolérance de $-5\%/+5\%$ ou ± 10 mbar, en prenant la valeur la plus élevée, et doit être conforme à la valeur respective incluse en 7.4.
- g) Température d'entrée et de sortie d'agent de refroidissement (si applicable): les températures mesurées doivent être conformes à la valeur respective incluse en 7.4.
- h) Vitesse du flux de l'agent de refroidissement (si applicable): la vitesse mesurée doit être conforme à la valeur respective incluse en 7.4.
- i) Pression d'entrée et de sortie d'agent de refroidissement (si applicable): les vitesses mesurées doivent être conformes aux valeurs respectives incluses en 7.4.

5.3 Essai de pression de service admissible

Le module à piles à combustible doit être à la température maximale ou minimale de fonctionnement, en prenant celle qui est la plus sévère.

Au cours de cet essai, les côtés combustible et air du module à pile à combustible peuvent être interconnectés s'ils ont la même pression interne dans les conditions normales de fonctionnement. Si le module à piles à combustible comprend un système de refroidissement, ce système peut être soumis à des essais de surpression simultanément et de la même manière.

Le module à piles à combustible (à la fois côtés anode et cathode) doit être mis sous pression de manière progressive et doit être maintenu sous pression pendant une période comprise entre au moins 1 min et une valeur qui ne soit pas inférieure à 1,3 fois leur pression de service admissible.

Si le module à piles à combustible est équipé d'un limiteur de pression, celui-ci peut être retiré ou mis hors fonction.

Cet essai peut être réalisé aussi bien pendant l'essai de fuite de gaz que pendant l'essai de fonctionnement normal, du moment que les paramètres d'essai peuvent être obtenus.

Si les conditions d'essai ne peuvent pas être obtenues, le module à piles à combustible peut être soumis à l'essai à température ambiante à une pression qui n'est pas inférieure à 1,5 fois la pression de service admissible.

Le module à piles à combustible ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique.

Measurements of the following parameters shall be taken and the results shall be recorded and shall comply with the following requirements.

- a) Voltage at the terminals of the fuel cell module at full load current: the voltage at full load current shall be not less than the voltage at full load current specified in 7.4.
- b) Temperatures (fuel cell stack, fuel cell module surface, ambient): the measured temperatures shall comply with respective values included in 7.4.
- c) Fuel pressure (gauge) within $-5\%/+5\%$ or ± 10 mbar whichever is the higher.
- d) Fuel consumption rate within $-5\%/+5\%$: the measured rate shall comply with the respective value included in 7.4.
- e) Oxidant consumption rate: the rate shall be measured with a tolerance of $-5\%/+5\%$ and shall comply with the respective value included in 7.4.
- f) Oxidant pressure: the value shall be measured with a tolerance of $-5\%/+5\%$ or ± 10 mbar whichever is the higher and shall comply with the respective value included in 7.4.
- g) Coolant inlet and outlet temperature (if applicable): the measured temperatures shall comply with the respective value included in 7.4.
- h) Coolant flow rate (if applicable): the measured rate shall comply with the respective value included in 7.4.
- i) Coolant inlet and outlet pressure (if applicable): the measured values shall comply with the respective values included in 7.4.

5.3 Allowable working pressure test

The fuel cell module shall be at the maximum or minimum operating temperature whichever is more severe.

During this test, the fuel and air sides of the fuel cell module may be interconnected if they are of the same internal pressure under normal operation. If the fuel cell module comprises a cooling system, this system may be over-pressure tested simultaneously and in the same way.

The fuel cell module (both anode and cathode channels) shall be pressurized gradually and held steady for a period of not less than 1 min to no less than 1,3 times their allowable working pressure.

If the fuel cell module comprises a pressure relief valve, it may be removed or made inoperable.

This test may be conducted during the gas leakage test or the normal operating test, provided that the test parameters could be achieved.

If the test conditions can not be achieved, the fuel cell module may be tested at ambient temperature at not less than 1,5 times the allowable working pressure.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the fuel cell module.

5.4 Essai de résistance à la pression du système de refroidissement

Cet essai doit être réalisé si le système de refroidissement n'est pas soumis à essai pendant l'essai de pression de service admissible.

Le module à pile à combustible doit être à la même température que pendant l'essai de pression de service admissible.

Le système de refroidissement du module à piles à combustible doit être mis sous une pression égale à 1,3 fois la pression de service admissible du système de refroidissement puis celle-ci doit être maintenue pendant au moins 10 min.

Si les conditions d'essai ne peuvent pas être atteintes, le système de refroidissement peut être soumis aux essais à température ambiante à 1,5 fois la pression de service admissible du système de refroidissement.

Il ne doit y avoir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique du système. Si le système utilise un agent de refroidissement liquide, il ne doit pas se produire de fuite de l'agent de refroidissement au cours de cet essai.

5.5 Essai de surcharge électrique

Le module à piles à combustible doit être capable de résister à une surcharge électrique. Lorsqu'un fabricant spécifie un courant supérieur au courant assigné pendant une période donnée, le module à piles à combustible doit être stabilisé à la valeur de courant assigné, puis le courant doit être augmenté pour atteindre la valeur définie et il doit être maintenu pendant la durée spécifiée, les deux étant spécifiées par le fabricant.

Il ne doit y avoir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique du système.

5.6 Essai de surpression

Lorsque le module à piles à combustible possède un limiteur de pression, la pression doit être augmentée progressivement pour atteindre une valeur qui dépasse la pression de seuil du limiteur de pression. Si cela est nécessaire, le régulateur de la pression d'entrée du module à piles à combustible doit être désactivé ou shunté pour réaliser cet essai. Le mécanisme de sécurité doit déclencher une réduction de la pression ou placer le module à piles à combustible en état de fonctionnement sûr.

Dans le cas d'un modèle qui «fuit avant de se rompre», cet essai peut être destructif et peut être réalisé en 5.12. Les données de cet essai peuvent être fournies à l'intégrateur de systèmes. Tous les dangers qui en résultent doivent être indiqués à l'intégrateur de systèmes.

5.7 Essai de rigidité diélectrique

Les modules à piles à combustible peuvent être fabriqués selon deux conceptions différentes:

- a) pile à combustible reliée à la masse/à la terre;
- b) pile à combustible flottante.

Pour la conception a), aucun essai de rigidité diélectrique ne peut être appliqué, seule la tension en circuit ouvert apparaît.

5.4 Pressure withstanding test of cooling system

This test shall be performed, if the cooling system is not tested during the allowable working pressure test.

The fuel cell module shall be at the same temperature as in the allowable working pressure test.

The cooling system of the fuel cell module shall be pressurized to 1,3 times the allowable working pressure of the cooling system, and then maintained for a period of not less than 10 min.

If the test conditions can not be achieved, the cooling system may be tested at ambient temperature at 1,5 times the allowable working pressure of the cooling system.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the system. If the system utilizes a liquid coolant, there shall be no leakage of coolant during this test.

5.5 Electrical overload test

The fuel cell module shall be capable of withstanding an electrical overload. Where a manufacturer specifies a current higher than the rated current for a certain period, the fuel cell module shall be stabilized at rated current, then the current shall be increased to the defined value and held constant for the defined time, both specified by the manufacturer.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the system.

5.6 Overpressure test

Where the fuel cell module has a pressure-limiting device, the pressure has to be increased step by step to a value that exceeds the threshold pressure of the pressure limiting device. If necessary, the fuel cell module inlet pressure regulator shall be disabled or bypassed for this test. The safety mechanism shall trigger a reduction in the pressure or transfer the fuel cell module into a safe operational state.

In case of a leak before break design, this test may be destructive and may be performed under 5.12. The data of this test shall be provided to the systems integrator. All consequential hazards shall be reported to the systems integrator.

5.7 Dielectric strength test

Fuel cell module may be manufactured according to two different designs:

- a) stack connected to ground/earth;
- b) stack floating.

For design a) no dielectric withstand test can be applied, only the open-circuit voltage appears.

Pour la conception b), l'essai de rigidité diélectrique doit être appliqué à la température de fonctionnement et avec l'agent de refroidissement appliqué. Dans le cas où le module à piles à combustible ne peut pas être maintenu à la température de fonctionnement, l'essai de rigidité diélectrique doit être réalisé à la température maximale admissible, et la température doit être enregistrée.

Si l'essai de rigidité diélectrique est applicable, il doit être réalisé sur le module à piles à combustible complètement assemblé, celui-ci étant déconnecté de l'alimentation en combustible et purgé avec un gaz prévu à cet effet. La tension d'essai doit être appliquée entre les parties sous tension et les parties métalliques non conductrices. L'essai doit être réalisé avec une tension soit en courant continu soit en courant alternatif de forme pratiquement sinusoïdale à une fréquence comprise entre 48 Hz et 62 Hz. La tension doit être augmentée régulièrement jusqu'à la valeur spécifiée dans un temps qui ne soit pas inférieur à 10 s puis elle doit être maintenue pendant au moins 1 min. Les résultats sont acceptables s'il n'y a pas de claquage de l'isolation. Le courant de fuite ne doit pas dépasser 1 mA multiplié par le rapport de la tension d'essai sur la tension en circuit ouvert. Si cette valeur ne peut pas être obtenue, les données de cet essai doivent être fournies à l'intégrateur de systèmes. Tous les dangers qui en résultent doivent être limités par l'intégrateur de systèmes.

Les tensions d'essai doivent être celles mentionnées au Tableau 1.

Tableau 1 – Tensions pour l'essai de rigidité diélectrique
(dérivées de la EN 50178)

Colonne 1 Tension en circuit ouvert	Colonne 2 Tension d'essai, c.a et c.c., pour les circuits d'essai avec isolation principale et circuits avec séparation de protection		Colonne 3 Tension d'essai, c.a et c.c., pour les essais entre circuits et surface accessible (conductrice ou non conductrice mais non connectée à la terre de protection)	
	CA valeur efficace	CC	CA valeur efficace	CC
	kV	kV	kV	kV
$\leq 50 \sqrt{2} \text{ V} = 71 \text{ V}$	0,35	0,5	0,35	0,5
$100 \sqrt{2} \text{ V} = 141 \text{ V}$	0,5	0,7	0,7	1,0
$150 \sqrt{2} \text{ V} = 212 \text{ V}$	0,8	1,1	1,3	1,8
$230 \sqrt{2} \text{ V} = 325 \text{ V}$	1,1	1,6	1,8	2,5
$300 \sqrt{2} \text{ V} = 424 \text{ V}$	1,2	1,7	2,2	3,1
$400 \sqrt{2} \text{ V} = 566 \text{ V}$	1,35	1,9	2,6	3,7
$600 \sqrt{2} \text{ V} = 849 \text{ V}$	1,65	2,3	3,5	5,0
$690 \sqrt{2} \text{ V} = 976 \text{ V}$	1,8	2,5	3,8	5,4
$1 \sqrt{2} \text{ kV} = 1,41 \text{ kV}$	2,25	3,2	5,0	7,1
$1,5 \sqrt{2} \text{ kV} = 2,12 \text{ kV}$	3,0	4,2	6,4	9,1
$3 \sqrt{2} \text{ kV} = 4,24 \text{ kV}$	5,25	7,4	11,2	15,8
$6 \sqrt{2} \text{ kV} = 8,4 \text{ kV}$	9,75	13,8	17,5	24,8
$10 \sqrt{2} \text{ kV} = 14,14 \text{ kV}$	15,75	22,3	34,0	48,1

NOTE L'interpolation est autorisée sur toutes les pages.

For design b), the dielectric strength test shall be applied at operating temperature, and with cooling media applied. In case the fuel cell module can not be maintained at operating temperature, the dielectric strength test shall be carried out at the maximum admissible temperature, and the temperature shall be recorded.

If the dielectric strength test is applicable, it shall be performed on the fully assembled fuel cell module disconnected from the fuel supply and purged with purging gas. The test voltage shall be applied between live parts and non-current-carrying metal parts. The test shall be performed either with a d.c. or an a.c. voltage of substantially sinusoidal waveform at a frequency between 48 Hz and 62 Hz. The voltage shall be increased steadily to the specified value in a period of not less than 10 s and then maintained for at least 1 min. The results are acceptable if there is no breakdown of the insulation. The leakage current shall not exceed 1 mA multiplied by the ratio of the test voltage to the open-circuit voltage. If this value cannot be met, the data of this test shall be provided to the systems integrator. All consequential hazards shall be mitigated by the systems integrator.

The test voltages shall be as mentioned in Table 1.

Table 1 – Dielectric strength test voltages
(derived from EN 50178)

Column 1 Open-circuit voltage	Column 2 Test voltage, a.c. and d.c., for testing circuits with basic insulation and circuits with protective separation		Column 3 Test voltage, a.c. and d.c., for testing between circuits and accessible surface (non-conductive or conductive but not connected to protective earth)	
	AC r.m.s.	DC	AC r.m.s.	DC
	kV	kV	kV	kV
$\leq 50 \sqrt{2} \text{ V} = 71 \text{ V}$	0,35	0,5	0,35	0,5
$100 \sqrt{2} \text{ V} = 141 \text{ V}$	0,5	0,7	0,7	1,0
$150 \sqrt{2} \text{ V} = 212 \text{ V}$	0,8	1,1	1,3	1,8
$230 \sqrt{2} \text{ V} = 325 \text{ V}$	1,1	1,6	1,8	2,5
$300 \sqrt{2} \text{ V} = 424 \text{ V}$	1,2	1,7	2,2	3,1
$400 \sqrt{2} \text{ V} = 566 \text{ V}$	1,35	1,9	2,6	3,7
$600 \sqrt{2} \text{ V} = 849 \text{ V}$	1,65	2,3	3,5	5,0
$690 \sqrt{2} \text{ V} = 976 \text{ V}$	1,8	2,5	3,8	5,4
$1 \sqrt{2} \text{ kV} = 1,41 \text{ kV}$	2,25	3,2	5,0	7,1
$1,5 \sqrt{2} \text{ kV} = 2,12 \text{ kV}$	3,0	4,2	6,4	9,1
$3 \sqrt{2} \text{ kV} = 4,24 \text{ kV}$	5,25	7,4	11,2	15,8
$6 \sqrt{2} \text{ kV} = 8,4 \text{ kV}$	9,75	13,8	17,5	24,8
$10 \sqrt{2} \text{ kV} = 14,14 \text{ kV}$	15,75	22,3	34,0	48,1
NOTE Interpolation is permitted throughout all ranges.				

5.8 Essai de pression différentielle

Pour les modules à piles à combustible qui maintiennent différents circuits pour l'anode et la cathode à l'intérieur du module, l'essai différentiel est applicable. Le module à piles à combustible doit être à la température maximale ou minimale de fonctionnement, en prenant celle qui est la plus sévère. Le module à piles à combustible doit être mis sous pression avec un gaz approprié soit sur les circuits de l'anode soit sur les circuits de la cathode et il doit être maintenu sous pression pendant une période comprise entre au moins 1 min et une valeur qui ne soit pas inférieure à 1,3 fois la pression de service différentielle admissible. Le débit de fuite doit être mesuré par exemple avec un débitmètre, soit en continu au cours de l'essai, soit, si cela n'est pas possible, avant et après la pressurisation à la pression de service différentielle admissible.

Le module à piles à combustible ne doit subir ni rupture, ni fracture, ni déformation permanente, ni autre dommage physique. Le débit de fuite entre le côté anode et le côté cathode ne doit pas augmenter en fonction du résultat de cet essai et il doit être dans les limites de la spécification du fabricant pour la température de l'essai. Les mesures après la mise sous pression ne doivent pas dévier des résultats initiaux de plus de la précision et de la répétabilité à la fois de l'instrumentation et du montage d'essai.

5.9 Essai de fuite de gaz (répétition)

La pile à combustible doit faire l'objet d'un nouvel essai de fuite sans période de préconditionnement mais aux mêmes conditions d'essai que celles spécifiées en 5.1.

Le débit de fuite du gaz ne doit pas dépasser celui spécifié par le fabricant et ne doit pas varier de plus de 10 % de la valeur initiale ou 5 cm³/min, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus sévère.

5.10 Fonctionnement normal (répétition)

L'essai de fonctionnement normal doit être répété comme cela est défini en 5.2. Les mesures enregistrées ne doivent pas dévier des résultats initiaux de plus de la précision et de la répétabilité à la fois de l'instrumentation et du montage d'essai.

5.11 Essai de concentration inflammable

Cet essai n'est applicable qu'aux systèmes sous enveloppe avec processus de ventilation et de purge de sécurité intégrés, lorsque la température de fonctionnement est inférieure à la température d'auto-inflammation du gaz combustible.

Les processus de ventilation et de purge de sécurité dépendent des caractéristiques et des exigences spécifiques du module à piles à combustible. Cet essai doit déterminer la concentration maximale de gaz inflammable à l'intérieur de l'enveloppe du module dans les conditions normales de fonctionnement.

Le module à piles à combustible doit être mis en fonctionnement dans les limites de la plage nominale de température jusqu'à l'obtention des conditions d'équilibre thermique. Les essais doivent être réalisés à la pression barométrique dans la station d'essai et dans une zone dénuée de tout courant d'air significatif.

Quatre mesures doivent être réalisées à distance de la purge ou des points d'échappement de manière à ce que la concentration inflammable mesurée soit celle du compartiment plutôt que celle de la source.

L'essai doit être continué jusqu'à ce que quatre mesures aient montré que l'augmentation de la concentration inflammable ne dépasse pas de plus de 5 % la moyenne des quatre mesures.

5.8 Differential pressure test

For fuel cell modules that maintain different channels for the anode and the cathode within the module, the differential test is applicable. The fuel cell module shall be at the maximum or minimum operating temperature, whichever is more severe. The fuel cell module shall be pressurized with an appropriate gas either on the anode or cathode channels gradually and held steady for a period of not less than 1 min to no less than 1,3 times the allowable differential working pressure. The leakage rate shall be measured, for example with a flow rate meter either continuously during the test, or, if not possible, before and after the pressurization at the allowable differential working pressure.

There shall be no rupture, fracture, permanent deformation or other physical damage to the fuel cell module. The leakage rate between anode and cathode side shall not increase as a result of this test and shall be within the manufacturer's specification for the temperature of the test. The measurements after the pressurization shall not deviate from the initial results by more than the accuracy and repeatability of both, the instrumentation and the test set-up.

5.9 Gas leakage test (repeat)

The fuel cell stack shall be re-tested for leakage without the pre-conditioning period, but at the same testing conditions as specified in 5.1.

The gas leakage rate shall not exceed that specified by the manufacturer, and not change by more than 10 % of the initial value or 5 cm³/min, whichever is higher.

5.10 Normal operation (repeat)

The normal operation test shall be repeated as defined in 5.2. The measurements recorded shall not deviate from the initial results by more than the accuracy and repeatability of both the instrumentation and the test set-up.

5.11 Flammable concentration test

This test is only applicable for enclosed systems, with integrated safety ventilation and purging processes, where the operating temperature is below the auto-ignition temperature of the combustible gas.

Safety ventilation and purging processes depend on the specific features and requirements of the fuel cell module. This test shall determine the maximum flammable gas concentration within the module enclosure under normal operation.

The fuel cell module shall be operated within the nominal temperature range until thermal equilibrium conditions are achieved. The testing shall be carried out at the barometric pressure at the testing station and in an area free from appreciable draughts.

Four measurements shall be made at a distance from the purge or points of release so that the flammable concentration measured is that of the compartment rather than the source.

The test shall be continued until four consecutive measurements have shown that the increase in the flammable concentration does not exceed by more than 5 % the mean of the four measurements.

L'intervalle temporel entre les mesures ne doit pas être inférieur à 30 min.

Cet essai doit être réalisé au moins deux fois.

L'essai est satisfaisant si la concentration de gaz inflammable est inférieure à 25 % de la limite d'inflammabilité basse. Lorsque la concentration dépasse 25 % de la limite d'inflammabilité basse, les dispositions de 4.2.7 doivent s'appliquer.

5.12 Essais des conditions anormales

Les essais de type en conditions anormales de fonctionnement sont destinés à démontrer que lesdites conditions, qui peuvent être prévues, ne donnent pas lieu à un danger ou un dommage à l'extérieur du module à piles à combustible. En raison des conditions anormales, ces essais peuvent être destructifs et il convient qu'ils soient réalisés à la suite des essais de type «en conditions normales». Il est également acceptable de réaliser ces essais sur un sous-module d'un module à piles à combustible, qui générera des réponses ayant une valeur de prototypes. La séquence des essais en conditions anormales peut être différente d'un type à l'autre de module à pile à combustible; la séquence doit être établie en tenant compte du danger croissant de destruction des différents articles d'essai.

Les essais en conditions anormales doivent être réalisés dans l'installation d'essai telle qu'elle est utilisée pour les essais de type. L'installation d'essai peut être modifiée afin d'atteindre les conditions anormales prévues.

Pendant les essais en conditions anormales, la température maximale de surface de l'unité d'essai qui est obtenue doit être enregistrée. Si cette température est supérieure à celle obtenue en conditions normales, elle doit être donnée au fabricant du produit fini.

Le mode de défaillance du module à piles à combustible ne doit pas entraîner de danger pour les personnes ou des dommages à l'extérieur du module. Si un échantillon d'essai est endommagé au cours de l'essai en conditions anormales, les essais suivants doivent être réalisés en utilisant un échantillon d'essai qui a déjà subi avec succès l'essai de type de 5.2.

5.12.1 Essai avec réduction de la quantité de combustible

Le module à piles à combustible doit être mis en fonctionnement à sa puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Afin de provoquer la réduction de la quantité du combustible, le flux de combustible sera abaissé jusqu'à un niveau représentant le scénario du cas le plus défavorable déterminé par une évaluation de risques fournie par le fabricant du module à piles à combustible. Le système de surveillance de la tension ou un autre système de sécurité doit fournir un signal destiné à placer le module à piles à combustible en état sûr avant d'atteindre une condition dangereuse.

5.12.2 Essai de réduction de la quantité d'oxygène/d'oxydant

Le module à piles à combustible doit être mis en fonctionnement à sa puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Afin de provoquer la réduction de la quantité d'oxygène/d'oxydant, le flux d'oxydant sera abaissé jusqu'à un niveau représentant le scénario du cas le plus défavorable déterminé par une évaluation de risques fournie par le fabricant du module à piles à combustible. Le système de surveillance de la tension ou un autre système de sécurité doit fournir un signal destiné à placer le module à piles à combustible en état sûr avant d'atteindre une condition dangereuse.

The time interval between measurements shall be not less than 30 min.

The test shall be carried out at least twice.

The test is satisfactory if the concentration of flammable gas is less than 25 % of the lower flammability limit. Where the concentration exceeds 25 % of the lower flammability limit, the provisions of 4.2.7 shall apply.

5.12 Tests of abnormal conditions

The purpose of type tests under abnormal operating conditions is to demonstrate that abnormal operating conditions, which can be predicted, do not result in hazard or damage outside the fuel cell module. Due to abnormal conditions, these tests may be destructive and they should be performed following the “normal” type tests. It is also acceptable to perform these tests on a sub-module of the fuel cell module, which will yield prototypical responses. The sequence of the tests of abnormal conditions may be different from type to type of the fuel cell module; the sequence shall be ordered along the increasing danger of destruction of the different test articles.

The tests of abnormal conditions shall be performed in the test facility as used for the type tests. The test facility may be modified in order to reach the foreseen abnormal conditions.

During the tests of abnormal conditions, the maximum surface temperature of the test unit obtained shall be recorded. If this temperature is higher than that obtained under normal conditions, it shall be given to the end-product manufacturer.

The failure mode of the fuel cell module shall not present a hazard to persons or damages outside the fuel cell module. If a test sample is damaged during the test of abnormal conditions, the following tests shall be carried out using a test sample that already passed the type test of 5.2.

5.12.1 Fuel starvation test

The fuel cell module shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. To provoke the fuel starvation, the fuel flow will be reduced to a level representing the worst-case scenario determined by a risk assessment provided by the fuel cell module manufacturer. The voltage monitoring system or other safety system shall provide a signal intended to initiate the transfer of the fuel cell module into a safe state prior to reaching a hazardous condition.

5.12.2 Oxygen/oxidant starvation test

The fuel cell module shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. To provoke the oxygen/oxidant starvation, the oxidant flow will be reduced to a level representing the worst-case scenario determined by a risk assessment provided by the fuel cell module manufacturer. The voltage monitoring system or other safety system shall provide a signal intended to initiate the transfer of the fuel cell module into a safe state prior to reaching a hazardous condition.

5.12.3 Essai de court-circuit

Le module à piles à combustible doit être mis en fonctionnement à sa puissance nominale et avec les paramètres normaux de fonctionnement en régime stable. Ensuite, un court-circuit entre le pôle plus et le pôle moins du module à piles à combustible avec une résistance et une inductance minimales doit être initié par un commutateur à haute intensité adapté. Le courant et la tension de court-circuit doivent être mesurés par des moyens adaptés, par exemple par un dispositif de surveillance de l'intensité et de la tension d'impulsion/transitoire pré-déclenché pour mesurer les deux valeurs. Ces données doivent être fournies à l'intégrateur de systèmes. Tous les dangers qui en résultent doivent être indiqués à l'intégrateur de systèmes.

NOTE Les piles à combustible ne stockent pas d'énergie à la différence des piles. La coupure de l'alimentation en combustible retire la source d'énergie. La faible quantité d'énergie stockée comme capacité dans les électrodes des piles à combustible est rapidement déchargée avec un défaut franc.

L'essai de court-circuit peut être réalisé sur un module à échelle réduite avec un calcul approprié pour le produit en vraie grandeur.

5.12.4 Essai de manque de refroidissement / de défaut de refroidissement

Le module étant à la puissance maximale admissible spécifiée par le fabricant, tout en fonctionnant dans les conditions stabilisées spécifiées par le fabricant, le flux d'agent de refroidissement, s'il est séparé de l'oxydant, est stoppé brutalement afin de simuler une défaillance du système de refroidissement. On fait fonctionner le module à piles à combustible

- soit pour la durée admissible indiquée par le fabricant après arrêt de l'agent de refroidissement; soit
- le module à piles à combustible s'arrête à cause des dégradations de performance subies avant d'atteindre la température de service des matériaux de construction; soit
- jusqu'à ce que le dispositif de sécurité du module à piles à combustible fournisse un signal destiné à initier le placement en état sûr du module avant d'atteindre une situation dangereuse.

5.12.5 Essai du système de surveillance de perméation

Cet essai n'est applicable qu'aux modules à piles à combustible équipés d'un système de surveillance.

Lorsqu'une perméation entre l'anode et la cathode donne lieu à une condition dangereuse, elle doit être surveillée de manière continue par un dispositif de surveillance de la tension des piles ou des moyens équivalents pour mettre le module dans un état présentant toutes les conditions de sécurité. Cela peut être réalisé en surveillant chaque tension de pile ou la tension d'un groupe de piles. Les tensions de différentes piles à combustible peuvent également être comparées.

L'essai doit être réalisé dans les conditions normales de fonctionnement. Une perméation doit être simulée en réduisant la tension surveillée de la pile en dessous du seuil inférieur de coupure. Cette procédure doit être répétée avec au moins 2 % de voies de surveillance de tension de pile choisies de manière aléatoire.

NOTE 1 Cela peut être réalisé en utilisant un diviseur de tension entre les bornes de tension de la pile et l'entrée du dispositif de surveillance de la tension de la pile. La résistance à basse tension du diviseur de tension peut être un potentiomètre avec lequel la tension est abaissée de manière continue jusqu'à ce que la condition de coupure soit atteinte.

NOTE 2 Une puissance inverse de l'état d'électrolyse peut intervenir à l'intérieur de la cellule élémentaire à combustible si une tension excessive est appliquée, par exemple en raison de la défaillance du système. Cela peut conduire à la formation d'hydrogène et d'oxygène et présenter un danger.

5.12.3 Short-circuit test

The fuel cell module shall be operated at nominal power and at normal operating parameters to a steady-state condition. Then a short circuit between the plus and minus pole of the fuel cell module with a minimum resistance and inductance shall be initiated by a suitable high-current switch. The short-circuit current and voltage shall be measured by suitable means, for example a pre-triggered pulse current and pulse voltage monitoring device to measure both values. These data shall be provided to the systems integrator. All consequential hazards shall be reported to the systems integrator.

NOTE Fuel cells do not store energy like batteries. Shutting off the fuel supply removes the energy source. The small amount of energy stored as capacitance in fuel cell electrodes is quickly discharged with a dead short.

The short-circuit test may be performed on a subscale module together with an adequate calculation for the full-scale product.

5.12.4 Lack of cooling/impaired cooling test

At the maximum allowable power output specified by the manufacturer, while operating under the stabilized conditions specified by the manufacturer, the coolant flow, if separate from the oxidant, is instantaneously stopped in order to simulate a coolant system failure. The fuel cell module is operated

- for the permissible duration given by the manufacturer after the coolant is shut down; or
- the fuel cell module shuts down from performance degradation prior to reaching the service temperature of the materials of construction; or
- until the fuel cell module safety device provides a signal intended to initiate the transfer of the fuel cell module into a safe state prior to reaching a hazardous condition.

5.12.5 Crossover monitoring system test

This test is only applicable to fuel cell module with a monitoring system.

Where a crossover between the anode and the cathode results in a hazardous condition, it shall be monitored continuously by a cell voltage monitoring device or equivalent means which transfers the fuel cell module into a safe state. This can be done by monitoring each cell voltage or the voltage of a group of cells. Also, the voltage of different stacks can be compared.

The test shall be performed under normal operating conditions. A crossover shall be simulated by decreasing the monitored cell voltage under the lower switching-off threshold. This procedure shall be repeated with at least 2 % randomly selected cell voltage monitoring channels.

NOTE 1 This can be done by using a voltage divider between the cell voltage terminals and the input of the cell voltage monitoring device. The low-voltage resistor of the voltage divider may be a potentiometer by which the voltage is lowered continuously until the switching-off condition has been achieved.

NOTE 2 A reverse power or electrolysis state may occur within a fuel cell, if excessive voltage is applied, for example due to a systems failure. This may lead to hydrogen and oxygen formation and present a hazard.

5.12.6 Essais de cycle de gel/de dégel

Cet essai n'est applicable qu'aux modules à piles à combustible de type PEM acceptant une température de stockage ou de fonctionnement inférieure à 0 °C.

Après avoir fonctionné normalement de manière stable, la pile à combustible doit être arrêtée. On fera ensuite geler le module à piles à combustible dans les conditions présentant la température ambiante la plus faible pour laquelle le dispositif est spécifié par le fabricant. Après avoir gelé, l'unité sera dégelée conformément à la spécification du fabricant jusqu'à ce qu'elle atteigne une valeur minimale de 10 °C. Ce cycle de gel/dégel sera répété dix fois. Ensuite, l'essai de fuite doit être répété.

6 Essais individuels de série

Les essais individuels de série doivent être réalisés dans une installation d'essai qui simule le système de piles à combustible escompté ou le système de piles à combustible lui-même de manière à obtenir les conditions de fonctionnement nécessaires. Il est recommandé de réaliser les essais individuels de série dans l'ordre décrit ci-dessous.

Dans le cas où les essais individuels de série sont réalisés directement avec la procédure de démarrage et de conditionnement initiale, le module à piles à combustible est connecté à l'installation de conditionnement et se trouve dans les conditions de fonctionnement spécifiées par le fabricant. Sinon, le module à piles à combustible doit être intégré dans un système de piles à combustible ou un simulateur de système comme cela est défini ci-dessus et la procédure de démarrage doit être réalisée selon la spécification du fabricant, de manière que le module de piles à combustible soit dans des conditions opérationnelles dans la mesure où cela est exigé par les essais individuels de série définis ci-dessous. Les essais individuels de série suivants doivent être effectués.

6.1 Essai d'étanchéité au gaz

Les essais d'étanchéité au gaz doivent être réalisés sur toutes les unités de production.

Un essai d'étanchéité au gaz doit être réalisé sur tous les joints et sur toutes les connexions des composants soumis à des pressions en utilisant un détecteur de fuite de liquide. Il ne doit pas se former de bulles lorsqu'ils sont exposés à la pression maximale de fonctionnement telle qu'elle est définie en 3.20.

6.2 Essai de rigidité diélectrique

Les essais de rigidité diélectrique doivent être réalisés sur toutes les unités de production.

Les essais de rigidité diélectrique doivent être réalisés comme cela est décrit en 5.7. Sinon, sur l'initiative du fabricant et avec l'accord de l'organisme d'essai, un essai de 1 s peut être autorisé à des tensions d'essai de 20 % supérieures à celles indiquées dans chaque classification de 5.7.

7 Marquages et instructions

7.1 Plaque signalétique

Une plaque signalétique doit être fixée de manière permanente sur le module à piles à combustible. Le marquage sur la plaque signalétique doit être lisible et durable en tenant compte les éventuelles conditions de corrosion chimique, de chaleur et d'environnement.

5.12.6 Freeze/thaw cycle tests

This test is only applicable to PEM fuel cell module with a storage or operating temperature below 0 °C.

After running in normal operation in a stable manner, the fuel cell stack shall be shut down. The fuel cell module will then be frozen at the lowest ambient temperature condition for which the device is specified by the manufacturer. After freezing, the unit will be thawed according to the manufacturer's specification until it reaches a minimum of 10 °C. This freeze/thaw cycle will be repeated ten times. Afterwards, the leakage test shall be repeated.

6 Routine tests

Routine tests shall be performed in a test facility simulating the anticipated fuel cell system or the fuel cell system itself, in order to obtain the required operating conditions. It is recommended to perform the routine tests in the order as described below.

In case of performing the routine tests in direct conjunction with the initial start-up and conditioning procedure, the fuel cell module is connected to the conditioning facility and is under operational conditions as specified by the manufacturer. Otherwise, the fuel cell module shall be integrated in a fuel cell system or system simulator as defined above and the start-up procedure shall be carried out according manufacturer's specification, so that the fuel cell module is under operational conditions as far as required by the routine tests defined below.

The following routine tests shall be performed.

6.1 Gas-tightness test

Gas-tightness tests shall be performed on all production units.

A gas-tightness test shall be performed on all joints and connections of pressure-bearing components using a liquid leak detector. No bubbles shall form when exposed to the maximum operating pressure as defined in 3.20.

6.2 Dielectric strength withstand test

Dielectric strength tests shall be performed on all production units.

Dielectric strength tests shall be performed as described in 5.7. Alternatively, at the discretion of the manufacturer and with the agreement of the testing agency, a 1 s test may be permitted at test voltages 20 % higher than those in each classification of 5.7.

7 Markings and instructions

7.1 Nameplate

A nameplate shall be secured in a permanent manner to the fuel cell module. The marking on the nameplate shall be legible and durable taking into account possible chemical corrosion, heat and environmental conditions.

Le marquage de la plaque signalétique doit inclure au moins les informations suivantes:

- a) le nom du fabricant ou sa marque déposée;
- b) l'identification du modèle;
- c) un code de date ou un numéro de série permettant de retrouver la date de fabrication.

7.2 Marquage

Si des connexions peuvent être interchangeables et donner lieu à des conditions n'offrant pas toute sécurité, celles-ci doivent être identifiées. La polarité des connexions électriques et la mise à la masse, si cela est applicable, doivent être indiquées.

7.3 Etiquette d'avertissement

Les étiquettes d'avertissement suivantes doivent être utilisées si elles sont applicables:

- danger de chocs;
- températures élevées;
- gaz ou liquide inflammables;
- milieux corrosifs;
- milieux toxiques.

Si des tensions élevées peuvent apparaître, une étiquette «Court-circuiter avant toute manipulation» doit être apposée sur le module à piles à combustible.

7.4 Documentation

Les informations nécessaires pour l'intégration des systèmes, l'installation, l'exploitation et la maintenance des modules à piles à combustible doivent être fournies sous la forme de dessins, de schémas, de graphiques, de tableaux et d'instructions.

Le fabricant de module à piles à combustible doit assurer que la documentation technique spécifiée dans cet article est fournie avec chaque module à pile à combustible, sans accord contraire entre l'intégrateur de systèmes et le fabricant de module.

Pour les références aux documents indiqués ci-dessus, le fabricant de module à piles à combustible doit choisir une des méthodes suivantes:

- chacun des documents ci-dessus doit mentionner en correspondance les références des autres documents; ou
- tous les documents doivent faire l'objet d'une liste avec leurs références et leur titre dans un dessin ou dans une liste de documents.

La première méthode doit uniquement être utilisée lorsque la documentation comprend un nombre peu important de documents (par exemple moins de cinq).

Les informations supplémentaires suivantes doivent être fournies à l'intégrateur de systèmes:

- a) stratégie de sécurité générale selon 4.1;
- b) type de combustible et d'oxydant, sortes de combustibles et d'oxydants acceptables (composition des gaz, teneur en impuretés etc.);
- c) pression d'alimentation en combustible et en gaz oxydant (minimale et maximale);
- d) consommation de combustible et d'oxydant à la puissance assignée et à la puissance maximale;
- e) débit maximal de fuite du combustible;
- f) température d'alimentation acceptable du combustible et de l'oxydant;

The nameplate marking shall at least include the following information:

- a) the name of the manufacturer, or his registered trademark;
- b) model identification;
- c) a date code or serial number traceable to the date of manufacture.

7.2 Marking

If connections can be interchanged and result in unsafe conditions, they shall be identified. Polarity of the electrical connections and grounding, if applicable, shall be indicated.

7.3 Warning label

The following warning labels shall be used, as applicable:

- shock hazard;
- high temperatures;
- flammable gas or liquid;
- corrosive media;
- toxic media.

When high voltages could occur a label "Short-circuit prior to handling" shall be affixed to the fuel cell module.

7.4 Documentation

The information necessary for system integration, installation, operation, and maintenance of the fuel cell module shall be supplied in the form of drawings, diagrams, charts, tables, and instructions.

The fuel cell module manufacturer shall ensure that the technical documentation specified in this clause is provided with each fuel cell module if not agreed upon otherwise between the system integrator and the fuel cell module manufacturer.

For referencing of the above documents, the fuel cell module manufacturer shall select one of the following methods:

- each of the above documents shall carry as a cross-reference the document numbers of other documents, or
- all documents shall be listed with document numbers and titles in a drawing or document list.

The first method shall be used only where the documentation consists of a small number of documents (for example, less than five).

The following additional information shall be provided to the system integrator:

- a) general safety strategy according to 4.1;
- b) type of fuel and oxidant, acceptable fuel and oxidant species (gas composition, impurity content, etc.);
- c) fuel and oxidant gas supply pressure (minimum and maximum);
- d) fuel and oxidant consumption at rated and maximum power;
- e) maximum fuel leakage rate;
- f) acceptable fuel and oxidant supply temperature;

- g) température maximale d'évacuation;
 - h) émissions types;
 - i) plage de températures ambiantes et d'humidité pour le fonctionnement et le stockage;
 - j) plage d'altitudes;
- NOTE La puissance de sortie dépend de la disponibilité de l'oxydant. Le fonctionnement à haute altitude peut réduire les performances.
- k) niveaux admissibles de chocs et de vibrations;
 - l) température normale de fonctionnement de la pile à combustible;
 - m) température maximale de surface;
 - n) sortes d'agents de refroidissement;
 - o) points de réglage de température en entrée et en sortie de l'agent de refroidissement;
 - p) pression d'alimentation en agent de refroidissement et plage de débit de flux;
 - q) type et caractéristiques des dispositifs de protection contre les surintensités/surcharges/surtensions/minimums de tension;
 - r) exigences de purge;
 - s) dimensions;
 - t) poids;
 - u) caractéristiques électriques en sortie (tension assignée, courant assigné, puissance assignée, tension en circuit ouvert avec courant de pleine charge);
 - v) surcharge électrique maximale;
 - w) alimentation en courant auxiliaire (par exemple, tension, fréquence, puissance);
 - x) utilisation du ou des produits finaux pour lesquels ce composant est prévu;
 - y) l'emplacement de la connexion à la terre;
 - z) informations appropriées concernant les procédures de fin de vie.

NOTE Les exigences réglementaires pour le recyclage et la mise au rebut sont à prendre en compte.

7.4.1 Manuel d'installation

Le manuel d'installation doit donner une description claire et complète de l'installation et du montage, des connexions électriques, de la connexion du combustible, de la connexion de l'oxydant et de la connexion au système de refroidissement, si cela est applicable, du module à piles à combustible.

Le manuel d'installation doit englober

- le traitement, le transport et le stockage;
- la préparation;
- l'orientation (emplacement de la face supérieure et de la face inférieure, etc.);
- la méthode de fixation du module;
- la méthode de connexion des tuyauteries de gaz et d'agent de refroidissement;
- la méthode de connexion de la ligne électrique et des capteurs;
- les notes générales et les manipulations interdites;
- le ou les schémas d'ensemble (de blocs) le cas échéant;
- le ou les schémas de circuit.

- g) maximum exhaust temperature;
- h) typical emissions;
- i) range of ambient temperature and humidity for operation and storage;
- j) range of altitude;

NOTE Power output is dependant on availability of oxidant. Operation at high altitude may reduce performance.

- k) permissible shock and vibration levels;
- l) normal stack operating temperature;
- m) maximum surface temperature;
- n) coolant species;
- o) coolant inlet and outlet temperature set points;
- p) coolant supply pressure and flow-rate range;
- q) type and characteristics of the overcurrent/overload/overvoltage/undervoltage and other protection devices;
- r) purging requirements;
- s) dimensions;
- t) weight;
- u) electrical output ratings (rated voltage, rated current, rated power, open-circuit voltage, voltage at full load current);
- v) maximum electrical overload;
- w) auxiliary power supply (for example, voltage, frequency, power);
- x) the end-product(s) use for which this component is intended;
- y) the location of the earth connection;
- z) appropriate information regarding end-of-life procedures.

NOTE Regulatory requirements for recycling and disposal are to be taken into consideration.

7.4.1 Installation manual

The installation manual shall give a clear and comprehensive description of the installation and mounting, the electrical connections, the fuel connection, the oxidant connection, and the connection to the cooling system as far as applicable, of the fuel cell module.

The installation manual shall comprise

- handling, transportation and storage;
- preparation;
- orientation (upper-side and lower-side position, etc.);
- fixing method of the module;
- connection method of gas and coolant piping;
- connection method of the electric line and sensors;
- general notes and prohibited handling;
- overview (block) diagram(s) where appropriate;
- circuit diagram(s).

7.4.1.1 Schéma d'installation

Le schéma d'installation doit donner toutes les informations nécessaires aux travaux préliminaires de mise en place d'un module à piles à combustible. Dans des cas complexes, il peut être nécessaire de se reporter aux dessins d'assemblage pour les informations détaillées.

L'emplacement et le type recommandés des accessoires d'alimentation, des câbles, des tuyaux et assimilés pour leur installation sur site doivent être clairement indiqués.

Les données nécessaires au choix du type, des caractéristiques, des caractéristiques assignées et du réglage de tout dispositif de protection à installer doivent être indiquées.

La taille, le type et l'objet des conduits, des caisses ou des supports entre le module à piles à combustible et l'équipement associé qui doivent être fournis par l'utilisateur doivent être donnés en détails.

Lorsque cela est nécessaire, le schéma doit indiquer où se situe un besoin d'espace pour le retrait ou l'entretien du module à piles à combustible.

De plus, dans les cas où cela est approprié, un schéma ou une table d'interconnexion doit être fourni(e). Ce schéma ou ce tableau doit donner toutes les informations concernant les connexions externes.

7.4.1.2 Schéma de blocs (système) et schémas fonctionnels

Lorsqu'il est nécessaire de faciliter la compréhension des principes de fonctionnement, un schéma de blocs (de système) doit être fourni. Un schéma de bloc (système) représente symboliquement le module à piles à combustible avec ses interrelations fonctionnelles sans nécessairement représenter toutes les interconnexions.

Les schémas fonctionnels peuvent être utilisés soit en tant que partie, soit en plus du schéma de blocs (de système).

7.4.1.3 Schémas de circuit

Lorsqu'un schéma de blocs (système) ne détaille pas suffisamment les éléments du module à piles à combustible, des schémas détaillés des différents circuits doivent être fournis. Ces schémas doivent montrer les circuits sur le module à piles à combustible et ses équipements associés. Tout symbole graphique qui n'est pas représenté dans la CEI 60617 doit être représenté et décrit séparément sur les schémas ou les documents d'accompagnement. Les symboles et l'identification des composants et des dispositifs doivent être cohérents dans tous les documents et sur le module à piles à combustible.

Lorsque cela est approprié, un schéma représentant les bornes, les jonctions et les éléments analogues pour les connexions d'interface doit être fourni. Ce schéma peut être utilisé conjointement au(x) schéma(s) des circuits dans un souci de simplification. Le schéma doit contenir une référence au schéma de circuit détaillé de chaque unité représentée.

Les circuits doivent être représentés de manière à faciliter la compréhension de leur fonction ainsi que leur maintenance. Les caractéristiques concernant la fonction des dispositifs et composants de contrôle, si elles ne sont pas évidentes d'après leur représentation symbolique, doivent être incluses sur les schémas à proximité immédiate du symbole ou renvoyées à une note.

7.4.1.1 Installation diagram

The installation diagram shall give all information necessary for the preliminary work of setting up the fuel cell module. In complex cases, it may be necessary to refer to the assembly drawings for details.

The recommended position and type of the supply fittings, cables, hoses, pipes and the like to be installed on site shall be clearly indicated.

The data necessary for choosing the type, characteristics, ratings and setting of any protection device(s) to be installed shall be stated.

The size, type, and purpose of ducts, trays, or supports between the fuel cell module and the associated equipment that are to be provided by the user shall be detailed.

Where necessary, the diagram shall indicate where space is required for the removal or servicing of the fuel cell module.

In addition, where it is appropriate, an interconnection diagram or table shall be provided. That diagram or table shall give full information about all external connections.

7.4.1.2 Block (system) diagrams and function diagrams

Where it is necessary to facilitate the understanding of the principles of operation, a block (system) diagram shall be provided. A block (system) diagram symbolically represents the fuel cell module together with its functional interrelationships without necessarily showing all of the interconnections.

Function diagrams may be used as either part of, or in addition to, the block (system) diagram.

7.4.1.3 Circuit diagrams

Where a block (system) diagram does not sufficiently detail the elements of the fuel cell module, detailed diagrams of the different circuitry shall be furnished. Those diagrams shall show the circuits on the fuel cell module and its associated equipment. Any graphical symbol not shown in IEC 60617 shall be separately shown and described on the diagrams or supporting documents. The symbols and identification of components and devices shall be consistent throughout all documents and on the fuel cell module.

Where appropriate, a diagram showing the terminals, junctions and the like for interface connections shall be provided. That diagram may be used in conjunction with the circuit diagram(s) for simplification. The diagram shall contain a reference to the detailed circuit diagram of each unit shown.

Circuits shall be shown in such a way as to facilitate the understanding of their function as well as maintenance. Characteristics relating to the function of the control devices and components which are not evident from their symbolic representation shall be included on the diagrams adjacent to the symbol or referenced to a footnote.

7.4.2 Manuel d'utilisation

La documentation technique doit contenir un manuel d'utilisation donnant le détail des procédures correctes pour le montage et l'utilisation du module à piles à combustible. Une attention particulière doit être accordée aux mesures de sécurité fournies et aux méthodes incorrectes d'utilisation qui peuvent être prévues.

Lorsque le fonctionnement du module à piles à combustible peut être programmé, des informations détaillées concernant les méthodes de programmation, les équipements nécessaires, la vérification des programmes et les procédures supplémentaires de sécurité (le cas échéant) doivent être fournies.

Le manuel d'utilisation doit englober

- la procédure de démarrage et d'utilisation;
- l'ordre des opérations;
- la fréquence des contrôles;
- les procédures d'arrêt normal et d'urgence;
- la procédure de stockage et de conditionnement;
- les notes générales et les opérations interdites;
- les informations sur l'environnement physique (par exemple vibrations, niveaux de bruit, contaminants atmosphériques) le cas échéant.

7.4.3 Manuel de maintenance

Cette documentation technique doit contenir un manuel de maintenance donnant les détails des procédures et intervalles corrects pour les réglages, l'entretien et le contrôle préventif et les réparations. Il convient que les recommandations concernant les enregistrements de maintenance/de service soient données dans ce manuel. Lorsque des méthodes de vérification du fonctionnement correct sont données (par exemple logiciels d'essai), l'utilisation de ces méthodes doit être détaillée.

Le fabricant de module à piles à combustible doit donner des instructions correctes pour l'élimination et le recyclage des pièces et des composants.

7.4.4 Nomenclature des pièces

La nomenclature des pièces doit contenir, au minimum, les informations nécessaires pour la commande des pièces détachées ou de rechange (par exemple composants, dispositifs, logiciels, équipements d'essai, documentations techniques) nécessaires pour le fonctionnement normal et la maintenance préventive ou corrective y compris celles pour lesquelles il n'y a pas de recommandation de stock pour l'utilisateur du module à piles à combustible.

Cette nomenclature doit donner pour chaque élément:

- la désignation de référence utilisée dans la documentation;
- sa désignation de type;
- le fournisseur et des sources alternatives s'il en existe;
- ses caractéristiques générales le cas échéant.

7.4.2 Operation manual

The technical documentation shall contain an operation manual detailing proper procedures for set-up and use of the fuel cell module. Particular attention shall be given to the safety measures provided and to the improper methods of operation that are anticipated.

Where the operation of the fuel cell module can be programmed, detailed information on methods of programming, equipment required, programme verification, and additional safety procedures (where required) shall be provided.

The operation manual shall comprise:

- start-up and operational procedure;
- sequence of operation(s);
- frequency of inspection;
- normal and emergency shut-down procedures;
- storage procedure and conditioning;
- general notes and prohibited operation;
- information on the physical environment (for example, vibration, noise levels, atmospheric contaminants) where appropriate.

7.4.3 Maintenance manual

The technical documentation shall contain a maintenance manual detailing proper procedures and intervals for adjustment, servicing and preventive inspection, and repair. Recommendations on maintenance/service records should be part of that manual. Where methods for the verification of proper operation are provided (for example, software testing programmes), the use of those methods shall be detailed.

The fuel cell module manufacturer shall give proper instructions for disposal and recycling of parts and components.

7.4.4 Parts list

The parts list shall comprise, as a minimum, information necessary for ordering spare or replacement parts (for example, components, devices, software, test equipment, technical documentation) required for normal operation and preventive or corrective maintenance including those that are recommended to be carried in stock by the user of the fuel cell module.

The parts list shall show for each item:

- the reference designation used in the documentation;
- its type designation;
- the supplier and alternative sources where available;
- its general characteristics where appropriate.

Annexe A (informative)

Informations supplémentaires pour la réalisation et l'évaluation des essais

A.1 Estimation du débit de fuite d'un système lors d'essais avec un gaz autre que le gaz de service

Si le fabricant du module à piles à combustible ne conduit pas l'essai de débit de fuite de gaz avec le gaz de service, le débit de fuite du gaz de service doit être estimé à partir du débit de fuite obtenu avec le gaz utilisé pour les essais (gaz d'essai).

Il est établi que le débit de fuite des liquides et des gaz est inversement proportionnel à la racine carrée de la densité [18]³. C'est-à-dire que:

$$\text{débit de fuite proportionnel à } (1/D)^{1/2} \quad (\text{A.1})$$

où D est la densité.

Pour les gaz denses, étant donné que D est le dénominateur, le débit de fuite est faible et pour les gaz légers, le débit de fuite est élevé. On peut en conclure que le débit de fuite d'un gaz léger comme l'hydrogène, par exemple, est supérieur à celui avec un gaz plus lourd comme l'air, dans la mesure où l'hydrogène a une densité bien plus faible que l'air. Le poids spécifique de l'hydrogène est de 0,068 et le poids spécifique de l'air de 1.

De même, le débit de fuite volumétrique est inversement proportionnel à la viscosité absolue [18]. C'est-à-dire que:

$$\text{débit de fuite proportionnel à } (1/\mu) \quad (\text{A.2})$$

où μ est la viscosité absolue.

La viscosité dynamique est également désignée sous le terme de viscosité absolue.

Cela signifie que les gaz visqueux fuient moins que les gaz à faible viscosité. La viscosité de l'air, par exemple, est supérieure à celle de l'hydrogène et, pour cette raison, l'hydrogène fuit plus dans des conditions de température et de pression identiques.

Pour trouver quel mode est applicable pour un système particulier, une expérience doit être conduite.

En estimant le rapport du débit de fuite, lorsqu'on utilise le gaz combustible, sur le débit de fuite lorsqu'on utilise l'agent d'essai gazeux, si le débit de fuite avec le gaz d'essai est connu, le débit de fuite avec le gaz de service peut être estimé. Ce rapport peut être appelé R . A savoir:

$$R = \text{débit de fuite du gaz combustible/débit de fuite du gaz d'essai} \quad (\text{A.3})$$

³ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

Annex A (informative)

Additional information for the performance and evaluation of the tests

A.1 Estimating the leakage rate of a system when testing with a gas other than the working gas

If the fuel cell module manufacturer does not conduct the gas leakage rate test with the working gas, the gas leakage rate of the working gas has to be estimated from the leakage rate obtained with the gas used for testing (test gas).

It is known that the leakage rate of liquids and of gases is inversely proportional to the square root of the density [18]³. That is:

$$\text{leakage rate proportional to } (1/D)^{1/2} \quad (\text{A.1})$$

where D is the density.

For dense gases, since D is in the denominator, the leakage rate is low and for light gases the leakage rate is high. From this it can be concluded that the leakage rate of a light gas like hydrogen, for example, is higher than when using a heavier gas such as air since hydrogen has a much smaller density than air. The specific gravity of hydrogen is 0,068 and the specific gravity of air is 1.

Similarly, the volumetric leakage rate is inversely proportional to the absolute viscosity [18]. That is:

$$\text{leakage rate proportional to } (1/\mu) \quad (\text{A.2})$$

where μ is the absolute viscosity.

The dynamic viscosity is also referred to as the absolute viscosity.

This means that viscous gases leak less than gases with low viscosity. The viscosity of air for example is higher than the viscosity of hydrogen and for this reason, hydrogen leaks more at the same conditions of temperature and pressure.

To find out which mode is applicable for a particular system an experiment shall be conducted.

By estimating the ratio of the leakage rate, when using the fuel gas, to the leakage rate, when using the gaseous test media, if the leakage rate with the test gas is known the leakage rate with the working gas can be estimated. This ratio can be called R . That is:

$$R = \text{fuel gas leakage rate/test gas leakage rate} \quad (\text{A.3})$$

³ Figures in square brackets refer to the bibliography.

A.1.1 Calcul de R en utilisant l'équation (A.1)

D'après l'équation (A.1) le débit de fuite des gaz est inversement proportionnel à la racine carrée de leur densité. Ainsi, en substituant l'équation (A.1) dans l'équation (A.3), R est la racine carrée de l'inverse de la densité du gaz d'essai sur le rapport de densité du combustible. De même, étant donné que le poids spécifique est le rapport de la densité du gaz sur la densité de l'air, R est le suivant:

$$R = ((1/FGSG)/(1/TGSG))^{1/2} \quad (A.3)$$

où

$FGSG$ est le poids spécifique du gaz combustible;

$TGSG$ est le poids spécifique du gaz d'essai.

Cela peut être simplifié comme suit:

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (A.4)$$

En faisant ainsi, si le gaz combustible est plus léger que le gaz d'essai, R sera plus grand que un et vice versa.

A.1.2 Calcul de R en utilisant l'équation (A.2)

Le rapport du débit de fuite du gaz combustible sur le gaz d'essai en utilisant l'équation (A.2) et en la plaçant dans l'équation (A.3) est le suivant:

$$R = (1/\mu_{fuel})/(1/\mu_{test})$$

ainsi,

$$R = \mu_{test}/\mu_{fuel} \quad (A.5)$$

où

μ_{test} est la viscosité absolue du gaz d'essai;

μ_{fuel} est la viscosité absolue du gaz combustible.

C'est pourquoi, si le gaz combustible est moins visqueux que le gaz d'essai, R sera supérieur à un et vice versa (l'équation (A.5) provient de [18]).

A.1.3 Exemples

Si l'équation (A.4) est utilisée, c'est-à-dire

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2}$$

- a) si l'hydrogène est le gaz d'essai ainsi que le combustible, R est égal à un;
- b) si l'air est utilisé comme agent d'essai pour une pile à combustible qui utilisera de l'hydrogène comme combustible, R sera $(1/0,068)^{1/2} = 3,83$.

Cela signifie que si un débit de fuite de 28,3 l/h (1 ft³/h) est obtenu lorsqu'on fait les essais avec l'air, on estime que le débit de fuite avec l'hydrogène serait de 108 l/h (3,83 ft³/h).

A.1.1 Calculation of R by using equation (A.1)

From equation (A.1) the leakage rate of gases is inversely proportional to the square root of their density. Therefore, by substituting equation (A.1) into equation (A.3), R is the square root of the inverse of the test gas density to the fuel density ratio. Also, since the specific gravity is the ratio of the gas density to the air density, R is as follows:

$$R = ((1/FGSG)/(1/TGSG))^{1/2} \quad (A.3)$$

where

$FGSG$ is the fuel gas specific gravity;

$TGSG$ is the test gas specific gravity.

This can be simplified to:

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2} \quad (A.4)$$

By doing this, if the fuel gas is lighter than the test gas, R will be greater than one and vice versa.

A.1.2 Calculation of R by using equation (A.2)

The ratio of the leakage rate of the fuel gas to the test gas by using equation (A.2) and placing it in equation (A.3) is:

$$R = (1/\mu_{\text{fuel}})/(1/\mu_{\text{test}})$$

therefore,

$$R = \mu_{\text{test}}/\mu_{\text{fuel}} \quad (A.5)$$

where

μ_{test} is the test gas absolute viscosity;

μ_{fuel} is the fuel gas absolute viscosity.

Therefore, if the fuel gas is less viscous than the test gas, R will be greater than one and vice versa (equation (A.5) is from [18]).

A.1.3 Examples

If equation (A.4) is used, that is to say

$$R = (TGSG/FGSG)^{1/2}$$

- if hydrogen is the test gas as well as the fuel, R is one;
- if air is used as the test media for a fuel cell that will use hydrogen as the fuel, R will be $(1/0,068)^{1/2} = 3,83$.

This means that if a leakage rate of 28,3 l/h (1 ft³/h) is obtained when testing with air, it is estimated that the leak rate with hydrogen would be 108 l/h (3,83 ft³/h).