

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

62282-3-2

Première édition
First edition
2006-03

Technologies des piles à combustible –

Partie 3-2:

**Systèmes à piles à combustible stationnaires –
Méthodes d'essai des performances**

Fuel cell technologies –

Part 3-2:

**Stationary fuel cell power systems –
Performance test methods**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 62282-3-2:2006

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**

62282-3-2

Première édition
First edition
2006-03

Technologies des piles à combustible –

Partie 3-2:

**Systèmes à piles à combustible stationnaires –
Méthodes d'essai des performances**

Fuel cell technologies –

Part 3-2:

**Stationary fuel cell power systems –
Performance test methods**

© IEC 2006 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 **XC**

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12
1 Domaine d'application	14
2 Références normatives	16
3 Termes, définitions et symboles	20
3.1 Termes et définitions	20
3.2 Symboles	28
4 Conditions de référence	32
4.1 Généralités	32
4.2 Température et pression	34
4.3 Base du pouvoir calorifique	34
5 Performance et classes d'essai	34
5.1 Essais de performance	34
5.2 Classes d'essai	34
6 Préparation aux essais	38
6.1 Généralités	38
6.2 Analyse d'incertitude	38
6.2.1 Eléments d'analyse de l'incertitude	38
6.2.2 Plan d'acquisition des données	38
7 Appareils et méthodes de mesure	40
7.1 Généralités	40
7.2 Appareils	40
7.3 Méthodes de mesure	40
7.3.1 Puissance électrique	40
7.3.2 Consommation de combustible	42
7.3.3 Mesures sur combustible liquide	46
7.3.4 Chaleur récupérée	48
7.3.5 Débit de gaz de purge	48
7.3.6 Caractéristiques de l'oxydant (air)	50
7.3.7 Autre flux de fluide	52
7.3.8 Mesure des émissions de gaz d'échappement	52
7.3.9 Mesure de la qualité de l'eau d'écoulement	56
7.3.10 pH (Concentration en ions hydrogène)	56
7.3.11 COD (demande chimique en oxygène)	56
7.3.12 BOD (demande biochimique en oxygène)	56
7.3.13 Niveau de bruit audible	56
7.3.14 Niveau de vibration	58
7.3.15 Distorsion harmonique totale	58
7.3.16 Conditions ambiantes	58
8 Méthode d'essai et calcul des résultats	60
8.1 Plan d'essai	60
8.1.1 Généralités	60
8.1.2 Conditions ambiantes	60

CONTENTS

FOREWORD.....	9
INTRODUCTION.....	13
1 Scope.....	15
2 Normative references	17
3 Terms, definitions and symbols	21
3.1 Terms and definitions	21
3.2 Symbols	29
4 Reference conditions.....	33
4.1 General.....	33
4.2 Temperature and pressure	35
4.3 Heating value base.....	35
5 Performance and classes of tests	35
5.1 Performance tests	35
5.2 Classes of tests.....	35
6 Test preparation	39
6.1 General.....	39
6.2 Uncertainty analysis	39
6.2.1 Uncertainty analysis items.....	39
6.2.2 Data acquisition plan.....	39
7 Instruments and measurement methods.....	41
7.1 General.....	41
7.2 Instruments	41
7.3 Measurement methods.....	41
7.3.1 Electrical power.....	41
7.3.2 Fuel consumption	43
7.3.3 Liquid fuel measurements.....	47
7.3.4 Recovered heat	49
7.3.5 Purge gas flow.....	49
7.3.6 Oxidant (air) characteristics.....	51
7.3.7 Other fluid flow	53
7.3.8 Exhaust gas emission measurement.....	53
7.3.9 Discharge water quality measurement	57
7.3.10 pH (Hydrogen ion concentration)	57
7.3.11 COD (Chemical Oxygen Demand)	57
7.3.12 BOD (Biochemical Oxygen Demand)	57
7.3.13 Audible noise level	57
7.3.14 Vibration level	59
7.3.15 Total harmonic distortion	59
7.3.16 Ambient conditions	59
8 Test method and computation of results	61
8.1 Test plan	61
8.1.1 General	61
8.1.2 Ambient conditions	61

8.1.3	Variation maximale admissible dans les conditions de fonctionnement stable	62
8.1.4	Procédure de fonctionnement d'essai	64
8.2	Durée d'essai et fréquence des valeurs lues.....	64
8.3	Calcul des résultats	64
8.3.1	Puissance électrique	64
8.3.2	Consommation de combustible	66
8.3.3	Calcul de l'énergie du combustible	68
8.3.4	Consommation d'oxydant (air)	70
8.3.5	Calcul de l'énergie de l'oxydant (air)	72
8.3.6	Rendement électrique.....	72
8.3.7	Rendement de l'énergie thermique récupérable	74
8.3.8	Rendement énergétique total.....	76
8.3.9	Caractéristiques de réponse électrique et thermique	76
8.3.10	Caractéristiques de démarrage/d'arrêt.....	98
8.3.11	Consommation de gaz de purge	100
8.3.12	Consommation d'eau	100
8.3.13	Chaleur résiduelle	100
8.3.14	Emission de gaz d'échappement	102
8.3.15	Calcul de la production des émissions	102
8.3.16	Niveau de bruit audible.....	102
8.3.17	Niveau de vibration.....	102
8.3.18	Qualité de l'eau d'écoulement.....	104
9	Rapports d'essai.....	106
9.1	Généralités.....	106
9.2	Page de titre	106
9.3	Sommaire	106
9.4	Rapport résumé.....	106
9.5	Rapport détaillé.....	106
9.6	Rapport complet.....	108
	Annexe A (normative) Guide pour l'analyse d'incertitude.....	110
	Annexe B (normative) Calcul du pouvoir calorifique du combustible	140
	Annexe C (normative) Gaz de référence	146
	Bibliographie.....	150
	Figure 1 – Schéma de système à pile à combustible	16
	Figure 2 – Schéma des symboles	32
	Figure 3 – Graphique du processus de fonctionnement du système à pile à combustible	78
	Figure 4 – Taux de réponse de puissance.....	80
	Figure 5 – Taux de réponse à 90 %	82
	Tableau 1 – Symboles	28
	Tableau 2 – Élément d'essai et classification d'essai	36
	Tableau 3 – Élément d'essai et statut du système.....	60

8.1.3	Maximum permissible variation in steady-state operating conditions	63
8.1.4	Test operating procedure	65
8.2	Duration of test and frequency of readings	65
8.3	Computation of results	65
8.3.1	Electrical power	65
8.3.2	Fuel consumption	67
8.3.3	Calculation of fuel energy	69
8.3.4	Oxidant (air) consumption	71
8.3.5	Calculation of oxidant (air) energy	73
8.3.6	Electrical efficiency	73
8.3.7	Heat recovery efficiency	75
8.3.8	Overall energy efficiency	77
8.3.9	Power and thermal response characteristics	77
8.3.10	Start-up and shutdown characteristics	99
8.3.11	Purge gas consumption	101
8.3.12	Water consumption	101
8.3.13	Waste heat	101
8.3.14	Exhaust gas emission	103
8.3.15	Calculation of emission production	103
8.3.16	Audible noise level	103
8.3.17	Vibration level	103
8.3.18	Discharge water quality	105
9	Test reports	107
9.1	General	107
9.2	Title page	107
9.3	Table of contents	107
9.4	Summary report	107
9.5	Detailed report	107
9.6	Full report	109
	Annex A (normative) Guidance for uncertainty analysis	111
	Annex B (normative) Calculation of fuel heating value	141
	Annex C (normative) Reference gas	147
	Bibliography	151
	Figure 1 – Fuel cell power system diagram	17
	Figure 2 – Symbol diagram	33
	Figure 3 – Operating process chart of fuel cell power system	79
	Figure 4 – Power response time ramp rates	81
	Figure 5 – 90 % response time ramp rates	83
	Table 1 – Symbols	29
	Table 2 – Test item and test classification	37
	Table 3 – Test item and system status	61

Tableau 4 – Variations maximales admissibles dans les conditions de fonctionnement d'essai	62
Tableau 5 – Facteurs de correction du niveau de vibrations.....	104
Tableau A.1 – Résumé des paramètres de mesure et de leurs valeurs nominales.....	120
Tableau A.2 – Valeurs nominales des résultats de calcul.....	120
Tableau A.3 – Sources d'erreurs élémentaires pour les différents paramètres	122
Tableau A.4 – Incertitude systématique absolue (B_i) et incertitude aléatoire absolue ($2S_{xi}$)	126
Tableau A.5 – Coefficients de sensibilité pour le paramètre P_i	130
Tableau A.6 – Incertitude systématique B_R et incertitude aléatoire propagée $2S_p$	132
Tableau A.7 – Incertitude absolue totale du résultat U_{R95} et incertitude en pourcentage de U_{R95} du rendement électrique	136
Tableau B.1 – Pouvoirs calorifiques des composants des gaz naturels dans différentes conditions de référence de combustion pour le gaz parfait.....	140
Tableau C.1 – Gaz de référence pour le gaz naturel	148
Tableau C.2 – Gaz de référence pour le gaz propane	148

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62282-3-2:2006

Table 4 – Maximum permissible variations in test operating conditions	63
Table 5 – Vibration correction factors.....	105
Table A.1 – Summary of measurement parameters and their nominal values	121
Table A.2 – Nominal values of the calculation results.....	121
Table A.3 – Elemental error sources for the various parameters	123
Table A.4 – Absolute systematic uncertainty (B_i) and absolute random uncertainty ($2S_{xi}$).....	127
Table A.5 – Sensitivity coefficients for the parameter P_i	131
Table A.6 – Propagated systematic uncertainty B_R and random uncertainty $2S_R$	133
Table A.7 – Total absolute uncertainty of the result U_{R95} and per cent uncertainty of U_{R95} of electrical efficiency.....	137
Table B.1 – Heating values for components of natural gases at various combustion reference conditions for ideal gas	141
Table C.1 – Reference gas for natural gas	149
Table C.2 – Reference gas for propane gas	149

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 3-2: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Méthodes d'essai des performances

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 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'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les normes internationales de la CEI dans leurs normes 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 62282-3-2 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
105/103/FDIS	105/108/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 3-2: Stationary fuel cell power systems –
Performance test methods****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 62282-3-2 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
105/103/FDIS	105/108/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, sous le titre général: *Technologies des piles à combustible*:

- Partie 1: Terminologie
- Partie 2: Modules à piles à combustible
- Part 3-1: Stationary fuel cell power systems – Safety (à l'étude)
- Part 3-2: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Méthodes d'essai des performances
- Part 3-3: Stationary fuel cell power systems – Installation (à l'étude)
- Part 4: Fuel cell systems for propulsion and auxiliary power units (à l'étude)
- Part 5: Portable fuel cell appliances – Safety and performance requirements (à l'étude)
- Part 6-1: Micro fuel cell power systems – Safety (à l'étude)
- Part 6-2: Micro fuel cell power systems – Performance (à l'étude)
- Part 6-3: Micro fuel cell power systems – Interchangeability (à l'étude)

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.

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

- Part 1: Terminology
- Part 2: Fuel cell modules
- Part 3-1: Stationary fuel cell power systems – Safety (under consideration)
- Part 3-2: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods
- Part 3-3: Stationary fuel cell power systems – Installation (under consideration)
- Part 4: Fuel cell systems for propulsion and auxiliary power units (under consideration)
- Part 5: Portable fuel cell appliances – Safety and performance requirements (under consideration)
- Part 6-1: Micro fuel cell power systems – Safety (under consideration)
- Part 6-2: Micro fuel cell power systems – Performance (under consideration)
- Part 6-3: Micro fuel cell power systems – Interchangeability (under consideration)

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.

INTRODUCTION

La présente partie de la CEI 62282 décrit la manière de mesurer les performances des systèmes à piles à combustible stationnaires pour les applications résidentielles, commerciales, agricoles et industrielles. Les types de piles à combustible suivants sont pris en compte: piles à combustible alcalines (AFC), piles à combustible à acide phosphorique (PAFC), piles à combustible à électrolyte polymère (PEFC), piles à combustible à carbonates fondus (MCFC) et piles à combustible à oxyde solide (SOFC).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62282-3-2:2006

Withdrawn

INTRODUCTION

This part of IEC 62282 describes how to measure the performance of stationary fuel cell power systems for residential, commercial, agricultural and industrial applications. The following fuel cell types have been considered: Alkaline Fuel Cells (AFC), Phosphoric Acid Fuel Cells (PAFC), Polymer Electrolyte Fuel Cells (PEFC), Molten Carbonate Fuel Cells (MCFC) and Solid Oxide Fuel Cells (SOFC).

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 62282-3-2:2006

Withdrawing

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 3-2: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Méthodes d'essai des performances

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62282 couvre les aspects de fonctionnement et d'environnement des performances des systèmes à piles à combustible stationnaires. Les méthodes d'essai s'appliquent comme suit:

- puissance de sortie dans des conditions de fonctionnement spécifiées y compris les conditions transitoires;
- rendement électrique et thermique dans des conditions de fonctionnement spécifiées;
- caractéristiques d'environnement, par exemple, émissions de gaz, bruit, etc. dans des conditions de fonctionnement spécifiées y compris les conditions transitoires..

Les aspects de Compatibilité Electromagnétique (CEM) ne sont pas traités dans la présente partie de la CEI 62282.

Les systèmes à piles à combustible peuvent avoir différents sous-systèmes en fonction des types de piles et d'applications et ils subissent différents flux de matières et d'énergie en entrée et en sortie. Toutefois, un schéma commun de système et de ses limites a été défini pour l'évaluation du système à pile à combustible (voir Figure 1). Les conditions suivantes sont prises en compte pour déterminer la limite d'essai du système à pile à combustible.

- Tous les systèmes de récupération d'énergie sont inclus dans les limites de l'essai.
- Le calcul du pouvoir calorifique du combustible entrant (tel que le gaz naturel, le propane et l'hydrogène pur, etc.) est fondé sur les conditions du combustible à la limite du système de pile à combustible.

Cette norme ne prend pas en compte les entrées ou sorties de puissance mécanique ou d'énergie mécanique. Les systèmes mécaniques nécessaires au fonctionnement des piles à combustible (à savoir ventilation ou micro-turbines ou compresseurs) seront inclus dans les limites d'essai. La mesure directe de ces systèmes mécaniques à l'intérieur de la limite d'essai n'est pas exigée; toutefois, leurs effets seront inclus dans le fonctionnement du système à pile à combustible. Des mesures et des calculs supplémentaires sont nécessaires si la puissance mécanique et l'énergie mécanique dépassent les limites d'essai.

FUEL CELL TECHNOLOGIES –

Part 3-2: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods

1 Scope

This part of IEC 62282 covers operational and environmental aspects of the stationary fuel cell power systems performance. The test methods apply as follows:

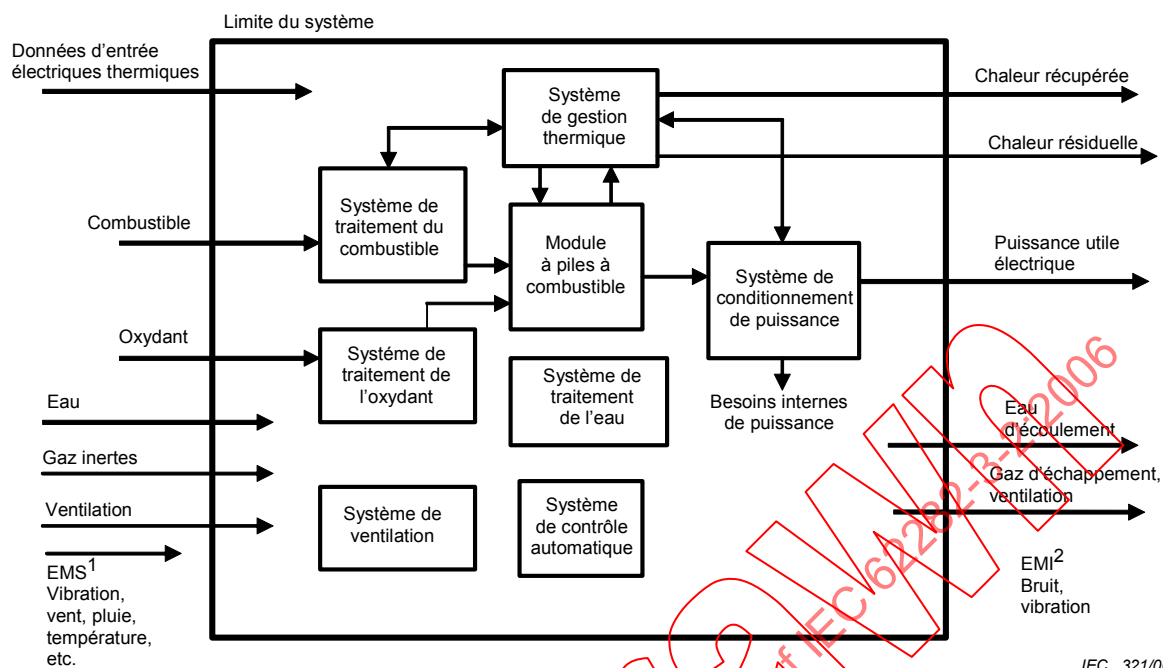
- power output under specified operating and transient conditions;
- electrical and thermal efficiency under specified operating conditions;
- environmental characteristics; for example, gas emissions, noise, etc. under specified operating and transient conditions.

Coverage for Electromagnetic Compatibility (EMC) is not provided in this part of IEC 62282.

Fuel cell power systems may have different subsystems depending upon types of fuel cell and applications, and they have different streams of material and energy into and out of them. However, a common system diagram and boundary has been defined for evaluation of the fuel cell power system (see Figure 1). The following conditions are considered in order to determine the test boundary of the fuel cell power system.

- All energy recovery systems are included within the test boundary.
- Calculation of the heating value of the input fuel (such as natural gas, propane gas, and pure hydrogen gas, etc.) is based on the conditions of the fuel at the boundary of the fuel cell power system.

This standard does not take into account mechanical (shaft) power or mechanical energy inputs or outputs. Mechanical systems required for fuel cell operation (i.e. ventilation or micro-turbines or compressors) will be included inside the test boundary. The direct measurement of these mechanical systems inside the test boundary is not required; however, their effects will be included in the fuel cell power system operation. If mechanical (shaft) power and energy cross the test boundary, additional measurements and calculations are necessary.



IEC 321/06

Légende



Système à pile à combustible avec sous-systèmes. L'interface peut être conceptuelle ou fonctionnelle, en lieu et place d'un matériel tel qu'un boîtier de puissance.



Sous-systèmes : module à pile à combustible, système de traitement du combustible, etc. Ces configurations de sous-systèmes dépendent du type de combustible, du type de pile ou de système de pile à combustible.



Les points d'interface à la limite du système où effectuer les mesures pour obtenir les données nécessaires aux calculs.

¹ EMS: Susceptibilité Electromagnétique

² EMI: Interférence Electromagnétique

Figure 1 – Schéma de système à pile à combustible

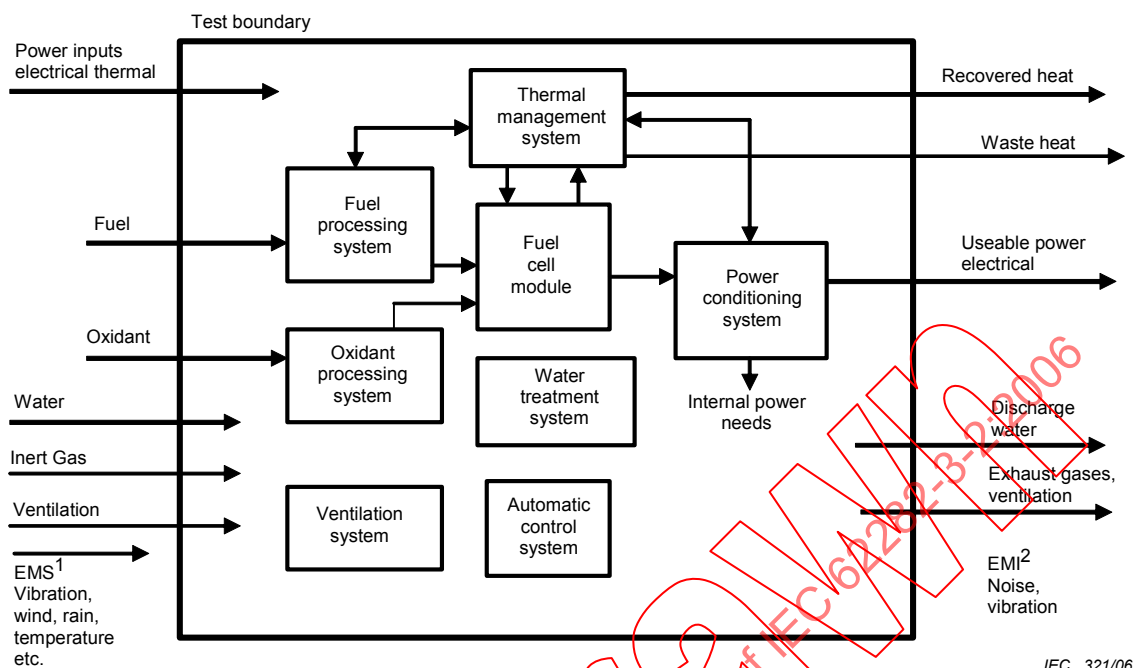
2 Références normatives

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 60051 (toutes les parties), *Appareils mesureurs électriques indicateurs analogiques à action directe et leurs accessoires*

CEI 60359:2001, *Appareils de mesure électriques et électroniques – Expression des performances*

CEI 60688:1992, *Transducteurs électriques de mesure convertissant les grandeurs électriques alternatives en signaux analogiques ou numériques*



Key



: **Fuel cell power system** including subsystems. The interface is defined as a conceptual or functional one instead of hardware such as a power package.



: **Subsystems**; fuel cell module, fuel processor, etc. These subsystem configurations depend on the kind of fuel, type of fuel cell or system.



: **The interface points** in the boundary to be measured for calculation data.

¹ EMS: Electromagnetic Susceptibility

² Electromagnetic Interference

Figure 1 – Fuel cell power system diagram

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 60051 (all parts), *Direct acting indicating analogue electrical measuring instruments and their accessories*

IEC 60359:2001, *Electrical and electronic equipment – Expression of performance*

IEC 60688:1992, *Electrical measuring transducers for converting a.c. electrical quantities to analogue or digital signals*

CEI 61000-4-7, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-7: Techniques d'essai et de mesure – Guide général relatif aux mesures d'harmoniques et d'interharmoniques, ainsi qu'à l'appareillage de mesure, applicable aux réseaux d'alimentation et aux appareils qui y sont raccordés*

CEI 61000-4-13, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-13: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité basse fréquence aux harmoniques et interharmoniques incluant les signaux transmis sur le réseau électrique alternatif*

CEI 61028:1991, *Appareils électriques de mesure – Enregistreurs X-Y*

CEI 61143 (toutes les parties), *Appareils électriques de mesure- Enregistreurs X-t*

CEI 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

CEI 61672-2, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 2: Essais d'évaluation d'un modèle*

CEI 62052-11, *Equipement de comptage de l'électricité (CA) – Prescriptions générales, essais et conditions d'essai – Partie 11: Equipement de comptage*

CEI 62053-22, *Equipement de comptage de l'électricité (c.a.) – Prescriptions particulières – Partie 22: Compteurs statiques d'énergie active (classes 0,2 S et 0,5 S)*

ISO 3648, *Carburants aviation – Estimation de l'énergie spécifique inférieure*

ISO 3744:1994, *Acoustique – Détermination des niveaux de puissance acoustique émis par les sources de bruit à partir de la pression acoustique – Méthode d'expertise dans des conditions approchant celles du champ libre sur plan réfléchissant*

ISO 4677-1, *Atmosphères de conditionnement et d'essai – Détermination de l'humidité relative – Partie 1: Méthode utilisant un psychromètre à aspiration*

ISO 4677-2, *Atmosphères de conditionnement et d'essai – Détermination de l'humidité relative – Partie 2: Méthode utilisant un psychromètre fronde*

ISO 5167 (toutes les parties), *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire*

ISO 5348, *Vibrations et chocs mécaniques – Fixation mécanique des accéléromètres*

ISO 6060, *Qualité de l'eau – Détermination de la demande chimique en oxygène*

ISO 6326 (toutes les parties), *Gaz naturel – Détermination des composés soufrés*

ISO 6974 (toutes les parties), *Gaz naturel – Détermination de la composition avec une incertitude définie par chromatographie en phase gazeuse*

ISO 6975 (toutes les parties), *Gaz naturel – Analyse étendue – Méthode par chromatographie en phase gazeuse*

ISO 6976, *Gaz naturel – Calcul du pouvoir calorifique, de la masse volumique, de la densité relative et de l'indice de Wobbe à partir de la composition*

IEC 61000-4-7, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-7: Testing and measurement techniques – General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto*

IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests*

IEC 61028:1991, *Electrical measuring instruments – X-Y recorders*

IEC 61143 (all parts), *Electrical measuring instruments – X-t recorders*

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 61672-2, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 2: Pattern evaluation tests*

IEC 62052-11, *Electricity metering equipment (AC) – General requirements, tests and test conditions – Part 11: Metering equipment*

IEC 62053-22, *Electricity metering equipment (a.c.) – Particular Requirements – Part 22: Static meters for active energy (classes 0,2 S and 0,5 S)*

ISO 3648, *Aviation fuels – Estimation of net specific energy*

ISO 3744:1994, *Acoustics – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane*

ISO 4677-1, *Atmospheres for conditioning and testing – Determination of relative humidity – Part 1: Aspirated psychrometer method*

ISO 4677-2, *Atmospheres for conditioning and testing – Determination of relative humidity – Part 2: Whirling psychrometer method*

ISO 5167 (all parts), *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full*

ISO 5348, *Mechanical vibration and shock – Mechanical mounting of accelerometers*

ISO 6060, *Water quality – Determination of the chemical oxygen demand*

ISO 6326 (all parts), *Natural gas – Determination of sulfur compounds*

ISO 6974 (all parts), *Natural gas – Determination of composition with defined uncertainty by gas chromatography*

ISO 6975 (all parts), *Natural gas – Extended analysis – Gas-Chromatographic method*

ISO 6976, *Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*

ISO 7934, *Émissions de sources fixes – Détermination de la concentration en masse de dioxyde de soufre – Méthode au peroxyde d'hydrogène/perchlorate de baryum/Thorin*

ISO 7935, *Émissions de sources fixes – Détermination de la concentration en masse de dioxyde de soufre – Caractéristiques de performance des méthodes de mesurage automatiques (disponible en anglais seulement)*

ISO 8217, *Produits pétroliers – Combustibles (classe F) – Spécifications des combustibles pour la marine*

ISO 9096, *Émissions de sources fixes – Détermination manuelle de la concentration en masse de poussières*

ISO 10101 (toutes les parties), *Gaz naturel – Dosage de l'eau par la méthode de Karl Fischer*

ISO 10396, *Émissions de sources fixes – Échantillonnage pour la détermination automatique des concentrations de gaz*

ISO 10523, *Qualité de l'eau – Détermination du pH*

ISO 10707, *Qualité de l'eau – Évaluation en milieu aqueux de la biodégradabilité aérobie "ultime" des composés organiques – Méthode par analyse de la demande biochimique en oxygène (essai en fiole fermée)*

ISO 10780, *Émissions de sources fixes – Mesurage de la vitesse et du débit-volume des courants gazeux dans des conduites*

ISO 10849, *Émissions de sources fixes – Détermination de la concentration en masse des oxydes d'azote – Caractéristiques de performance des systèmes de mesurage automatiques (disponible en anglais seulement)*

ISO 11042-1, *Turbines à gaz – Émissions de gaz d'échappement – Partie 1: Mesurage et évaluation*

ISO 11042-2, *Turbines à gaz – Émissions de gaz d'échappement – Partie 2: Surveillance automatisée des émissions*

ISO 11541, *Gaz naturel – Dosage de l'eau à haute pression*

ISO 11564, *Émissions de sources fixes – Détermination de la concentration en masse des oxydes d'azote – Méthode photométrique à la naphtyléthylène diamine (NEDA)*

ISO 14687:1999, *Carburant hydrogène – Spécification de produit Cor 2001*

ISO 16622, *Météorologie – Anémomètres/thermomètres soniques – Méthodes d'essai d'acceptation pour les mesurages de la vitesse moyenne du vent*

ASTM D4809-00, *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)*

3 Termes, définitions et symboles

3.1 Termes et définitions

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

ISO 7934, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Hydrogen peroxide/barium perchlorate/thorin method*

ISO 7935, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of sulfur dioxide – Performance characteristics of automated measuring methods*

ISO 8217, *Petroleum products – Fuel (class F) – Specifications of marine fuels*

ISO 9096, *Stationary source emissions – Manual determination of mass concentration of particulate matter*

ISO 10101 (all parts), *Natural gas – Determination of water by the Karl Fisher Method*

ISO 10396, *Stationary source emissions – Sampling for the automated determination of gas concentrations*

ISO 10523, *Water quality – Determination of pH*

ISO 10707, *Water quality – Evaluation in an aqueous medium of the "ultimate" aerobic biodegradability of organic compounds – Method by analysis of biochemical oxygen demand (closed bottle test)*

ISO 10780, *Stationary source emissions – Measurement of velocity and volume flowrate of gas streams in ducts*

ISO 10849, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Performance characteristics of automated measuring systems*

ISO 11042-1, *Gas turbines – Exhaust gas emission – Part 1: Measurement and evaluation*

ISO 11042-2, *Gas turbines – Exhaust gas emission – Part 2: Automated emission monitoring*

ISO 11541, *Natural gas – Determination of water content at high pressure*

ISO 11564, *Stationary source emissions – Determination of the mass concentration of nitrogen oxides – Naphthylethylenediamine photometric method*

ISO 14687:1999, *Hydrogen fuel – Product specification*

ISO 16622, *Meteorology – Sonic anemometer/thermometers – Acceptance test methods for mean wind measurements*

ASTM D4809-00, *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter (Precision Method)*

3 Terms, definitions and symbols

3.1 Terms and definitions

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

3.1.1

système à pile à combustible

système qui, par un procédé électrochimique, convertit l'énergie chimique en énergie électrique (courant continu ou courant alternatif) et en énergie thermique

NOTE Le système à pile à combustible est composé de tous les sous-systèmes suivants ou de certains d'entre eux: un ou plusieurs modules à piles à combustible, un système de traitement du combustible, un système de conditionnement de puissance, un système de gestion thermique et d'autres sous-systèmes nécessaires. Un système générique de pile à combustible est représenté à la Figure 1.

3.1.2

point d'interface

point de mesure aux limites d'un système à pile à combustible auquel entrent ou sortent des matières et/ou de l'énergie

NOTE Ces limites sont spécialement choisies pour mesurer correctement les performances du système. Il convient que les limites et points d'interface du système à pile à combustible (Figure 1) soient déterminées d'un commun accord entre les parties, si nécessaire.

3.1.3

charge parasite

puissance nécessaire pour les machines auxiliaires, les systèmes de commande et les équipements nécessaires au fonctionnement d'un système à pile à combustible

3.1.4

consommation de combustible

quantité de gaz naturel, d'hydrogène, de méthanol, de gaz de pétrole liquéfié, de propane, de butane, ou de tous autres matériaux source d'énergie, consommée par le système à pile à combustible dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.1.5

consommation d'oxydant

quantité d'oxygène consommée à l'intérieur du système à pile à combustible dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.1.6

rendement électrique (d'un système à pile à combustible)

rapport de la valeur nette de la puissance électrique en sortie d'un système à pile à combustible à un instant donné sur la puissance totale du combustible et de l'oxydant qui alimentent le dit système au même instant

NOTE Si la puissance électrique est fournie à partir d'une source extérieure à une charge parasite d'un système à pile à combustible, cette puissance électrique est déduite de la puissance électrique en sortie du système à pile à combustible.

3.1.7

chaleur récupérée (d'un système à pile à combustible)

énergie thermique récupérée en sortie d'un système à pile à combustible

NOTE La chaleur récupérée est mesurée en déterminant au point d'interface du système à pile à combustible les températures et les débits des fluides (eau, vapeur, air ou huile, etc.) qui entrent dans, et qui sortent du sous-système de récupération de la chaleur.

3.1.8

rendement de l'énergie thermique récupérable (d'un système à pile à combustible)

rapport de la puissance thermique récupérée à un instant donné en sortie d'un système à pile à combustible sur la puissance totale apportée par le combustible et l'oxydant au même instant

3.1.9

rendement énergétique total (d'un système à pile à combustible)

somme du rendement électrique et du rendement de l'énergie thermique récupérable

3.1.1**fuel cell power system**

system which electrochemically converts chemical energy to electric energy (direct current or alternating current electricity) and thermal energy

NOTE The fuel cell power system is composed of all or some of the following subsystems: one or more fuel cell modules, a fuel processing system, a power conditioning system, a thermal management system, and other subsystems needed. A generic fuel cell power system is shown in Figure 1.

3.1.2**interface point**

measurement point at the boundary of a fuel cell power system at which material and/or energy either enters or leaves

NOTE This boundary is intentionally selected to accurately measure the performance of the system. If necessary, the boundary or the interface points of the fuel cell power system (Figure 1) to be assessed should be determined by agreement of the parties.

3.1.3**parasitic load**

power required for auxiliary machines, control systems and equipment necessary to operate a fuel cell power system

3.1.4**fuel consumption**

amount of natural gas, hydrogen, methanol, liquid petroleum gas, propane, butane, or other energy source material consumed by the fuel cell power system during specified operating conditions

3.1.5**oxidant consumption**

amount of oxygen consumed inside the fuel cell module during specified operating conditions

3.1.6**electrical efficiency (of a fuel cell power system)**

ratio of net electric output power of a fuel-cell power system at a given instant to the total power of the fuel and oxidant fed to the same fuel-cell power system at the same instant

NOTE If electrical power is supplied to a parasitic load of a fuel cell power system from an external source, this electrical power is deducted from the electrical power output of the fuel cell power system.

3.1.7**recovered heat (of a fuel cell power system)**

thermal energy recuperated from the fuel cell power system

NOTE The recovered heat is measured by determining the temperatures and flow rates of fluid media (water, steam, air or oil, etc.), entering and leaving the thermal energy recovery subsystem at the interface point of the fuel cell power system.

3.1.8**heat recovery efficiency (of a fuel cell power system)**

ratio of thermal power recovered at a given instant from a fuel cell power system to the total power of the fuel and oxidant at the same instant

3.1.9**overall energy efficiency (of fuel cell power system)**

sum of the electrical efficiency and heat recovery efficiency

3.1.10

état froid

état d'un système à pile à combustible, à température ambiante, lorsqu'il ne reçoit pas d'énergie et qu'il n'en produit pas

3.1.11

état de stockage

système à pile à combustible qui n'est pas opérationnel et qui peut nécessiter, sous certaines conditions spécifiées par le fabricant, un apport d'énergie thermique ou électrique pour éviter la dégradation des composants

3.1.12

état de veille

système à pile à combustible à sa température de fonctionnement et dans un mode opérationnel tel qu'il est capable d'être rapidement mis dans un mode opérationnel délivrant une puissance électrique nette

3.1.13

temps de démarrage

temps nécessaire pour passer de l'état froid à une production nette positive de puissance électrique pour les systèmes qui ne nécessitent pas de puissance extérieure pour maintenir un état de stockage. Pour les systèmes qui nécessitent une puissance extérieure pour maintenir un état de stockage, il s'agit du temps nécessaire pour passer de l'état de stockage à une production nette positive de puissance électrique

3.1.14

temps d'arrêt

temps qui s'écoule entre le moment où la charge est retirée à la puissance de consigne et le moment où l'arrêt total, tel que spécifié par le fabricant, est atteint

NOTE L'opération d'arrêt fait l'objet d'une classification en deux types: arrêt normal et arrêt d'urgence.

3.1.15

temps de réponse de puissance

temps qui s'écoule entre le moment où débute un changement de la valeur de sortie de puissance électrique ou thermique et le moment où la puissance électrique ou thermique atteint la valeur de consigne, en régime continu dans les limites de tolérance

3.1.16

temps de réponse de puissance à 90 %

temps qui s'écoule entre le moment où débute un changement de la valeur de sortie de puissance électrique ou thermique et le moment où la puissance électrique ou thermique atteint 90 % de la valeur désirée

3.1.17

temps de réponse à la puissance de consigne

temps qui s'écoule entre la demande de changement de consigne de puissance et le premier moment où la puissance délivrée atteint la nouvelle consigne

3.1.18

énergie de démarrage

somme de l'énergie électrique, thermique et/ou chimique (combustible) demandée au cours du démarrage

3.1.10**cold state**

condition of a fuel cell power system at ambient temperature with no power input or output

3.1.11**storage state**

fuel cell power system which is non-operational and possibly requiring, under conditions specified by the manufacturer, the input of thermal or electric energy in order to prevent deterioration of the components

3.1.12**standby state**

fuel cell power system which is at operating temperature and in an operational mode from which the fuel cell power system is capable of being promptly switched to an operational mode with net electrical power output

3.1.13**start-up time**

duration required for the transition from cold state to net electrical power output for systems that do not require external power to maintain a storage state. For systems that require external power to maintain a storage state, this is the duration required for transitioning from storage state to net electrical power output

3.1.14**shutdown time**

duration between the instant when the load is removed at rated power and the instant when the shutdown is completed as specified by the manufacturer

NOTE The shutdown operation is classified into types: normal shutdown and emergency shutdown.

3.1.15**power response time**

duration between the instant of initiating a change of electrical or thermal power output and when the electrical or thermal output power attains the steady state set value within tolerance

3.1.16**90 % power response time**

duration between the instant of initiating a change of electrical or thermal power output and when the electrical or thermal output power attains 90 % of the desired value

3.1.17**response time to rated power**

duration between the instant when the step load change to rated power is initiated and the first instant when this value is delivered

3.1.18**start-up energy**

sum of electrical, thermal, and/or chemical (fuel) energy required during the start-up time

3.1.19

caractéristiques d'émission

concentrations totale en oxydes de soufre (SO_x), en oxydes d'azote (NO_x), en dioxyde de carbone (CO_2), en monoxyde de carbone (CO), en composés d'hydrocarbonés et en particules dans les gaz d'échappement

NOTE Mesurées au point de décharge dans l'environnement comme cela est décrit dans la présente partie de la CEI 62282.

3.1.20

niveau de bruit audible

niveau de pression acoustique produit par le système à pile à combustible mesuré à une distance spécifiée et dans tous les modes de fonctionnement

NOTE Exprimé en décibels (dB) et mesuré comme cela est décrit dans ce document.

3.1.21

niveau de bruit de fond

niveau de pression acoustique d'un bruit ambiant au point de mesure

NOTE Cette mesure est prise comme cela est décrit dans le présent document avec le système à pile à combustible à l'état froid.

3.1.22

niveau de vibration

valeur maximale de mesure des oscillations mécaniques produites par le système à pile à combustible et dans tous les modes de fonctionnement

NOTE Cette valeur est exprimée en décibels (dB) comme cela est décrit dans le présent document.

3.1.23

niveau de vibration de fond

oscillations mécaniques causées par l'environnement qui affectent les valeurs obtenues de niveau de vibration

NOTE Le niveau de vibration de fond est mesuré avec le système à pile à combustible à l'état froid.

3.1.24

eau d'écoulement

eau qui est rejetée par le système à pile à combustible

NOTE L'eau d'écoulement ne fait pas partie du système de récupération de la chaleur.

3.1.25

consommation d'eau

eau fournie (de l'extérieur des limites du système) au système qui ne fait pas partie du remplissage initial

3.1.26

chaleur résiduelle

énergie thermique libérée et non récupérée

3.1.27

session d'essai

durée pendant laquelle les points de données nécessaires au calcul des résultats d'essai sont enregistrées

NOTE Les résultats consignés sont calculés à partir de ces points de données.

3.1.28

consommation de gaz de purge

quantité de gaz inerte ou de gaz de dilution fourni au système à pile à combustible dans des conditions spécifiées afin de le préparer à un fonctionnement ou à un arrêt

3.1.19**emission characteristics**

concentrations of total sulfur oxides (SO_x), total nitrogen oxides (NO_x), carbon dioxide (CO_2), carbon monoxide (CO), total hydrocarbon compounds and particulate in the exhaust gas

NOTE Measured at the point of discharge to the environment as described in the present part of IEC 62282.

3.1.20**audible noise level**

sound pressure level produced by the fuel cell power system measured at a specified distance in all operation modes

NOTE Expressed as decibels (dB) and measured as described in this document.

3.1.21**background noise level**

sound pressure level of ambient noise at the measurement point

NOTE This measurement is taken as described in this document with the fuel cell power system in the cold state.

3.1.22**vibration level**

maximum measurement value of mechanical oscillations produced by the fuel cell power system during operation

NOTE This is a value expressed as decibels (dB) as described in this document.

3.1.23**background vibration level**

mechanical oscillations caused by the environment that affect vibration level readings

NOTE Background vibration is measured with the fuel cell power system in the cold state.

3.1.24**discharge water**

water that is discharged from the fuel cell power system

NOTE Discharge water does not constitute part of a thermal recovery system.

3.1.25**water consumption**

water supplied (from outside the test boundary) to the power system other than initial fill

3.1.26**waste heat**

thermal energy released and not recovered

3.1.27**test run**

time interval when data points required for the computation of test results are recorded

NOTE Reported results are computed based on these data points.

3.1.28**purge gas consumption**

amount of inert gas or dilution gas supplied to the fuel cell power system during specific conditions to make it ready for operation or shutdown

3.2 Symboles

Les symboles utilisés dans ce document sont donnés au Tableau 1 avec leur signification et les unités appropriées.

Tableau 1 – Symboles

Symbole	Définition	Unité
q_v	Débit volumétrique	
q_{vf}	Débit volumétrique de combustible à la température t_f et à la pression p_f	m ³ /s
q_{vf0}	Débit volumétrique de combustible aux conditions de référence	m ³ /s
q_{ve}	Débit volumétrique de gaz d'échappement à la température et à la pression de gaz d'échappement	m ³ /s
q_{va}	Débit volumétrique d'air à la température t_a et à la pression p_a	m ³ /s
q_{va0}	Débit volumétrique d'air aux conditions de référence	m ³ /s
q_{vw}	Débit volumétrique d'eau à la température et à la pression de fonctionnement	m ³ /s
q_m	Débit massique	
q_{mf}	Débit massique de combustible	kg/s
q_{ma}	Débit massique d'air	kg/s
q_{mHR1}	Débit massique de fluide d'énergie thermique récupérable au point d'interface de la sortie de fluide	kg/s
q_{mHR2}	Débit massique de fluide d'énergie thermique récupérable au point d'interface de l'entrée de fluide (flux de retour vers le système à pile à combustible)	kg/s
q_{me}	Débit massique d'émission	kg/s
P	Puissance électrique	
P_{out}	Puissance électrique active en sortie (y compris courant continu)	W, kW
P_{in}	Puissance électrique active en entrée du système à pile à combustible provenant d'une source extérieure (y compris courant continu)	W, kW
p	Pression	
p_0	Pression de référence	kPa
p_f	Pression du combustible	kPa
p_a	Pression de l'oxydant (air)	kPa
p_{HR1}	Pression de la sortie du fluide d'énergie thermique récupérable	kPa
p_{HR2}	Pression de l'entrée de fluide d'énergie thermique récupérable	kPa
t	Température	
t_0	Température de référence	K
t_f	Température du combustible	K
t_a	Température de l'oxydant (air)	K
t_{HR1}	Température de la sortie du fluide d'énergie thermique récupérable	K
t_{HR2}	Température de l'entrée du fluide d'énergie thermique récupérable	K
ρ	Masse volumique	
ρ_{f0}	Masse volumique du combustible dans les conditions de référence	kg/m ³
ρ_f	Masse volumique du combustible liquide à la température t_f	kg/m ³
ρ_{a0}	Masse volumique de l'oxydant (air) dans les conditions de référence	kg/m ³
ρ_e	Concentration en masse des émissions à la température et à la pression des gaz d'échappement	kg/m ³
x_j	Rapport molaire du composant j	--

3.2 Symbols

The symbols and their meanings used in this part of IEC 62282 are given in Table 1, with the appropriate units.

Table 1 – Symbols

Symbol	Definition	Unit
q_v	Volumetric flow rate	
q_{vf}	Volumetric flow rate of fuel at temperature t_f and pressure p_f	m ³ /s
q_{vf0}	Volumetric flow rate of fuel at the reference conditions	m ³ /s
q_{ve}	Volumetric flow rate of exhaust gas at exhaust gas temperature and pressure	m ³ /s
q_{va}	Volumetric flow rate of air at temperature t_a and pressure p_a	m ³ /s
q_{va0}	Volumetric flow rate of air at the reference conditions	m ³ /s
q_{vw}	Volumetric flow rate of water at process temperature and pressure	m ³ /s
q_m	Mass flow rate	
q_{mf}	Mass flow rate of fuel	kg/s
q_{ma}	Mass flow rate of air	kg/s
q_{mHR1}	Mass flow rate of heat recovery fluid at the interface point of fluid output	kg/s
q_{mHR2}	Mass flow rate of heat recovery fluid at the interface point of fluid input (return stream to the fuel cell power system)	kg/s
q_{me}	Mass flow rate of emission	kg/s
P	Electrical power	
P_{out}	Active power of electrical power output (including direct current)	W, kW
P_{in}	Active power of electrical power input from external power source(s) (including direct current)	W, kW
p	Pressure	
p_0	Reference pressure	kPa
p_f	Pressure of fuel	kPa
p_a	Pressure of oxidant (air)	kPa
p_{HR1}	Pressure of heat recovery fluid output	kPa
p_{HR2}	Pressure of heat recovery fluid input	kPa
t	Temperature	
t_0	Reference temperature	K
t_f	Temperature of fuel	K
t_a	Temperature of oxidant (air)	K
t_{HR1}	Temperature of heat recovery fluid output	K
t_{HR2}	Temperature of heat recovery fluid input	K
ρ	Density	
ρ_{f0}	Density of fuel at the reference conditions	kg/m ³
ρ_f	Density of liquid fuel at temperature t_f	kg/m ³
ρ_{a0}	Density of oxidant (air) at the reference conditions	kg/m ³
ρ_e	Mass concentration of emissions at exhaust gas temperature and pressure	kg/m ³
x_j	Molar ratio of component j	--

Symbole	Définition	Unité
Q	Pouvoir calorifique	
Q_{HR}	Valeur de l'énergie thermique récupérée	kJ/s
Q_{fo}	Pouvoir calorifique du combustible dans les conditions de référence	kJ/mol
Q_{fl}	Pouvoir calorifique du combustible en phase liquide	kJ/kg
Q_{foj}	Pouvoir calorifique du composant j	kJ/mol
Q_{WH}	Chaleur résiduelle	kJ/s
H, h	Enthalpie, enthalpie spécifique	
h_{HR1}	Enthalpie de la sortie du fluide d'énergie thermique récupérable	kJ
h_{HR2}	Enthalpie de l'entrée de fluide d'énergie thermique récupérable	kJ
h_{HR1}	Enthalpie spécifique du fluide d'énergie récupérable à la température t_{HR1} et à la pression p_{HR1}	kJ/kg
h_{HR2}	Enthalpie spécifique du fluide d'énergie récupérable à la température t_{HR2} et à la pression p_{HR2}	kJ/kg
h_f	Enthalpie spécifique du combustible à la température t_f	kJ/mol
h_{fo}	Enthalpie spécifique du combustible à la température de référence	kJ/mol
h_a	Enthalpie spécifique de l'oxydant (air) à la température t_f	kJ/mol
h_{ao}	Enthalpie spécifique de l'oxydant (air) à la température de référence	kJ/mol
E	Energie et puissance d'entrée	
E_{fv}	Energie d'entrée du combustible	kJ/m ³
E_{pf}	Energie de pression du combustible	kJ/mol
E_{av}	Energie d'entrée de l'oxydant (air)	kJ/m ³
E_{pa}	Energie de pression de l'oxydant (air)	kJ/mol
Q_{in}	Puissance totale d'entrée fournie par le combustible et l'oxydant	kJ/s
η	Rendement	
η_e	Rendement électrique	%
η_{th}	Rendement de l'énergie thermique récupérable	%
η_{total}	Rendement énergétique total	%
V	Tension	
V_{out}	Voltage électrique en sortie	V, kV
V_{in}	Voltage électrique en entrée	V, kV
I	Courant	
I_{out}	Intensité du courant électrique en sortie	A
I_{in}	Intensité du courant électrique en entrée	A
λ	Facteur de puissance	
λ_{out}	Facteur de puissance électrique en sortie	--
λ_{in}	Facteur de puissance électrique en entrée	--
T, PR, QR	Temps de réponse, Taux de réponse	
T_{up}	– Temps de réponse pour passer de la puissance minimum à la puissance de consigne – Temps de réponse pour passer de la puissance thermique minimum à la puissance thermique de consigne	s
T_{down}	– Temps de réponse pour passer de la puissance de consigne à la puissance minimum – Temps de réponse pour passer de la puissance thermique de consigne à la puissance thermique minimum	s

Symbol	Definition	Unit
Q	Heating value	
Q_{HR}	Value of recovered thermal energy	kJ/s
Q_{fo}	Heating value of fuel at the reference conditions	kJ/mol
Q_{fl}	Heating value of fuel at liquid phase	kJ/kg
Q_{f0j}	Heating value of component j	kJ/mol
Q_{WH}	Waste heat	kJ/s
H, h	Enthalpy, specific enthalpy	
h_{HR1}	Enthalpy of heat recovery fluid output	kJ
h_{HR2}	Enthalpy of heat recovery fluid input	kJ
h_{HR1}	Specific enthalpy of heat recovery fluid at temperature t_{HR1} and at pressure p_{HR1}	kJ/kg
h_{HR2}	Specific enthalpy of heat recovery fluid at temperature t_{HR2} and at pressure p_{HR2}	kJ/kg
h_f	Specific enthalpy of fuel at temperature t_f	kJ/mol
h_{fo}	Specific enthalpy of fuel at the reference temperature	kJ/mol
h_a	Specific enthalpy of oxidant (air) at temperature t_f	kJ/mol
h_{ao}	Specific enthalpy of oxidant (air) at the reference temperature	kJ/mol
E	Input energy and power	
E_{fv}	Input energy of the fuel	kJ/m ³
E_{pf}	Pressure energy of the fuel	kJ/mol
E_{av}	Input energy of the oxidant (air)	kJ/m ³
E_{pa}	Pressure energy of the oxidant (air)	kJ/mol
Q_{in}	Input total power supplied by fuel and oxidant	kJ/s
η	Efficiency	
η_e	Electrical efficiency	%
η_{th}	Heat recovery efficiency	%
η_{total}	Overall energy efficiency	%
V	Voltage	
V_{out}	Voltage of electrical power output	V, kV
V_{in}	Voltage of electrical power input	V, kV
I	Current	
I_{out}	Current of electrical power output	A
I_{in}	Current of electrical power input	A
λ	Power factor	
λ_{out}	Power factor of electrical power output	--
λ_{in}	Power factor of electrical power input	--
T, PR, QR	Response time, Ramp rate	
T_{up}	– Response time required from minimum power to rated power – Response time required from minimum thermal power to rated thermal power	s
T_{down}	– Response time required from rated power to minimum power – Response time required from rated thermal power to minimum thermal power	s

Symbole	Définition	Unité
T_{up90}	– Temps de réponse pour atteindre 90 % de la puissance thermique de consigne lors d'une transitoire montante – Temps de réponse pour atteindre 90 % de la puissance thermique de consigne lors d'une transitoire montante	s
T_{down90}	– Temps de réponse pour atteindre 90 % de la puissance thermique de consigne lors d'une transitoire descendante – Temps de réponse pour atteindre 90 % de la puissance thermique de consigne lors d'une transitoire descendante	s
PR_{rated}	Taux de réponse lors d'une transitoire entre puissance électrique minimum et puissance électrique de consigne	W/s, kW/s
PR_{min}	Taux de réponse lors d'une transitoire entre puissance électrique de consigne et puissance électrique minimum	W/s, kW/s
PR_{up90}	Taux de réponse lors d'une transitoire montante entre puissance électrique minimum et 90 % de la puissance électrique de consigne	W/s, kW/s
PR_{down90}	Taux de réponse lors d'une transitoire descendante entre deux puissances électriques correspondant à 90 % de la différence entre puissance électrique de consigne et puissance électrique minimum	W/s, kW/s
QR_{rated}	Taux de réponse lors d'une transitoire entre puissance thermique minimum et puissance thermique de consigne	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{min}	Taux de réponse lors d'une transitoire entre puissance thermique de consigne et puissance thermique minimum	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{up90}	Taux de réponse lors d'une transitoire montante entre puissance thermique minimum et 90 % de la puissance thermique de consigne	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{down90}	Taux de réponse lors d'une transitoire descendante entre deux puissances thermiques correspondant à 90 % de la différence entre puissance thermique de consigne et puissance thermique minimum	kJ/s/s, W/s, kW/s
NOTE Les symboles principaux d'un système à pile à combustible correspondent à la Figure 2.		

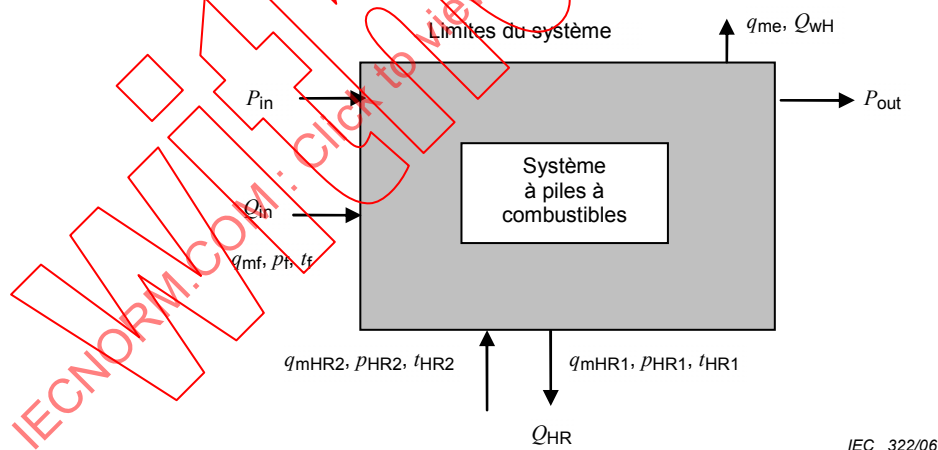


Figure 2 – Schéma des symboles

4 Conditions de référence

4.1 Généralités

Cet Article donne les conditions de référence pour le calcul des résultats d'essai.

Symbol	Definition	Unit
T_{up90}	– Response time required until when power reaches 90 % of the specified upper demand value – Response time required until when thermal power reaches 90 % of the specified upper demand value	s
T_{down90}	– Response time required until when power reaches 90 % of the specified lower demand value – Response time required until when thermal power reaches 90 % of the specified lower demand value	s
PR_{rated}	Ramp rate from minimum to rated power	W/s, kW/s
PR_{min}	Ramp rate from rated to minimum power	W/s, kW/s
PR_{up90}	Ramp rate from minimum electrical power to 90 % of rated electrical power	W/s, kW/s
PR_{down90}	Ramp rate from rated electrical power to a power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated power and minimum power	W/s, kW/s
QR_{rated}	Ramp rate from minimum thermal power to rated thermal power	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{min}	Ramp rate from rated thermal power to minimum thermal power	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{up90}	Ramp rate from minimum thermal power to 90 % of rated thermal power	kJ/s/s, W/s, kW/s
QR_{down90}	Ramp rate from rated thermal power to a thermal power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated thermal power and minimum thermal power	kJ/s/s, W/s, kW/s
NOTE Main symbols in the fuel cell power system correspond to Figure 2.		

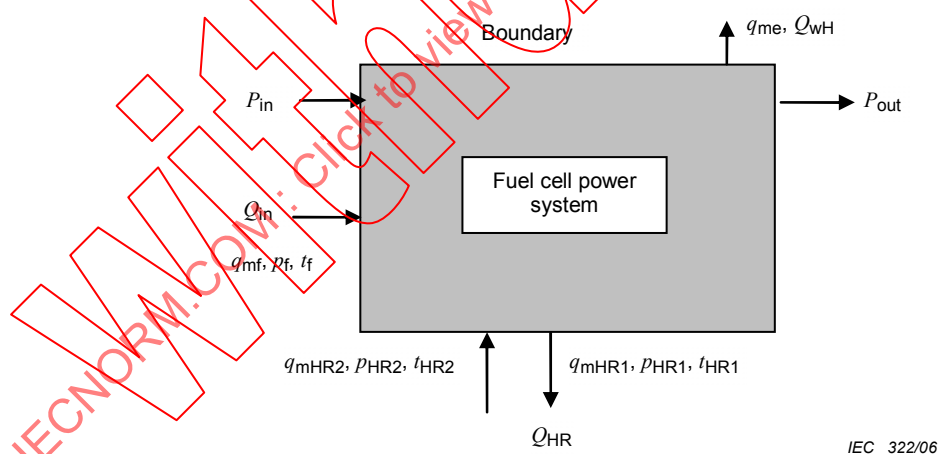


Figure 2 – Symbol diagram

4 Reference conditions

4.1 General

This Clause provides the reference conditions for the computation of the test results.

4.2 Température et pression

Les conditions de référence sont spécifiées ci-dessous:

Température de référence: $t_0 = 288,15 \text{ K (15 °C)}$

Pression de référence: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$

4.3 Base du pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique du combustible est en principe fondé sur le PCI.

$$\eta_e \text{ ou } \eta_{th} = XX \%$$

Dans le cas du PCI, il n'est pas nécessaire d'ajouter le symbole "PCI".

Si le PCS est appliqué, l'abréviation "PCS" doit être ajoutée à la valeur du rendement énergétique comme suit;

$$\eta_e \text{ ou } \eta_{th} = XX \% (\text{PCS})$$

NOTE PCI correspond au Pouvoir Calorifique Inférieur; PCS est le Pouvoir Calorifique Supérieur.

5 Performance et classes d'essai

5.1 Essais de performance

L'évaluation des performances des systèmes à piles à combustible doit être considérée à partir des points de vue suivants:

- Fonctionnement: pour soumettre à l'essai la performance du système en fonctionnement normal ou en fonctionnement transitoire.
- Aspects d'environnement: pour soumettre à l'essai la manière dont le système affecte l'environnement.

Le Tableau 2 donne les éléments d'essai pour les essais des performances de fonctionnement et les essais de performances liées à l'environnement. Les éléments d'essai du Tableau 2 doivent être appliqués au système à pile à combustible considéré comme un tout.

Sauf spécification contraire, tous les essais sont exigés pour tous les types de piles à combustible. Les différences de conception des systèmes et les différences de technologie peuvent entraîner l'omission de certaines parties des essais (par exemple, les systèmes sans énergie thermique récupérable ne nécessiteront pas la mesure de la chaleur récupérée).

5.2 Classes d'essai

Il existe trois classes d'essais en fonction de la nature de l'application définis par le Vocabulaire Electrotechnique International (VEI). Toutefois, dans un souci de clarification, des explications supplémentaires sont données ci-dessous.

a) Essai de type

Essai effectué sur un ou plusieurs dispositifs réalisés selon une conception donnée pour vérifier que cette conception répond à certaines spécifications.

NOTE 1 Les essais de type sont obligatoires. Ils doivent être effectués sur un nombre représentatif de systèmes à pile à combustible, chacun étant considéré comme un tout. Le but est de vérifier la conformité de la conception avec les exigences retenues.

4.2 Temperature and pressure

The reference conditions are specified as follows:

Reference temperature: $t_0 = 288,15 \text{ K (15 °C)}$

Reference pressure: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$

4.3 Heating value base

Heating value of fuel is based on LHV in principle.

$$\eta_e \text{ or } \eta_{th} = XX \%$$

In case of LHV, it is not necessary to add the symbol "LHV".

If HHV is applied, the abbreviation "HHV" shall be added to the value of energy efficiency as follows:

$$\eta_e \text{ or } \eta_{th} = XX \% \text{ (HHV)}$$

NOTE LHV is the Lower Heating Value; HHV is the Higher Heating Value.

5 Performance and classes of tests

5.1 Performance tests

The performance assessment of the fuel cell power systems shall be considered from these points of view:

- Operation: to test the performance of the system during normal operation or during an operational transient.
- Environmental aspects: to test how the system affects the environment.

Table 2 indicates the test items for the operating performance tests and the environmental performance tests. The test items in Table 2 shall be applied to the fuel cell power system considered as a whole.

Unless otherwise specified, all tests are required for all fuel cell types. Differences in system design and differences in technology may result in some portions of the tests being omitted (for example, systems without heat recovery will not require measurement of heat recovered).

5.2 Classes of tests

There are in general three categories of tests as defined by the International Electrotechnical Vocabulary (IEV). However additional explanations are provided as follows, to provide clarification.

a) Type test

A test of one or more devices made to a certain design to show that the design meets certain specifications.

NOTE 1 Type tests are mandatory. They must be performed on a representative number of fuel cell power systems, each one considered as a whole. The purpose is to verify the compliance of the design with the selected requirements.

b) Essai individuel de série

Essai auquel est soumis chaque dispositif au cours ou en fin de fabrication pour vérifier qu'il satisfait à des critères définis.

NOTE 2 Aucun essai individuel de série de performance n'est exigé ou n'est nécessaire ou identifié dans ce document.

c) Essai de réception

Essai contractuel ayant pour objet de prouver au client que le dispositif répond à certaines conditions de sa spécification.

NOTE 3 Les essais de réception, ayant fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur et conformément aux spécifications de l'utilisateur, peuvent être choisis parmi les éléments d'essai du Tableau 2. Lorsque de tels essais sont choisis, il faut qu'ils soient effectués conformément à ce document.

NOTE 4 Les essais de type et les essais individuels de série sont généralement effectués de la même manière et en utilisant la même procédure. Des différences entre les essais de type et les essais individuels de série peuvent être nécessaires, lorsque les essais individuels de série sont effectués (par exemple, les exigences de stabilité les plus strictes peuvent ne pas être nécessaires ou le nombre de mesures prises peut être inférieur pour les essais individuels de série). Ces différences seront expliquées dans la description de la méthode d'essai.

NOTE 5 Ce document décrit uniquement les méthodes d'essai; aucune valeur cible de performance n'est prévue.

Tableau 2 – Élément d'essai et classification d'essai

Elément	Essai	Essai de type	Essai individuel de série
	Fonctionnement		
1	Puissance électrique en sortie	X	
2	Taux de distorsion harmonique	X	
3	Consommation de combustible	X	
4	Consommation d'oxydant	X	
5	Rendement électrique	X	
6	Rendement de l'énergie thermique récupérable	X	
7	Rendement énergétique total	X	
8	Réponse à la valeur de sortie de puissance	X	
9	Caractéristiques de démarrage/d'arrêt	X	
10	Consommation de gaz de purge	X	
11	Consommation d'eau	X	
12	Chaleur résiduelle	X	
	Aspects liés à l'environnement		
1	Emission de particules	X	
2	Emission de SO _x , NO _x	X	
3	Emission de CO ₂ , CO	X	
4	Emission d'hydrocarbures totaux et d'hydrogène	X	
5	Niveau de bruit audible	X	
6	Niveau de vibration	X	
7	Qualité de l'eau d'écoulement	X	

b) Routine test

A test to which each individual device is subjected during and/or after manufacture to ascertain whether it complies with certain criteria.

NOTE 2 No routine performance tests are required or necessary or identified in this document.

c) Acceptance test

A contractual test to prove to the customer that the device meets certain conditions of its specification.

NOTE 3 Acceptance tests, agreed between the manufacturer and the user and according to the specifications of the user, may be selected from the items listed in Table 2. When such tests are selected, they must be performed according to this document.

NOTE 4 Type tests and routine tests are generally performed in the same way and by using the same procedure. Differences between type tests and routine tests may be necessary, in the event that routine tests are done (for example, the strictest stability requirements may not be necessary or the number of measurements taken may be less for routine tests). These differences will be explained in the description of the test method.

NOTE 5 This document describes test methods only; no performance targets are set.

Table 2 – Test item and test classification

Item	Test	Type test	Routine test
	Operation		
1	Electrical power output	X	
2	Total harmonic distortion	X	
3	Fuel consumption	X	
4	Oxidant consumption	X	
5	Electrical efficiency	X	
6	Heat recovery efficiency	X	
7	Overall energy efficiency	X	
8	Response of power output	X	
9	Start-up/shutdown characteristics	X	
10	Purge gas consumption	X	
11	Water consumption	X	
12	Waste heat	X	
	Environmental aspects		
1	Particulate emission	X	
2	SO _x , NO _x emission	X	
3	CO ₂ , CO emission	X	
4	Total hydrocarbon, hydrogen emission	X	
5	Audible noise level	X	
6	Vibration level	X	
7	Discharge water quality	X	

6 Préparation aux essais

6.1 Généralités

Cet Article décrit des considérations à prendre en compte avant de réaliser un essai. Pour chaque essai, un effort doit être fait pour minimiser l'incertitude en choisissant des appareils à haute précision et en planifiant soigneusement les essais en prêtant attention aux détails. Des plans d'essai détaillés doivent être préparés par les parties concernées par l'essai en utilisant la présente partie de la CEI 62282 comme base. Un plan d'essai écrit doit être préparé. Les éléments d'essai concernés sont donnés dans le Tableau 3.

Les considérations suivantes doivent être prises en compte pour le plan d'essai:

- a) objectif;
- b) spécifications d'essai;
- c) qualifications du personnel d'essai;
- d) normes d'assurance qualité (ISO 9000 ou autres normes équivalentes);
- e) incertitude cible (se référer aux Articles A.1 et A.2);
- f) identification des appareils de mesure (se reporter à l'Article 7);
- g) gamme estimée de paramètres d'essai;
- h) plan d'acquisition des données (se référer à 6.2.2);
- i) lorsque cela est applicable, se référer aux considérations fondamentales de sécurité pour l'utilisation de l'hydrogène comme combustible (comme indiqué dans la documentation fournie par le fabricant du produit final)

6.2 Analyse d'incertitude

6.2.1 Éléments d'analyse de l'incertitude

Une analyse d'incertitude doit être effectuée sur les grandeurs ci-dessous pour indiquer la fiabilité des résultats d'essai et pour se conformer aux demandes du client. Les résultats d'essai suivants doivent être analysés pour déterminer l'incertitude absolue et relative. Un essai doit être planifié de telle manière que la fiabilité des résultats puisse être évaluée concernant les grandeurs suivantes:

- puissance électrique en sortie;
- rendement électrique;
- rendement de l'énergie thermique récupérable;
- rendement énergétique total.

6.2.2 Plan d'acquisition des données

Le système d'acquisition des données (à savoir, la durée et la fréquence des valeurs lues) pour satisfaire à l'incertitude cible, et l'équipement d'enregistrement des données adapté à la fréquence et la vitesse de lecture exigées, doivent être préparés avant l'essai de performance (voir 8.2 et l'Article A.2 de l'Annexe A).

6 Test preparation

6.1 General

This Clause describes typical items that shall be considered prior to the implementation of a test. For each test, an effort shall be made to minimize uncertainty by selecting high-precision instruments and planning the tests carefully with attention to detail. Detailed test plans shall be prepared by the parties to the test using this part of IEC 62282 as the basis. A written test plan shall be prepared. Relevant test items are listed in Table 3.

The following items shall be considered for the test plan:

- a) objective;
- b) test specifications;
- c) test personnel qualifications;
- d) quality assurance standards (ISO 9000 or other equivalent standards);
- e) target uncertainty (refer to Clauses A.1 and A.2);
- f) identification of measurement instruments (refer to Clause 7);
- g) estimated range of test parameters;
- h) data acquisition plan (refer to 6.2.2);
- i) where applicable, refer to basic safety considerations for the use of hydrogen as a fuel, (as indicated in the documentation provided by the end-product manufacturer).

6.2 Uncertainty analysis

6.2.1 Uncertainty analysis items

An uncertainty analysis shall be performed on the four test items below to indicate the reliability of the test results and to comply with customer requests. The following test results shall be analysed to determine the absolute and relative uncertainty. A test shall be planned so that the reliability of the results can be evaluated for the following:

- electrical power output;
- electrical efficiency;
- heat recovery efficiency;
- overall energy efficiency.

6.2.2 Data acquisition plan

The data acquisition system (i.e., the duration and frequency of readings) in order to meet the target uncertainty and the data recording equipment that is suitable for the required frequency of the readings and reading speed shall be prepared before the performance test (see 8.2 and Clause A.2).

7 Appareils et méthodes de mesure

7.1 Généralités

Cet Article décrit les appareils de mesure utilisés pour les essais des systèmes à piles à combustible, leur méthode d'utilisation et les précautions à prendre. Les types d'appareils de mesure et les méthodes de mesure doivent être conformes aux normes internationales applicables et doivent être choisis pour satisfaire aux cibles d'incertitude de mesure spécifiées par le fabricant. Si nécessaire, un équipement extérieur avec les valeurs exigées doit être ajouté.

Les appareils et équipements énumérés en 7.2 sont normalement utilisés pour mesurer les performances des systèmes à piles à combustible.

7.2 Appareils

- a) Appareils de mesure de la puissance électrique en entrée et en sortie:
 - voltmètre, ampèremètre, wattmètres et autres accessoires.
- b) Appareils de mesure de la consommation de combustible:
 - débitmètres de combustible, capteurs de pression, capteurs de température.
- c) Appareils pour la détermination du pouvoir calorifique du combustible:
 - chromatographie en phase gazeuse ou moyens alternatifs avec précision comparable;
 - calorimètre ou moyens alternatifs avec précision comparable.
- d) Appareils de mesure de la chaleur récupérée:
 - débitmètres de fluide, capteurs de température, capteurs de pression.
- e) Appareils de détermination de la composition des gaz d'échappement et de la qualité de l'eau d'écoulement:
 - analyseur de gaz d'échappement; par exemple, particules, SO_x, NO_x, CO₂, CO et hydrocarbures au total;
 - analyseur de la qualité de l'eau; par exemple, appareil de mesure du pH, sonde électrochimique.
- f) Appareils de mesure du bruit:
 - appareils de mesure du niveau de bruit, microphones.
- g) Appareils de mesure des vibrations:
 - appareils de mesure du niveau de vibration, accéléromètres et autres capteurs.
- h) Appareils de mesure des conditions ambiantes:
 - baromètres, hygromètres et capteurs de température.

7.3 Méthodes de mesure

7.3.1 Puissance électrique

La mesure de la puissance électrique doit inclure la puissance électrique en sortie du système à pile à combustible et les puissances électriques d'entrée pour les charges parasites. Les éléments mesurés sont les suivants:

- a) puissance;
- b) voltage;
- c) intensité;
- d) facteur de puissance.

7 Instruments and measurement methods

7.1 General

This Clause describes the measuring instruments used for testing the fuel cell power system, their method of usage and precautions to be taken. The types of instruments for measuring and measurement methods shall conform with the relevant International Standards and shall be selected to meet the measurement uncertainty targets specified by the manufacturer. If necessary, external equipment with required values shall be added.

The instruments and equipment given in 7.2 are typically used to measure the performance of fuel cell power systems.

7.2 Instruments

- a) Instruments for measuring the electrical power output and power input:
 - voltmeter, ammeter, power meters, and other accessories.
- b) Apparatus for measuring fuel consumption:
 - fuel flow meters, pressure sensors, temperature sensors.
- c) Apparatus for determining the heating value of the fuel:
 - gas chromatography or alternate means with comparable accuracy;
 - calorimeter or alternate means with comparable accuracy.
- d) Instruments for measuring the recovered heat:
 - fluid flow meters, temperature sensors, and pressure sensors.
- e) Apparatus for determining the composition of exhaust gas and discharge water quality:
 - exhaust gas analyser; for example, particulate, SO_x, NO_x, CO₂, CO and total hydrocarbon;
 - water quality analyser; for example, pH meter, electrochemical probe.
- f) Instruments for measuring noise:
 - noise level meter, microphones.
- g) Instruments for measuring vibration:
 - vibration level meters, accelerometers, pick-up sensors.
- h) Instruments for measuring ambient conditions:
 - barometers, hygrometers and temperature sensors.

7.3 Measurement methods

7.3.1 Electrical power

Electrical power measurement shall include electrical power output from the fuel cell power system, and electrical power inputs to handle parasitic loads. The measurement items are as follows:

- a) power;
- b) voltage;
- c) current;
- d) power factor.

Ils doivent être mesurés conformément aux CEI 60051, CEI 60359, CEI 62052-11, CEI 62053-22, CEI 60688, CEI 61028 et CEI 61143.

1) Préparation de la mesure

Les wattmètres, les voltmètres, les ampèremètres et les appareils de mesure du facteur de puissance doivent être appropriés en termes de précision et d'étalonnage avant de commencer les mesures.

2) Emplacement des wattmètres

Pour mesurer la puissance électrique en sortie, un wattmètre, un voltmètre, un ampèremètre et un appareil de mesure du facteur de puissance doivent être situés au point d'interface de sortie électrique.

Pour mesurer la puissance électrique en entrée pour les charges parasites provenant d'une source de puissance extérieure, un wattmètre, un voltmètre, un ampèremètre et un appareil de mesure du facteur de puissance doivent être situés au point d'interface d'entrée électrique.

Les mesures du facteur de puissance doivent être réalisées avec le système de pile à combustible connecté à une charge extérieure ou à un réseau électrique local.

7.3.2 Consommation de combustible

7.3.2.1 Généralités

En fonction des spécifications du système à piles à combustible soumis aux essais, on peut utiliser des combustibles gazeux ou liquides. Les pouvoirs calorifiques du combustible doivent être cohérents tout au long de la période d'essai (voir Tableau 4).

7.3.2.2 Combustible gazeux

Les caractéristiques du combustible gazeux doivent inclure la détermination:

- a) du pouvoir calorifique;
- b) de la température;
- c) de la pression;
- d) de la densité.

Le pouvoir calorifique du combustible gazeux doit être calculé conformément à 8.3.3.1.

7.3.2.3 Composition du combustible

a) Échantillonnage

Le gaz combustible doit être échantillonné au cours du fonctionnement du système à pile à combustible à une fréquence et avec un nombre approprié d'échantillons pour satisfaire aux exigences de l'analyse d'incertitude.

Du gaz en bouteille préanalysé peut remplacer l'échantillonnage du gaz sous réserve que l'incertitude du gaz analysé soit cohérente avec l'incertitude exigée.

b) Mesure de la composition du gaz combustible

Le gaz naturel se compose essentiellement de méthane et de faibles quantités d'hydrocarbures supérieurs ainsi que de quelques gaz non combustibles. D'autres combustibles gazeux peuvent contenir d'autres constituants.

L'ensemble des composants principaux suivants doit être mesuré conformément aux méthodes détaillées dans l'ISO 6974 et l'ISO 6975:

- méthane;
- éthane;
- propane;

They shall be measured in accordance with IEC 60051, IEC 60359, IEC 62052-11, IEC 62053-22, IEC 60688, IEC 61028, and IEC 61143.

1) Preparation for measurement

Electrical power meters, voltage meters, current meters and power factor meters shall be appropriate in terms of accuracy and calibration before starting measurement.

2) Location of electrical power meters

In order to measure electrical power output, an electrical power meter, voltage meter, current meter and power factor meter shall be located at the electric output interface point.

In order to measure electrical power input for parasitic loads from an external power source, an electrical power meter, voltage meter, current meter and power factor meter shall be located at the electric input interface point.

Power factor measurements shall be conducted with the fuel cell power system connected to an external load or connected to the local electrical power grid.

7.3.2 Fuel consumption

7.3.2.1 General

Either gaseous or liquid fuels may be used depending on the specifications of fuel cell power systems tested. Fuel heating values shall be consistent throughout the test period (see Table 4).

7.3.2.2 Gaseous fuel

Gaseous fuel characteristics shall include the determination of

- a) heating value;
- b) temperature;
- c) pressure;
- d) density.

Heating value gaseous fuel shall be calculated in accordance with 8.3.3.1.

7.3.2.3 Fuel composition

a) Sampling

Fuel gas shall be sampled during operation of the fuel cell power system at a frequency and with an appropriate number of samples to meet the requirements of the uncertainty analysis.

Pre-analysed bottled gas may be substituted for gas sampling, provided that the uncertainty of the analysed gas is consistent with the uncertainty required.

b) Fuel gas composition measurement

Natural gas mainly comprises methane and small quantities of higher hydrocarbons, as well as some non-combustible gases. Other gaseous fuels may contain other constituents.

All major components shall be measured according to methods detailed in ISO 6974 and ISO 6975:

- methane;
- ethane;
- propane;

- butane;
- pentane;
- hexane et supérieurs;
- azote;
- dioxyde de carbone;
- benzène.

L'ensemble des composants secondaires suivants doivent être mesurés conformément aux méthodes détaillées dans l'ISO 6974 et l'ISO 6975:

- hydrogène;
- oxygène;
- monoxyde de carbone.

Les composés soufrés (y compris l'odorant) doivent être mesurés conformément aux méthodes détaillées dans l'ISO 6326.

La teneur en vapeur d'eau doit être mesurée conformément aux méthodes détaillées dans l'ISO 10101 et l'ISO 11541.

Lorsque l'hydrogène est utilisé comme combustible, l'échantillonnage et la détermination de la composition des gaz doivent être réalisés conformément à l'ISO 14687.

7.3.2.4 Débit de combustible

Le débit de combustible est essentiel pour la mesure de l'efficacité du système à pile à combustible. La consommation de combustible gazeux peut être déterminée au moyen soit d'un débitmètre volumétrique, soit d'un débitmètre massique, soit d'un débitmètre à turbine. Si une telle méthode n'est pas réalisable en pratique, la mesure du débit par des débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi est recommandée et ceci doit être appliqué conformément à l'ISO 5167. Les débitmètres pour le combustible doivent être compatibles avec la pression du gaz utilisé et leur incertitude doit être cohérente avec l'incertitude exigée.

Les précautions d'emplacement pour le débitmètre et la mesure du débit sont décrites ci-après:

- a) emplacement des débitmètres: les débitmètres doivent être placés à proximité des limites du système;
- b) conditions de mesure: la température et la pression du combustible doivent être mesurées à proximité du débitmètre installé aux limites du système.

7.3.2.5 Température du combustible

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

Les capteurs de température doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer les mesures.

Les capteurs de température doivent être situés juste en amont du dispositif de mesure du débit.

- butane;
- pentane;
- hexane plus;
- nitrogen;
- carbon dioxide;
- benzene.

The following minor components shall be measured according to methods detailed in ISO 6974 and ISO 6975:

- hydrogen;
- oxygen;
- carbon monoxide.

The sulphur compounds (including odorant) shall be measured according to methods detailed in ISO 6326.

The water vapour content shall be measured according to methods detailed in ISO 10101 and ISO 11541.

When hydrogen is used as a fuel, sampling and the determination of the gas composition shall be performed in accordance with ISO 14687.

7.3.2.4 Fuel flow

Fuel flow is essential to the measurement of fuel cell power system efficiency. Gas fuel consumption may be determined by means of either a volumetric meter, a mass flow meter, or a turbine-type flow meter. If such a method is not practicable, flow measurement by nozzles, orifices, or venturi meters is recommended, and they shall be applied in accordance with ISO 5167. Fuel flow meters shall be compatible with the pressure of gas used and their uncertainty shall be consistent with the uncertainty required.

Precautions for location of the flow meter and flow measurement are the following:

- a) location of flow meters: flow meters shall be located near the test boundary;
- b) measurement conditions: temperature and pressure of fuel shall be measured near the flow meter installed at the test boundary.

7.3.2.5 Fuel temperature

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

Temperature sensors shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement.

Temperature sensors shall be located just upstream of the flow measurement device.

7.3.2.6 Pression du combustible

On peut utiliser des manomètres étalonnés, des manomètres à piston, des manomètres de Bourdon ou d'autres manomètres de type élastique. Parmi les alternatives, il y a les capteurs de pression étalonnés. Les appareils de mesure de la pression du combustible doivent être adaptés aux pressions qui apparaissent pendant l'essai et l'incertitude doit être cohérente avec l'analyse d'incertitude.

Avant l'essai de performance, les tuyauteries de raccordement doivent être vérifiées pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite dans les conditions de service.

En cas de fluctuations de pression, un moyen d'amortissement adapté doit être utilisé dans une position efficace.

La pression du combustible mesurée doit être la pression statique et les effets de la vitesse doivent être pris en compte et éliminés.

7.3.3 Mesures sur combustible liquide

7.3.3.1 Généralités

Une méthode d'échantillonnage appropriée doit être utilisée pour déterminer les caractéristiques du combustible. Elle inclut:

- a) la masse volumique (masse par unité de volume);
- b) le pouvoir calorifique;
- c) la viscosité si cela est applicable;
- d) la température;
- e) la composition du combustible liquide.

Ces caractéristiques doivent être déterminées conformément aux normes ISO applicables (à savoir l'ISO 3648 et l'ISO 8217) et à l'ASTM D4809-00 ou en faisant appel à un laboratoire utilisant de manière courante les méthodes des normes internationales.

7.3.3.2 Débit du combustible liquide

La mesure précise du débit du combustible envoyé au système à pile à combustible est essentielle pour déterminer un débit calorifique du système. L'utilisation de débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi est recommandée. Les appareils de mesure doivent être appliqués conformément à l'ISO 5167. Comme alternatives, on peut citer les compteurs à déplacement, les débitmètres massiques, les débitmètres volumétriques, les débitmètres de type à turbine, les appareils de mesure de liquide étalonnés et les moyens de pesage direct. Dans tous les cas, l'incertitude des dispositifs de mesure du débit de combustible utilisés doit être connue et elle doit être cohérente avec le calcul d'incertitude.

Aucun renversement ni fuite de combustible après le point de mesure ne doit être autorisé.

7.3.3.3 Température du combustible liquide

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

Les capteurs de température doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer la mesure et ils doivent être situés juste en amont du débitmètre de combustible.

7.3.2.6 Fuel pressure

Calibrated manometers, dead-weight gauges, Bourdon tubes or other elastic type gauges may be used. Alternatives include calibrated pressure transducers. Fuel pressure instrumentation shall be suitable for the pressures during the test and uncertainty shall be consistent with the uncertainty analysis.

Connecting piping shall be checked to be leak-free under working conditions before the performance test.

If pressure fluctuations occur, a suitable means of damping shall be used in an effective position.

Fuel pressure measured shall be static pressure and effects of velocity shall be considered and eliminated.

7.3.3 Liquid fuel measurements

7.3.3.1 General

An appropriate sampling method shall be used to determine the fuel characteristics. This includes:

- a) density (mass per unit volume);
- b) heating value;
- c) viscosity where applicable;
- d) temperature;
- e) liquid fuel composition.

These characteristics shall be determined in accordance with the relevant ISO standards (i.e. ISO 3648 and ISO 8217) as well as ASTM D4809–00 or by using a laboratory familiar with these International Standard methods.

7.3.3.2 Liquid fuel flow

The accurate measurement of fuel flow to the fuel cell power system is essential to determine a heat rate of the fuel cell power system. The use of flow nozzles, orifices, and venturi meters is recommended. Instrumentation shall be applied in accordance with ISO 5167. Alternatives include displacement meters, mass flow meters, volumetric meters, turbine type flow meters, calibrated liquid meters and direct weighing means. In any case, the uncertainty of fuel flow measuring devices used shall be known and shall be consistent with the uncertainty calculation.

No fuel spill or leakage after the point of measurement shall be allowed.

7.3.3.3 Liquid fuel temperature

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

Temperature sensors shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement, and shall be located just upstream of the fuel flow meter.

7.3.4 Chaleur récupérée

7.3.4.1 Généralités

Les agents thermiques peuvent être l'eau chaude, l'air chaud ou un refroidisseur comme l'huile, etc. En fonction des spécifications du système à piles à combustible soumis aux essais, on peut utiliser une combinaison de ces agents.

La température et la pression des fluides caloporteurs doivent être mesurées simultanément.

7.3.4.2 Débit du fluide

Un équipement approprié doit être appliqué pour chaque agent thermique. La mesure précise du débit de l'agent thermique de/vers le dispositif d'utilisation/de stockage de l'énergie calorifique est nécessaire pour déterminer le rendement thermique du système à pile à combustible. L'utilisation de débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi est recommandée et ils doivent être appliqués conformément à l'ISO 5167. Des débitmètres massiques et les débitmètres à turbine peuvent également être utilisés.

Les débitmètres doivent être appropriés en termes d'échelle et de précision avant de commencer les mesures.

Les dispositifs de mesure du débit doivent être situés à proximité des limites du système à pile à combustible.

7.3.4.3 Température du fluide

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur;
- c) dispositifs de mesure de la température du fluide appropriés en termes d'échelle et de précision avant de commencer la mesure;
- d) dispositifs de mesure de la température du fluide situés à proximité des limites du système à pile à combustible;
- e) dispositifs de mesure de la température situés juste en amont du débitmètre associé. Il convient que les capteurs de température ne touchent pas le tuyau.

7.3.4.4 Pression du fluide

Cette méthode de mesure concerne les fluides en phase gazeuse y compris la vapeur.

- a) Préparation de la mesure: les manomètres doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer les mesures.
- b) Emplacement des manomètres: les capteurs des manomètres doivent être situés juste en amont du débitmètre associé à proximité des points d'interface (points d'entrée et de sortie de fluide) dans un tuyau de fluide. Une isolation thermique adéquate doit être requise autour des tuyaux.
- c) Une compensation appropriée pour la condensation doit être appliquée.

7.3.5 Débit de gaz de purge

La consommation de gaz de purge doit être déterminée par les moyens indiqués en 7.3.7.

7.3.4 Recovered heat

7.3.4.1 General

Thermal media may be hot water, hot air or coolant such as oil, etc. A combination of these media may be used depending on the specifications of fuel cell power systems tested.

The temperature and pressure of heat transfer fluids shall be measured concurrently.

7.3.4.2 Fluid flow

Appropriate equipment for each thermal media shall be applied. The accurate measurement of thermal media flow to and from the thermal energy utilization/storage is necessary to determine the thermal efficiency of the fuel cell power system. The use of flow nozzles, orifices, or venturi meters is recommended, and they shall be applied in accordance with ISO 5167. Mass flow meters and turbine-type flow meters may also be used.

Flow meters shall be appropriate in terms of scale and accuracy before starting measurement.

Flow measuring devices shall be located near the boundary of the fuel cell power system.

7.3.4.3 Fluid temperature

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer;
- c) appropriate fluid temperature measurement devices in terms of scale and accuracy before starting measurement;
- d) fluid temperature measuring devices located near the boundary of the fuel cell power system;
- e) temperature measurement devices located just upstream of the associated flow meter. Temperature sensors should not touch the pipe.

7.3.4.4 Fluid pressure

This measurement method is for gas phase fluid including steam.

- a) Preparation for measurement: pressure gages shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement.
- b) Location of pressure gages: pressure gage sensors shall be located just upstream of the associated flow meter near the interface points (fluid output and input points) in a fluid flow line. Adequate thermal insulation around pipes shall be required.
- c) Appropriate compensation for condensation shall be applied.

7.3.5 Purge gas flow

Purge gas consumption shall be determined by means indicated in 7.3.7.

7.3.6 Caractéristiques de l'oxydant (air)

7.3.6.1 Généralités

Les caractéristiques de l'oxydant doivent inclure la détermination:

- a) de la température;
- b) de la pression;
- c) de la composition (les caractéristiques de l'oxydant peuvent affecter les performances de la pile à combustible). La composition de l'oxydant doit être consignée dans le rapport d'essai;
- d) de la masse volumique.

7.3.6.2 Débit d'oxydant (air)

Le débit d'oxydant (air) peut être déterminé au moyen soit d'un débitmètre volumétrique, soit d'un débitmètre massique soit d'un débitmètre à turbine. Si une telle méthode n'est pas réalisable en pratique, la mesure du débit par des débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi est recommandée et ceci doit être appliqué conformément à l'ISO 5167. Les débitmètres doivent être compatibles avec la pression du gaz utilisé et l'incertitude doit être cohérente avec l'analyse d'incertitude.

Les précautions d'emplacement pour le débitmètre et la mesure du débit sont décrites ci-après:

- a) emplacement des débitmètres;
- b) les débitmètres doivent être placés à proximité des limites du système.

7.3.6.3 Température de l'oxydant (air)

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

Les capteurs de température doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer les mesures.

Les capteurs de température doivent être situés juste en amont du dispositif de mesure du débit.

7.3.6.4 Pression de l'oxydant (air)

On peut utiliser des manomètres étalonnés, des manomètres à piston, des manomètres de Bourdon ou d'autres manomètres de type élastique. Parmi les alternatives, il y a les capteurs de pression étalonnés. Les appareils de mesure de la pression de l'oxydant (air) doivent être adaptés aux pressions qui apparaissent pendant l'essai et l'incertitude doit être cohérente avec l'analyse d'incertitude.

Avant l'essai de performance, les tuyauteries de raccordement doivent être vérifiées pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite dans les conditions de service.

En cas de fluctuations de pression, un moyen d'amortissement adapté doit être utilisé dans une position efficace.

La pression de l'oxydant (air) mesurée doit être la pression statique et les effets de la vitesse doivent être pris en compte et éliminés.

7.3.6 Oxidant (air) characteristics

7.3.6.1 General

Oxidant characteristics shall include the determination of:

- a) temperature;
- b) pressure;
- c) composition (oxidant characteristics can affect fuel cell performance). The composition of the oxidant shall be stated in the test report;
- d) density.

7.3.6.2 Oxidant (air) flow

Oxidant (air) flow rate may be determined by means of either a volumetric meter, a mass flow meter, or a turbine-type flow meter. If such a method is not practicable, flow measurement by nozzles, orifices, or venturi meters is recommended, and they shall be applied in accordance with ISO 5167. Flow meters shall be compatible with the pressure of gas used and uncertainty shall be consistent with the uncertainty analysis.

Precautions for location of the flow meter and measurement are the following:

- a) location of flow meters;
- b) flow meters shall be located near the test boundary.

7.3.6.3 Oxidant (air) temperature

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

Temperature sensors shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement.

Temperature sensors shall be located just upstream of the flow measurement device.

7.3.6.4 Oxidant (air) pressure

Calibrated manometers, dead-weight gages, Bourdon tubes or other elastic type gauges may be used. Alternatives include calibrated pressure transducers. Oxidant (air) pressure instrumentation shall be suitable for the pressures during the test and uncertainty shall be consistent with the uncertainty analysis.

Connecting piping shall be checked to be leak-free under working conditions in advance of the performance test.

If pressure fluctuations occur, a suitable means of damping shall be used in an effective position.

Oxidant (air) pressure measured shall be static pressure and effects of velocity shall be considered and eliminated.

7.3.6.5 Composition de l'oxydant (air)

La composition de l'oxydant doit être mesurée en utilisant la chromatographie en phase gazeuse ou par d'autres moyens. Si l'air est utilisé comme oxydant, la composition doit être considérée comme étant de l'air à la pression atmosphérique normale sauf indication contraire.

7.3.7 Autre flux de fluide

Si nécessaire, la mesure de l'eau de refroidissement et de l'eau de drainage doit être réalisée selon l'une des méthodes suivantes:

- a) tuyères ou diaphragmes normalisés;
- b) compteur à déplacement;
- c) autres méthodes spécifiées comme le pesage direct ou les réservoirs volumétriques, les débitmètres massiques, etc.

7.3.8 Mesure des émissions de gaz d'échappement

7.3.8.1 Température du gaz d'échappement

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

La température des gaz d'échappement est utilisée pour quantifier les émissions et pour corriger le débit d'émission pour la température.

Les appareils de mesure de la température des gaz d'échappement doivent être installés juste en amont du débitmètre de gaz d'échappement et juste en amont de l'analyseur de gaz d'échappement.

7.3.8.2 Pression des gaz d'échappement

On peut utiliser des manomètres étalonnés, des manomètres à piston ou d'autres manomètres de type élastique. Parmi les alternatives, il y a les capteurs de pression étalonnés. Les appareils de mesure de la pression des gaz d'échappement doivent être adaptés aux pressions et aux températures qui apparaissent pendant l'essai et l'incertitude doit être cohérente avec l'analyse d'incertitude.

Avant l'essai de performance, les tuyauteries de raccordement doivent être vérifiées pour s'assurer qu'il n'y a pas de fuite dans les conditions de service.

En cas de fluctuations de pression, un moyen d'amortissement adapté doit être utilisé dans une position efficace.

La pression des gaz d'échappement est utilisée pour quantifier les émissions et pour corriger le débit d'émission pour la pression.

Les appareils de mesure de la pression des gaz d'échappement doivent être installés juste en amont du débitmètre de gaz d'échappement et juste en amont de l'analyseur de la composition des gaz d'échappement.

7.3.6.5 Oxidant (air) composition

Oxidant composition shall be measured using gas chromatography or other suitable means. If air is used as the oxidant, composition shall be considered to be ordinary atmospheric air unless otherwise indicated.

7.3.7 Other fluid flow

If necessary, the measurement of coolant water and drain water flows shall be accomplished by one of the following methods:

- a) standard nozzle or orifice;
- b) displacement meter;
- c) other specified methods such as direct weighing or volumetric tanks, mass flow meters, etc.

7.3.8 Exhaust gas emission measurement

7.3.8.1 Exhaust gas temperature

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

Exhaust gas temperature is used to quantify emissions and to correct the emissions rate for temperature.

Exhaust gas temperature instrumentation shall be installed just upstream of the exhaust gas flow meter and just upstream of the exhaust gas analyser.

7.3.8.2 Exhaust gas pressure

Calibrated manometers, dead-weight gauges, or other elastic type gauges may be used. Alternatives include calibrated pressure transducers. Exhaust gas pressure instrumentation shall be suitable for the pressures and temperatures during the test and instrumentation uncertainty shall be consistent with the uncertainty analysis.

Connecting piping shall be checked to be leak-free under working conditions before the performance test.

If pressure fluctuations occur, a suitable means of damping shall be used in an effective position.

Exhaust gas pressure is used to quantify emissions and to correct emissions rate for pressure.

Exhaust gas pressure instrumentation shall be installed just upstream of the exhaust gas flow meter and just upstream of the exhaust gas composition analyser.

7.3.8.3 Flux des gaz d'échappement

Voir l'ISO 10780.

Si l'ISO 10780 n'est pas applicable, la mesure du flux de gaz d'échappement peut être réalisée par un débitmètre massique, un débitmètre volumétrique ou un débitmètre de type à turbine. La mesure du flux par des débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi peut être applicable. Si des débitmètres à tuyères, à diaphragmes ou à tubes venturi sont utilisés, ils doivent être appliqués conformément à l'ISO 5167. Les débitmètres doivent être compatibles avec la pression du gaz utilisé et l'incertitude doit être cohérente avec l'analyse d'incertitude.

7.3.8.4 Concentration de particules

Se référer à l'ISO 9096, à l'ISO 11042-1 et à l'ISO 11042-2.

7.3.8.5 Concentration de SO_x et de NO_x

Concentration de SO_x:

Se référer à l'ISO 7934, à l'ISO 7935, à l'ISO 11042-1, à l'ISO 11042-2 et à l'ISO 10396. D'autres méthodes adaptées au service peuvent être utilisées si elles sont cohérentes avec l'analyse de certitude.

Concentration en NO_x:

Se référer à l'ISO 11564, à l'ISO 10849, à l'ISO 11042-1, à l'ISO 11042-2 et à l'ISO 10396. D'autres méthodes adaptées au service peuvent être utilisées si elles sont cohérentes avec l'analyse de certitude.

7.3.8.6 Concentration en CO₂ et en CO

CO₂: Se référer à l'ISO 11042-1, à l'ISO 11042-2 et à l'ISO 10396.

Le CO₂ peut être calculé sur la base de la teneur en carbone du combustible.

CO: Se référer à l'ISO 11042-1, à l'ISO 11042-2 et à l'ISO 10396.

7.3.8.7 Concentration en hydrocarbures totaux

Se référer à l'ISO 11042-1 et à l'ISO 11042-2.

7.3.8.8 Concentration en oxygène

Se référer à l'ISO 11042-1 et à l'ISO 11042-2.

7.3.8.9 Concentration en hydrogène

Utiliser un cathétomètre ou la chromatographie en phase gazeuse ou une autre méthode adaptée pour mesurer la concentration en hydrogène dans le(s) courant(s) de gaz d'échappement.

7.3.8.3 Exhaust gas flow

Refer to ISO 10780.

If ISO 10780 is not applicable, measurement of exhaust gas flow may be accomplished by mass flow meter, volumetric meter, or turbine-type flow meter. Flow measurement by nozzles, orifices, or venturi meters may be applicable. If nozzles, orifices, or venturi meters are used, they shall be applied in accordance with ISO 5167. Flow meters shall be compatible with the pressure of gas used and uncertainty shall be consistent with the uncertainty analysis.

7.3.8.4 Particulate concentration

Refer to ISO 9096, ISO 11042-1, and ISO 11042-2.

7.3.8.5 SO_x and NO_x concentration

SO_x concentration:

Refer to ISO 7934, ISO 7935, ISO 11042-1, ISO 11042-2, and ISO 10396. Other methods suitable for the service may be used providing they are consistent with the uncertainty analysis.

NO_x concentration:

Refer to ISO 11564, ISO 10849, ISO 11042-1, ISO 11042-2, and ISO 10396. Other methods suitable for the service may be used providing they are consistent with the uncertainty analysis.

7.3.8.6 CO₂ and CO concentration

CO₂: Refer to ISO 11042-1, ISO 11042-2, and ISO 10396.

CO₂ may be calculated on the basis of the carbon content of the fuel.

CO: Refer to ISO 11042-1, ISO 11042-2, and ISO 10396.

7.3.8.7 Total hydrocarbon concentration

Refer to ISO 11042-1 and ISO 11042-2.

7.3.8.8 Oxygen concentration

Refer to ISO 11042-1 and ISO 11042-2.

7.3.8.9 Hydrogen concentration

Utilise a catherometer or gas chromatograph or other suitable method to measure the hydrogen concentration in the exhaust gas stream(s).

7.3.9 Mesure de la qualité de l'eau d'écoulement

7.3.9.1 Généralités

Les mesures de la qualité de l'eau d'écoulement provenant d'un système à pile à combustible doivent inclure la détermination:

- a) du volume de l'eau d'écoulement;
- b) de la température de l'eau d'écoulement;
- c) pH (concentration en ions hydrogène);
- d) de la demande biochimique en oxygène (Biochemical Oxygen Demand – BOD) ou, si nécessaire, de la demande chimique en oxygène (Chemical Oxygen Demand – COD);
- e) des niveaux d'émission des autres substances limités par des réglementations locales ou nationales et qui pourraient être émis par le système à pile à combustible.

7.3.9.2 Volume de l'eau d'écoulement

Voir 7.3.7.

7.3.9.3 Température de l'eau d'écoulement

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

7.3.10 pH (Concentration en ions hydrogène)

Voir l'ISO 10523.

7.3.11 COD (demande chimique en oxygène)

Voir l'ISO 6060.

7.3.12 BOD (demande biochimique en oxygène)

Voir l'ISO 10707.

7.3.13 Niveau de bruit audible

Le bruit produit par le système à pile à combustible doit être mesuré en utilisant un sonomètre comme défini dans la CEI 61672-1 et la CEI 61672-2. L'essai doit être réalisé conformément à l'ISO 3744.

Les paramètres suivants seront déterminés conformément à l'ISO 3744:

- a) surface de mesure (à distance du corps du système à pile à combustible);
- b) nombre de points de mesure;
- c) influence du bruit de fond.

Le niveau de bruit sera mesuré aux emplacements et distances sur lesquels les parties prenantes à l'essai se seront mises d'accord.

7.3.9 Discharge water quality measurement

7.3.9.1 General

Discharge water quality measurements for water discharged from a fuel cell power system shall include the determination of

- a) volume of discharge water;
- b) temperature of discharged water;
- c) pH (Hydrogen ion concentration);
- d) Biochemical Oxygen Demand (BOD) or, if necessary, Chemical Oxygen Demand (COD);
- e) emission levels of other substances which are restricted to the domestic law and might be emitted from fuel cell power system.

7.3.9.2 Volume of discharge water

Refer to 7.3.7.

7.3.9.3 Temperature of discharge water

Recommended instruments for measuring temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

7.3.10 pH (Hydrogen ion concentration)

Refer to ISO 10523.

7.3.11 COD (Chemical Oxygen Demand)

Refer to ISO 6060.

7.3.12 BOD (Biochemical Oxygen Demand)

Refer to ISO 10707.

7.3.13 Audible noise level

Noise produced by the fuel cell power system shall be measured using a sound level meter as defined in IEC 61672-1 and IEC 61672-2. The test shall be conducted in accordance with ISO 3744.

The following parameters will be determined in accordance with ISO 3744:

- a) measuring surface (at distance from the body of fuel cell power system);
- b) number of measuring points;
- c) influence of background noise.

The noise level will be measured at the locations and distances agreed to by the parties to the test.

7.3.14 Niveau de vibration

Les vibrations doivent être mesurées avec le système à pile à combustible installé et fonctionnant conformément aux instructions d'installation du fabricant.

Les vibrations émises par le système à pile à combustible doivent être mesurées aux points de montage comme cela est décrit ci-dessous.

Le matériel de montage fourni par le fabricant doit être utilisé pour monter l'unité comme exigé ci-dessus. Le point de montage est le point de transmission qui transmet la vibration de l'unité au sol, au plancher, aux murs, au plafond ou à d'autres structures de support conformément à la conception du fabricant. Si des configurations de montage multiples sont conçues, elles doivent toutes être mesurées.

- a) Emplacements de mesure: les mesures doivent être prises aux points de montage qui répondent de manière significative aux forces dynamiques et qui caractérisent la vibration globale du système. Pour les systèmes sans points de montage fixes, une analyse dynamique ou des essais préliminaires sont exigés pour déterminer les points de mesure significatifs.
- b) Pour définir le comportement vibratoire à chaque emplacement de mesure, il est nécessaire de prendre des mesures dans trois directions perpendiculaires les unes par rapport aux autres.
- c) Montage des accéléromètres: voir l'ISO 5348.

7.3.15 Distorsion harmonique totale

La distorsion harmonique totale doit être mesurée et consignée pour les systèmes à pile à combustible qui produisent du courant alternatif. Voir la CEI 61000-4-7 et la CEI 61000-4-13 pour avoir des lignes directrices de mesure.

7.3.16 Conditions ambiantes

L'humidité ambiante, le vent, la pression et la température doivent être mesurés.

Voir l'ISO 4677-1 et l'ISO 4677-2 pour la mesure de l'humidité ambiante.

Voir l'ISO 16622 pour la mesure du vent ambiant.

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la température ambiante sont les suivants:

- a) thermocouples avec transducteurs;
- b) thermomètre à résistance avec transducteur.

Les capteurs de température doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer les mesures.

Les appareils recommandés pour la mesure directe de la pression ambiante sont les suivants:

- a) baromètre au mercure;
- b) baromètre à alcool.

Les capteurs de pression doivent être appropriés en termes de précision avant de commencer les mesures.

7.3.14 Vibration level

Vibration shall be measured with the fuel cell power system installed and operated in accordance with the manufacturer's installation instructions.

Vibration emitted by the fuel cell power system shall be measured at the mounting points as described below.

Mounting hardware supplied by the manufacturer shall be used to mount the unit as required above. The mounting point is the transmission point, transmitting vibration from the unit to the ground, floor, walls, ceiling, or other support structure according to the manufacturer's design. If multiple mounting configurations are designed, all configurations shall be measured.

- a) Measuring positions: measurements shall be taken at the mounting points that significantly respond to the dynamic forces and characterize the overall vibration of the system. For systems without fixed mounting points, dynamic analysis or preliminary testing is required to determine the significant measurement points.
- b) To define the vibration behaviour at each measuring position, it is necessary to take measurements in three mutually perpendicular directions.
- c) Mounting of accelerometers: refer to ISO 5348.

7.3.15 Total harmonic distortion

Total harmonic distortion shall be measured and reported for fuel cell power systems that produce alternating current. Refer to IEC 61000-4-7 and IEC 61000-4-13 for measurement guidance.

7.3.16 Ambient conditions

Ambient humidity, wind, pressure and temperature shall be measured.

Refer to ISO 4677-1 and ISO 4677-2 for ambient humidity measurement.

Refer to ISO 16622 for ambient wind measurement.

Recommended instruments for measuring ambient temperature directly are:

- a) thermocouples with transducer;
- b) resistance thermometer with transducer.

Temperature sensors shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement.

Recommended instruments for measuring ambient pressure directly are:

- a) mercury barometer;
- b) alcohol barometer.

Pressure sensors shall be appropriate in terms of accuracy before starting measurement.

8 Méthode d'essai et calcul des résultats

8.1 Plan d'essai

8.1.1 Généralités

Les éléments d'essai du Tableau 2 doivent être réalisés sous différentes conditions de fonctionnement en fonction de l'objet de l'essai. Ces différentes conditions sont les suivantes:

- a) état stable à la puissance de consigne;
- b) état stable à charge partielle, à proximité du point médian entre le niveau de puissance de consigne et le niveau de puissance minimale;
- c) état stable et en conditions de veille à la puissance minimale (0 %);
- d) état stable pour des valeurs maximales;
- e) conditions transitoires.

Le Tableau 3 représente cette information pour tous les éléments d'essai.

8.1.2 Conditions ambiantes

Pour chaque session d'essai, les conditions ambiantes suivantes doivent être mesurées:

- a) température ambiante;
- b) pression barométrique;
- c) humidité relative;
- d) vitesse et direction du vent.

Tableau 3 – Élément d'essai et statut du système

Elément	Essai	Conditions stables			Maximisation des valeurs mesurées	Etat transitoire b
		Puissance de consigne	Charge partielle	En veille		
	Fonctionnement					
1	Puissance électrique en sortie	X	X			
2	Taux de distorsion harmonique	X	X			
3	Consommation de combustible	X	X	X		
4	Consommation d'oxydant	X	X	X		
5	Rendement électrique ^a	X	X			
6	Rendement de l'énergie thermique récupérable ^a	X	X			
7	Rendement énergétique total	X	X			
8	Réponse à la valeur de sortie de puissance					X
9	Caractéristiques de démarrage/d'arrêt					X
10	Consommation de gaz de purge					X
11	Consommation d'eau	X	X	X	X	
12	Chaleur résiduelle	X	X	X		

8 Test method and computation of results

8.1 Test plan

8.1.1 General

The test items in Table 2 shall be carried out under different operating conditions depending upon the purpose of the test. The different conditions are

- a) steady state at rated power;
- b) steady state at partial load near the mid-point between rated power and minimum power level;
- c) steady state at standby conditions at minimum power (0 %);
- d) steady state where maximum values are found;
- e) transient conditions.

Table 3 shows this information for all the test items.

8.1.2 Ambient conditions

For each test run, the following ambient conditions shall be measured:

- a) ambient temperature;
- b) barometric pressure;
- c) relative humidity;
- e) wind speed and direction.

Table 3 – Test item and system status

Item	Test	Steady state conditions			Maxi- mizing measured values	Transient state ^b
		Rated power	Partial load	Standby		
	Operation					
1	Electrical power output	X	X			
2	Total harmonic distortion	X	X			
3	Fuel consumption	X	X	X		
4	Oxidant consumption	X	X	X		
5	Electrical efficiency ^a	X	X			
6	Heat recovery efficiency ^a	X	X			
7	Overall energy efficiency	X	X			
8	Response of power output					X
9	Startup/shutdown characteristics					X
10	Purge gas consumption					X
11	Water consumption	X	X	X	X	
12	Waste heat	X	X	X		

Tableau 3 (suite)

Elément	Essai	Conditions stables			Maximisation des valeurs mesurées	Etat transitoire ^b
		Puissance de consigne	Charge partielle	En veille		
	Aspects liés à l'environnement					
1	Emission de particules				X	
2	Emission de SO _x , NO _x				X	
3	Emission de CO ₂ , CO				X	
4	Emission d'hydrocarbures totaux et d'hydrogène				X	
5	Niveau de bruit audible	X	X	X	X	X
6	Niveau de vibration	X	X	X	X	X
7	Qualité de l'eau d'écoulement	X	X	X		
^a Essais à réaliser simultanément.						
^b Les essais transitoires incluent les essais d'arrêt.						

8.1.3 Variation maximale admissible dans les conditions de fonctionnement stable

Les variations maximales admissibles sont données au Tableau 4.

Les variations au-delà des valeurs admissibles du Tableau 4 sont autorisées, si les résultats du calcul total d'incertitude sont acceptables pour les parties prenantes à l'essai.

Tableau 4 – Variations maximales admissibles dans les conditions de fonctionnement d'essai

Paramètre	Variation admissible au cours de la session d'essai
Paramètre de stabilisation du système, conforme aux spécifications du fabricant et accepté par les parties prenantes	Selon spécifications
Puissance active de sortie, kW	±2 %
Puissance totale, kVA	±2 %
Pression barométrique sur site	±0,5 %
Température de l'air en entrée	±3 K
Pouvoir calorifique – combustible par unité de volume	±1 %
Pression du combustible gazeux tel qu'il est délivré au système	±1 %
Pression absolue des gaz d'échappement	±0,5 %
Pression absolue de l'air en entrée du système	±0,5 %
Taux de rejet de chaleur sur taux de refroidissement externe	±2 %
Débit de combustible	±2 %
Température du combustible	±2 K
Température de l'énergie thermique secondaire en entrée	±3 K
Débit de fourniture de l'énergie thermique secondaire en entrée	±2 %
Débit d'air/d'oxydant en entrée	Non spécifié
Débit d'énergie thermique en sortie	±2 %
Distorsion harmonique totale: THD ^a	±2 %
Ce tableau se réfère à l'ASME-PTC50. Appareils et méthodes de mesure.	
^a Pour THD uniquement: pour THD avec une valeur moyenne de 5 %, les valeurs THD entre 3 % et 7 % sont acceptables.	

Table 3 (continued)

Item	Test	Steady state conditions			Maxi- mizing measured values	Transient state ^b
		Rated power	Partial load	Standby		
	Environmental aspects					
1	Particulate emission				X	
2	SO _x , NO _x emission				X	
3	CO ₂ , CO emission				X	
4	Total hydrocarbon, hydrogen emission				X	
5	Audible noise level	X	X	X	X	X
6	Vibration level	X	X	X	X	X
7	Discharge water quality	X	X	X		
^a Tests to be performed concurrently.						
^b Transient testing includes shutdown testing.						

8.1.3 Maximum permissible variation in steady-state operating conditions

The maximum permissible variations are given in Table 4.

Variations beyond the allowable values in Table 4 are allowed, if the total uncertainty calculation results are acceptable to the parties to the test.

Table 4 – Maximum permissible variations in test operating conditions

Parameter	Allowable variation during a test run
System stabilization parameter as specified by the manufacturer and agreed to by all parties	As specified
Active power output, kW	±2 %
Total power, kVA	±2 %
Barometric pressure at site	±0,5 %
Inlet air temperature	±3 K
Heat value – fuel per unit volume	±1 %
Gaseous fuel pressure as delivered to system	±1 %
Absolute exhaust pressure	±0,5 %
Absolute inlet air pressure to system	±0,5 %
Heat rejection rate to external cooling rate	±2 %
Fuel flow	±2 %
Fuel temperature	±2 K
Secondary thermal energy input temperature	±3 K
Secondary thermal energy input delivery rate	±2 %
Inlet air/oxidant flow rate	Not specified
Thermal energy output delivery rate	±2 %
Total harmonic distortion THD ^a	±2 %
This table refers to ASME-PTC50. Instruments and measurement methods.	
^a For THD only: for the THD with a mean value of 5 %, its values between 3 % and 7 % are acceptable.	

8.1.4 Procédure de fonctionnement d'essai

Les essais suivants doivent être réalisés simultanément:

- puissance électrique de sortie et chaleur récupérée;
- consommation de combustible et d'oxydant.

NOTE Le rendement énergétique total et la chaleur résiduelle du Tableau 3 sont calculés sur la base des valeurs mesurées listées dans les essais mentionnés ci-dessus.

D'autres essais, indiqués ci-dessous, doivent être réalisés de manière efficace au cours des essais des éléments indiqués ci-dessus:

- consommation d'eau, réponse dynamique de puissance de sortie, démarrage/arrêt et consommation de gaz de purge.

8.2 Durée d'essai et fréquence des valeurs lues

La durée et la fréquence de lecture appropriées des valeurs sont déterminées conformément au type de système à pile à combustible en essai. Un nombre suffisant de mesures et un nombre d'ensembles de mesures doivent être établis en tenant compte des exigences concernant les fluctuations de données, la stabilité des valeurs moyennes et l'analyse de l'incertitude.

L'évaluation de la puissance électrique de sortie, du rendement électrique et du rendement de l'énergie thermique récupérable (si cela est applicable) doit être réalisée trois fois de manière consécutive, la durée de chaque session d'essai n'étant pas inférieure à 10 min. Ces conditions doivent être déterminées par les résultats de l'analyse d'incertitude.

NOTE Lors des calculs des résultats des essais, la détermination peut être réalisée avec des valeurs moyennées d'observations faites au cours d'une seule session d'essai.

8.3 Calcul des résultats

8.3.1 Puissance électrique

Les puissances électriques d'entrée et de sortie doivent être mesurées au cours d'une seule session d'essai conformément à 7.3.1 à trois charges différentes comme défini en 8.1.

a) Puissance électrique en sortie

Lorsque le voltage, l'intensité et le facteur de puissance électrique de sortie sont mesurés, la puissance électrique de sortie, P_{out} (W) est calculée comme suit:

1) Système triphasé

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V_{out} \times I_{out} \times \lambda_{out}$$

où

V_{out} est le voltage électrique de sortie (entre phases) (V);

I_{out} est l'intensité du courant électrique de sortie (A);

λ_{out} est le facteur de puissance électrique de sortie.

2) Système monophasé

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \lambda_{out}$$

où

V_{out} est le voltage électrique de sortie (entre phase et neutre) (V);

I_{out} est l'intensité du courant électrique de sortie (A);

λ_{out} est le facteur de puissance électrique de sortie.

8.1.4 Test operating procedure

The following tests shall be done concurrently:

- electrical output power and recovered heat;
- fuel consumption and oxidant consumption.

NOTE Overall energy efficiency and waste heat in Table 3 are calculated on the basis of measured values given in the tests mentioned above.

The following other tests shall be executed efficiently during testing the test items mentioned above:

- water consumption, dynamic response of power output, start-up/shutdown and purge gas consumption.

8.2 Duration of test and frequency of readings

The appropriate duration and frequency of readings are determined according to the type of fuel cell power system tested. A sufficient number of measurements and number of measurement sets shall be established on the basis of requirements for data fluctuations, stability of average values, and the uncertainty analysis.

The evaluation of electrical power output, electrical efficiency and heat recovery efficiency (if applicable) shall be carried out three times consecutively, the duration of each test run being not less than 10 min. These conditions shall be determined by the results of the uncertainty analysis.

NOTE Whilst computing the results of the tests, the determination may be made with averaged values of observations made during a single test run.

8.3 Computation of results

8.3.1 Electrical power

Electrical power output and input shall be measured during a single test run in accordance with 7.3.1 at three different loads as defined in 8.1.

a) Electrical power output

When the voltage, current, and power factor of electrical power output are measured, electrical power output, P_{out} (W) is calculated as follows:

1) Three-phase system

$$P_{out} = \sqrt{3} \times V_{out} \times I_{out} \times \lambda_{out}$$

where

V_{out} is the voltage of electrical power output (line to line) (V);

I_{out} is the current of electrical power output (A);

λ_{out} is the power factor of electrical power output.

2) Single-phase system

$$P_{out} = V_{out} \times I_{out} \times \lambda_{out}$$

where

V_{out} is the voltage of electrical power output (line to neutral) (V);

I_{out} is the current of electrical power output (A);

λ_{out} is the power factor of electrical power output.

3) Courant continu

$$P_{\text{out}} = V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}$$

où

V_{out} est le voltage électrique de sortie (V);

I_{out} est l'intensité du courant électrique de sortie (A).

b) Puissance électrique d'entrée provenant d'une source de puissance extérieure

La puissance d'entrée doit être mesurée au même moment que la puissance de sortie à chaque charge.

Lorsque le voltage, l'intensité et le facteur de puissance électrique d'entrée sont mesurés et exprimés respectivement comme V_{in} , I_{in} et λ_{in} , la puissance électrique d'entrée, P_{in} , est calculée en utilisant les mêmes équations que ci-dessus.

8.3.2 Consommation de combustible

8.3.2.1 Généralités

Cet Article donne la méthode de calcul pour obtenir la consommation de combustible et d'énergie combustible correspondant à la consommation de combustible.

La consommation de combustible doit être mesurée au cours des essais de la puissance électrique d'entrée et de sortie de 8.3.1. La consommation de combustible est mesurée conformément à 7.3.2 et calculée au moyen des équations suivantes.

8.3.2.2 Combustible gazeux

$$q_{\text{vf0}} = q_{\text{vf}} \times (t_0/t_f) \times (p_f/p_0)$$

$$q_{\text{mf}} = q_{\text{vf0}} \times \rho_{\text{f0}}$$

où

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence (m^3/s);

q_{vf} est le débit volumétrique du combustible à la température t_f et à la pression p_f (m^3/s);

q_{mf} est le débit massique du combustible (kg/s);

ρ_{f0} est la masse volumique du combustible brut aux conditions de référence (kg/m^3);

t_0 est la température de référence (288,15 K);

p_0 est la pression de référence (101,325 kPa);

t_f est la température du combustible aux conditions d'essai (K);

p_f est la pression du combustible aux conditions d'essai (kPa).

8.3.2.3 Combustible liquide

$$q_{\text{mf}} = q_{\text{vf0}} \times \rho_{\text{f0}}$$

où

q_{mf} est le débit massique du combustible (kg/s);

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence (m^3/s);

ρ_{f0} est la masse volumique du combustible brut aux conditions de référence (kg/m^3).

3) Direct current

$$P_{\text{out}} = V_{\text{out}} \times I_{\text{out}}$$

where

V_{out} is the voltage of electrical power output (V);

I_{out} is the current of electrical power output (A).

b) Electrical power input from external power source

The power input shall be measured at the same time as the power output is measured at each load.

When the voltage, current, and power factor of the electrical power input are measured, and expressed respectively as V_{in} , I_{in} , and λ_{in} , electrical power input, P_{in} , is calculated using the same equations as above.

8.3.2 Fuel consumption**8.3.2.1 General**

This Clause provides the computation method to obtain the fuel consumption and fuel energy corresponding to the fuel consumption.

Fuel consumption shall be measured during the electrical power input and output testing in 8.3.1. Fuel consumption is measured in accordance with 7.3.2 and calculated by means of the following equations.

8.3.2.2 Gaseous fuel

$$q_{\text{vf0}} = q_{\text{vf}} \times (t_0/t_f) \times (p_f/p_0)$$

$$q_{\text{mf}} = q_{\text{vf0}} \times \rho_{\text{f0}}$$

where

q_{vf0} is the volumetric flow rate of fuel at the reference conditions (m^3/s);

q_{vf} is the volumetric flow rate of the fuel at temperature t_f and pressure p_f (m^3/s);

q_{mf} is the mass flow rate of fuel (kg/s);

ρ_{f0} is the density of raw fuel at the reference conditions (kg/m^3);

t_0 is the reference temperature (288,15 K);

p_0 is the reference pressure (101,325 kPa);

t_f is the temperature of fuel at test conditions (K);

p_f is the pressure of the fuel at test conditions (kPa).

8.3.2.3 Liquid fuel

$$q_{\text{mf}} = q_{\text{vf0}} \times \rho_{\text{f0}}$$

where

q_{mf} is the mass flow rate of fuel (kg/s);

q_{vf0} is the volumetric flow rate of the fuel at the reference condition (m^3/s);

ρ_{f0} is the density of raw fuel at the reference conditions (kg/m^3).

8.3.3 Calcul de l'énergie du combustible

8.3.3.1 Combustible gazeux

L'énergie d'un mélange combustible de composition connue à une température t_f et une pression p_f est calculée à partir de l'équation suivante:

$$E_{fv} = (Q_{f0} + h_f - h_{f0} + E_{pf})/M_o$$

où

E_{fv} est l'énergie du combustible par unité de volume (kJ/m^3), donné dans le Tableau B.1 et la feuille de calcul de l'Annexe B;

Q_{f0} est le pouvoir calorifique du combustible aux conditions de référence (kJ/mol);

h_f est l'enthalpie spécifique du combustible à la température t_f (kJ/mol);

h_{f0} est l'enthalpie spécifique du combustible à la température de référence t_0 (kJ/mol);

E_{pf} est l'énergie de pression du combustible (kJ/mol);

M_o est le volume molaire de référence du gaz idéal, ($2,3645 \times 10^{-2} \text{m}^3/\text{mol}$) (à la température de référence pour la présente norme, $t_0 = 288,15 \text{ K}$).

Le pouvoir calorifique du combustible, Q_{f0} (kJ/mol), aux conditions de référence est calculé à partir de l'équation:

$$Q_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j Q_{f0j}$$

où

Q_{f0j} est le pouvoir calorifique du composant j à la température de référence t_0 (kJ/mol);

x_j est le rapport molaire du composant j donné dans le Tableau B.1 et la feuille de calcul de l'Annexe B;

j est un composant du combustible;

N est le nombre de composants du gaz combustible.

NOTE 1 Les valeurs numériques de Q_{f0j} sont données au Tableau B.1.

L'enthalpie spécifique du combustible, h_f (kJ/mol), est calculée à partir de l'équation:

$$h_f = \sum_{j=1}^N x_j h_{fj}$$

où

h_{fj} est l'enthalpie spécifique du composant j à la température t_f (kJ/mol);

x_j est le ratio moléculaire du composant j ;

et, h_{fj} (kJ/mol) est donné par l'équation suivante:

$$h_{fj} = (A_j \times t_f + (B_j/2\,000) \times t_f^2 + (C_j/3 \times 10^6) \times t_f^3) \times 10^{-3}$$

où

A_j , B_j and C_j sont les constantes du composant j et sont données sur la feuille 1 de l'Annexe B;

t_f est la température du combustible aux conditions d'essai (K).

8.3.3 Calculation of fuel energy

8.3.3.1 Gaseous fuel

The input energy of fuel at a temperature t_f , a pressure p_f of a mixture of known composition is calculated from the following equation

$$E_{fv} = (Q_{f0} + h_f - h_{f0} + E_{pf})/M_0$$

where

E_{fv} is the input energy of the fuel per unit of volume (kJ/m³), as given in Table B.1 and Worksheet of Annex B;

Q_{f0} is the heating value of the fuel at reference conditions (kJ/mol);

h_f is the specific enthalpy of the fuel at temperature t_f (kJ/mol);

h_{f0} is the specific enthalpy of the fuel at the reference temperature t_0 (kJ/mol);

E_{pf} is the pressure energy of the fuel (kJ/mol);

M_0 is the reference molar volume of ideal gas; ($2,3645 \times 10^{-2}$ m³/mol) (at the reference temperature for this standard, $t_0 = 288,15$ K).

The heating value of fuel, Q_{f0} , (kJ/mol), at the reference conditions is calculated as follows

$$Q_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j Q_{f0j}$$

where

Q_{f0j} is the heating value of component j at the reference temperature t_0 (kJ/mol);

x_j is the molar ratio of component j , as given in Table B.1 and Worksheet of Annex B;

j is a component of the fuel;

N is the number of fuel gas constituent.

NOTE 1 Numerical values of Q_{f0j} are given in Table B.1.

The specific enthalpy of fuel, h_f (kJ/mol), is calculated from the equation

$$h_f = \sum_{j=1}^N x_j h_{fj}$$

where

h_{fj} is the specific enthalpy of component j at temperature t_f (kJ/mol);

x_j is the molar ratio of component j ;

and, h_{fj} (kJ/mol) is given by the following equation

$$h_{fj} = (A_j \times t_f + (B_j/2\,000) \times t_f^2 + (C_j/3 \times 10^6) \times t_f^3) \times 10^{-3}$$

where

A_j , B_j and C_j are the constants of component j and given in Worksheet 1 of Annex B;

t_f is the temperature of fuel at test conditions (K).

NOTE 2 L'enthalpie spécifique du combustible, h_f (kJ/mol), à la température de référence est calculée en substituant t_0 par t_f dans l'équation ci-dessus de h_{fj} .

L'énergie de pression du combustible, E_{pf} (kJ/mol), est calculée à partir de l'équation:

$$E_{pf} = R \times t_0 \times \ln(p_f/p_0)$$

où

R est la constante des gaz parfaits (8,314 J/mol K);

t_0 est la température de référence (288,15 K);

p_0 est la pression de référence (101,325 kPa);

p_f est la pression du combustible (kPa).

8.3.3.2 Combustible liquide

L'énergie du combustible, E_{fv} (kJ/mol), à une température de t_f est calculée à partir de l'équation suivante:

$$E_{fv} = \rho_f \times Q_{fl}$$

où

ρ_f est la masse volumique du combustible à la température t_f (kg/m³) mesurée conformément à la norme internationale applicable au combustible liquide utilisé lors des essais;

Q_{fl} est le pouvoir calorifique mesuré du combustible (kJ/kg), et il est mesuré conformément aux méthodes détaillées dans l'ASTM D4809-00 à la température t_f .

8.3.4 Consommation d'oxydant (air)

Mesurer la consommation d'oxydant (air) conformément à 7.3.6 au cours des essais comme indiqué au Tableau 4.

Lorsque le débit mesuré de l'oxydant (air) est fourni en volume, le débit massique doit être calculé avec l'équation suivante:

$$q_{va0} = q_{va} \times (t_0/t_a) \times (p_a/p_0)$$

$$q_{ma} = q_{va0} \times \rho_{ao}$$

où

q_{va0} est le débit volumétrique de l'oxydant (air) aux conditions de référence (m³/s);

q_{va} est le débit volumétrique de l'oxydant (air) à la température t_a et à la pression p_a (m³/s);

q_{ma} est le débit massique de l'oxydant (air) (kg/s);

ρ_{ao} est la masse volumique de l'oxydant (air) aux conditions de référence (kg/m³);

t_0 est la température de référence (288,15 K);

p_0 est la pression de référence (101,325 kPa);

t_a est la température de l'oxydant aux conditions d'essai (K);

p_a est la pression de l'oxydant aux conditions d'essai (kPa).

NOTE Ces valeurs sont fournies comme valeurs moyennes au cours de la période d'essai.

NOTE 2 The specific enthalpy of the fuel, h_{f0} (kJ/mol) at the reference temperature is calculated with substituting t_0 for t_f in the above equation of h_{fj} .

The pressure energy of fuel, E_{pf} (kJ/mol) is calculated from the following equation:

$$E_{pf} = R \times t_0 \times \ln(p_f/p_0)$$

where

R is the universal gas constant (8,314 J/mol K);

t_0 is the reference temperature (288,15 K);

p_0 is the reference pressure (101,325 kPa);

p_f is the pressure of fuel (kPa).

8.3.3.2 Liquid fuel

The energy of fuel, E_{fv} (kJ/mol) at a temperature t_f is calculated from the following equation:

$$E_{fv} = \rho_f \times Q_{fl}$$

where

ρ_f is the density of fuel at temperature t_f (kg/m³) and is measured according to the relevant International Standard applicable to liquid fuel applied to testing;

Q_{fl} is the measured heating value of the fuel (kJ/kg) and is measured according to the methods detailed in ASTM D4809–00 at temperature t_f .

8.3.4 Oxidant (air) consumption

Oxidant (air) flow is measured in accordance with 7.3.6 during testing as shown in Table 4.

When the measured flow rate of the oxidant (air) is provided in volume, the mass flow rate shall be calculated by means of the following equation:

$$q_{va0} = q_{va} \times (t_0/t_a) \times (p_a/p_0)$$

$$q_{ma} = q_{va0} \times \rho_{ao}$$

where

q_{va0} is the volumetric flow rate of the oxidant (air) at the reference conditions (m³/s);

q_{va} is the volumetric flow rate of the oxidant (air) at temperature t_a and pressure p_a (m³/s);

q_{ma} is the mass flow rate of the oxidant (air) (kg/s);

ρ_{ao} is the density of the oxidant (air) at the reference conditions (kg/m³);

t_0 is the reference temperature (288,15 K);

p_0 is the reference pressure (101,325 kPa);

t_a is the temperature of the oxidant at test conditions (K);

p_a is the pressure of the oxidant at test conditions (kPa).

NOTE These values are provided as average values during the test period.

8.3.5 Calcul de l'énergie de l'oxydant (air)

Lorsqu'un oxydant (air) chaud ou sous pression est directement fourni au système à pile à combustible, l'énergie de l'oxydant (air) doit être calculée sur la base des conditions de l'oxydant (air) au point d'interface du système à pile à combustible.

L'énergie de l'oxydant (air) à une température t_a et à une pression p_a est calculée à partir de l'équation suivante:

$$E_{av} = (h_a - h_{a0} + E_{pa})/M_0$$

où

- E_{av} est l'énergie de l'oxydant (air) par unité de volume (kJ/m³);
- h_a est l'enthalpie spécifique de l'oxydant (air) à la température t_a (kJ/mol);
- h_{a0} est l'enthalpie spécifique de l'oxydant (air) à la température t_0 (kJ/mol);
- E_{pa} est l'énergie de pression de l'oxydant (air) (kJ/mol);
- M_0 est le volume molaire de référence du gaz idéal; ($2,3645 \times 10^{-2}$ m³/mol) (à la température de référence pour la présente norme, $t_0 = 288,15$ K).

L'enthalpie spécifique de l'oxydant (air) à la température t_a est calculée à partir de l'équation:

$$h_a = (A_a \times t_a + (B_a/2000) \times t_a^2 + (C_a/3 \times 10^6) \times t_a^3) \times 10^{-3}$$

où

- h_a est calculé. D'autres oxydants doivent avoir leur enthalpie calculée séparément (kJ/mol);
- A_a , B_a , et C_a sont les constantes de l'oxydant (air), et les valeurs numériques de A_a , B_a , et C_a (pour l'air) sont données sur la feuille de calcul 2 de l'Annexe B;
- t_a est la température de l'oxydant (K).

L'énergie de pression de l'oxydant (air), E_{pa} (kJ/mol) est calculée par l'équation:

$$E_{pa} = R \times t_0 \times \ln(p_a/p_0)$$

où

- R est la constante des gaz parfaits (8,314 J/mol K);
- t_0 est la température de référence (288,15 K);
- p_0 est la pression de référence (101,325 kPa);
- p_a est la pression de l'oxydant (kPa).

8.3.6 Rendement électrique

Le rendement électrique est calculé comme suit, sur la base des valeurs de mesure de la puissance électrique de sortie et d'entrée données en 8.3.1 et de l'énergie fournie par le combustible et de l'oxydant (air) donnés respectivement en 8.3.3 et 8.3.5.

NOTE Si PCS, le pouvoir calorifique supérieur s'applique pour Q_{in} , voir 4.3.

Le rendement électrique η_e (%);

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{Q_{in}} \times 100$$

8.3.5 Calculation of oxidant (air) energy

When hot or pressurized oxidant (air) is directly supplied to the fuel cell power system, the energy of the oxidant (air) shall be calculated on the basis of the conditions of the oxidant (air) at the interface point of the fuel cell power system.

The energy of air at a temperature t_a and a pressure p_a is calculated from the equation:

$$E_{av} = (h_a - h_{a0} + E_{pa})/M_0$$

where

- E_{av} is the input energy of the oxidant (air) per unit of volume (kJ/m³);
- h_a is the specific enthalpy of the oxidant (air) at temperature t_a (kJ/mol);
- h_{a0} is the specific enthalpy of the oxidant (air) at reference temperature t_0 (kJ/mol);
- E_{pa} is the pressure energy of the oxidant (air) (kJ/mol);
- M_0 is the reference molar volume of ideal gas ($2,3645 \times 10^{-2}$ m³/mol) (at the reference temperature, $t_0 = 288,15$ K).

The specific enthalpy of air at the temperature t_f is calculated from the equation:

$$h_a = (A_a \times t_a + (B_a/2\,000) \times t_a^2 + (C_a/3 \times 10^6) \times t_a^3) \times 10^{-3}$$

where

- h_a is calculated. Other oxidants shall have the enthalpy calculated separately (kJ/mol);
- A_a , B_a , and C_a are the constants of oxidant (air), and the numerical values of A_a , B_a , and C_a , (for air) are given in Worksheet 2 of Annex B;
- t_a is the temperature of oxidant (K).

The pressure energy of oxidant (air), E_{pa} (kJ/mol) is calculated by the equation:

$$E_{pa} = R \times t_0 \times \ln(p_a/p_0)$$

where

- R is the universal gas constant (8,314 J/mol K);
- t_0 is the reference temperature (288,15 K);
- p_0 is the reference pressure (101,325 kPa);
- p_a is the pressure of oxidant (kPa).

8.3.6 Electrical efficiency

Electrical efficiency is calculated as follows, based on the measurement values of the electrical power output and input given in 8.3.1 and input energy supplied by the fuel and the oxidant (air) respectively given in 8.3.3 and 8.3.5.

NOTE If HHV, higher heating value is applied for Q_{in} , see 4.3.

The electrical efficiency η_e (%);

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{Q_{in}} \times 100$$

Et l'énergie fournie par le combustible et l'oxydant, Q_{in} , (kJ/s):

$$Q_{in} = (q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})$$

tel que,

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{(q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})} \times 100$$

où

P_{out} est la puissance active électrique de sortie (kW);

P_{in} est la puissance active électrique d'entrée pour la charge parasite, etc. (kW);

E_{fv} est l'énergie du combustible par unité de volume (kJ/m³);

E_{av} est l'énergie de l'air par unité de volume (kJ/m³);

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence t_0 et p_0 (m³/s);

q_{va0} est le débit volumétrique de l'air aux conditions de référence t_0 et p_0 (m³/s).

8.3.7 Rendement de l'énergie thermique récupérable

8.3.7.1 Généralités

La chaleur récupérée doit être mesurée conformément à 7.3.4, au cours des essais de performances d'entrée et de sortie de puissance électrique décrits en 7.3.1. La chaleur récupérée est calculée par l'équation donnée en 8.3.7.2.

Le rendement de l'énergie thermique récupérable est calculé par l'équation de 8.3.7.3 sur la base des valeurs de mesure de la chaleur récupérée de 7.3.4 et de l'énergie d'entrée Q_{in} , (kJ/s) de 8.3.6.

NOTE Si PCS, le pouvoir calorifique supérieur s'applique pour Q_{in} , voir 4.3.

8.3.7.2 Calcul du débit d'énergie thermique récupérable

La puissance thermique récupérée, Q_{HR} , est calculée au moyen de l'équation suivante:

$$Q_{HR} = h_{HR1} \times q_{mHR1} - h_{HR2} \times q_{mHR2}$$

où

h_{HR1} est l'enthalpie spécifique (kJ/kg) du fluide d'énergie récupérable à la température t_{HR1} et à la pression p_{HR1} ;

h_{HR2} est l'enthalpie spécifique (kJ/kg) du fluide d'énergie récupérable à la température t_{HR2} et à la pression p_{HR2} ;

q_{mHR1} est le débit massique du fluide d'énergie récupérable à l'interface de la sortie du fluide (kg/s);

q_{mHR2} est le débit massique du fluide d'énergie récupérable à l'interface de l'entrée du fluide (kg/s).

8.3.7.3 Calcul du rendement de l'énergie thermique récupérable

Le rendement de l'énergie thermique récupérable est calculé en pourcentage.

And the input energy supplied by fuel and oxidant, Q_{in} , (kJ/s):

$$Q_{in} = (q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})$$

such that

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{(q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})} \times 100$$

where

P_{out} is the active power of electrical power output (kW);

P_{in} is the active power of electrical power input for parasitic load, etc. (kW);

E_{fv} is the input energy of the fuel per unit volume (kJ/m³);

E_{av} is the input energy of the air per unit volume (kJ/m³);

q_{vf0} is the volumetric flow rate of the fuel at the reference conditions, t_0 and p_0 (m³/s);

q_{va0} is the volumetric flow rate of the air at the reference conditions, t_0 and p_0 (m³/s).

8.3.7 Heat recovery efficiency

8.3.7.1 General

The recovered heat shall be measured in accordance with 7.3.4, during the electrical power input and electrical power output performance tests in 7.3.1. The recovered heat is calculated by the equation given in 8.3.7.2.

Heat recovery efficiency is calculated by the equation in 8.3.7.3 on the basis of the measurement values of the recovered heat given in 7.3.4 and the input energy Q_{in} , (kJ/s) in 8.3.6.

NOTE If HHV, higher heating value is applied for Q_{in} , see 4.3.

8.3.7.2 Calculation of heat recovery rate

The recovered thermal power, Q_{HR} , is calculated by means of the following equation:

$$Q_{HR} = h_{HR1} \times q_{mHR1} - h_{HR2} \times q_{mHR2}$$

where

h_{HR1} is the specific enthalpy (kJ/kg) of heat recovery fluid at temperature t_{HR1} and at pressure p_{HR1} ;

h_{HR2} is the specific enthalpy (kJ/kg) of heat recovery fluid at temperature t_{HR2} and at pressure p_{HR2} ;

q_{mHR1} is the mass flow rate of heat recovery fluid at the interface of fluid output (kg/s);

q_{mHR2} is the mass flow rate of heat recovery fluid at the interface of fluid input (kg/s).

8.3.7.3 Heat recovery efficiency calculation

Heat recovery efficiency is calculated in per cent.

Le rendement de l'énergie thermique récupérable η_{th} (%);

$$\eta_{th} = \frac{Q_{HR}}{Q_{in}} \times 100$$

tel que

$$\eta_{th} = \frac{Q_{HR}}{(q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})} \times 100$$

où

Q_{HR} est la puissance thermique récupérée (kJ/s);

Q_{in} est la puissance d'entrée fournie par le combustible et l'oxydant (kJ/s);

Q_{in} est décrit en 8.3.6.

8.3.8 Rendement énergétique total

Le rendement énergétique total, η_{total} (%), est calculé comme suit,

$$\eta_{total} = \eta_e + \eta_{th}$$

où

η_e est le rendement électrique (%);

η_{th} est le rendement de l'énergie thermique récupérable (%).

8.3.9 Caractéristiques de réponse électrique et thermique

8.3.9.1 Généralités

La Figure 3 donne plus d'informations concernant les définitions de 3.1.10 à 3.1.14.

La Figure 4 donne plus d'informations pour les essais de 8.3.9.2.2, 8.3.9.3.2 et 8.3.9.4.2.

La Figure 5 donne plus d'informations pour les essais de 8.3.9.2.3, 8.3.9.3.3 et 8.3.9.4.3.

The heat recovery efficiency η_{th} (%);

$$\eta_{th} = \frac{Q_{HR}}{Q_{in}} \times 100$$

such that,

$$\eta_{th} = \frac{Q_{HR}}{(q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av})} \times 100$$

where

Q_{HR} is the recovered thermal power (kJ/s);

Q_{in} is the input power supplied by fuel and oxidant (kJ/s);

Q_{in} is shown in 8.3.6.

8.3.8 Overall energy efficiency

The overall energy efficiency, η_{total} (%) is calculated as follows,

$$\eta_{total} = \eta_e + \eta_{th}$$

where

η_e is the electrical efficiency (%);

η_{th} is the heat recovery efficiency (%).

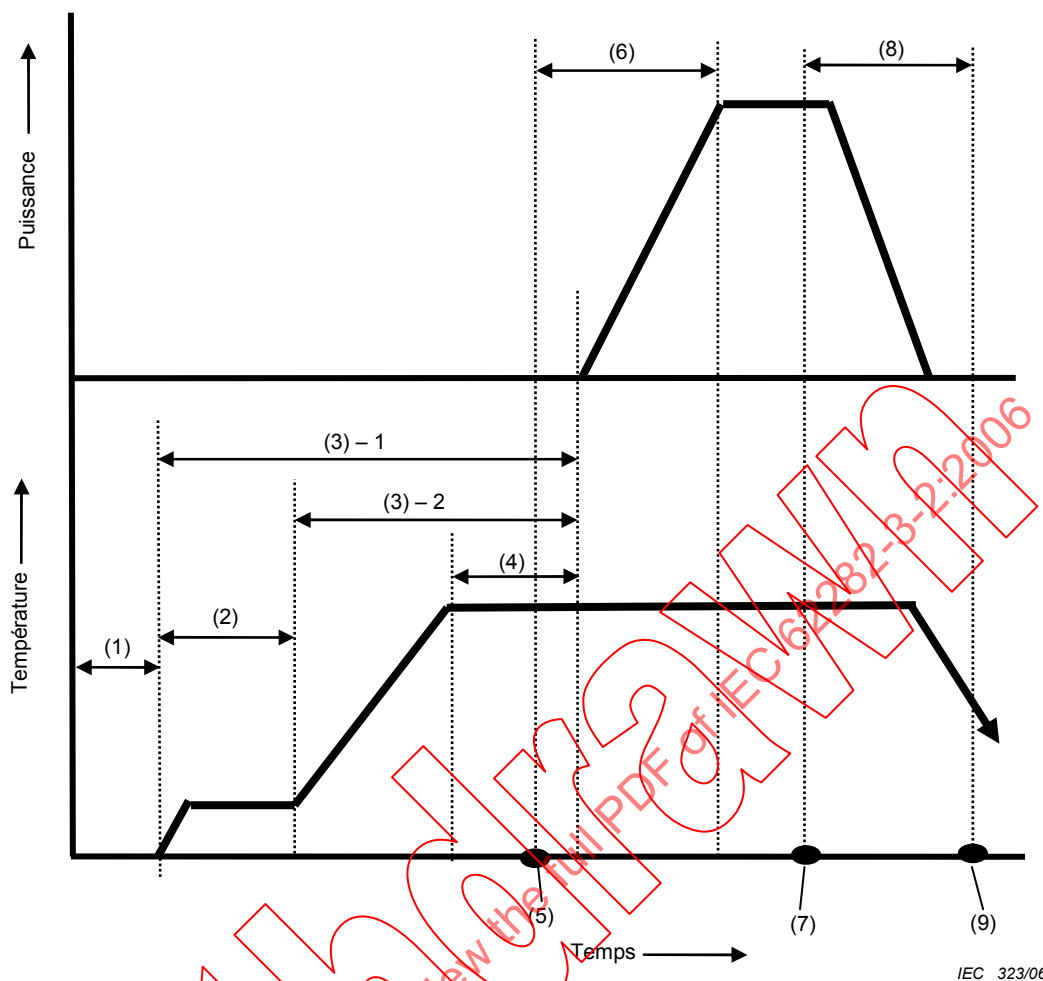
8.3.9 Power and thermal response characteristics

8.3.9.1 General

Figure 3 provides more information for the definitions from 3.1.10 to 3.1.14.

Figure 4 provides more information for the tests in 8.3.9.2.2, 8.3.9.3.2 and 8.3.9.4.2.

Figure 5 provides more information for the tests in 8.3.9.2.3, 8.3.9.3.3 and 8.3.9.4.3.



Légende

- (1) Température ambiante à l'état froid (arrêt), puissance d'entrée zéro
- (2) Etat de stockage

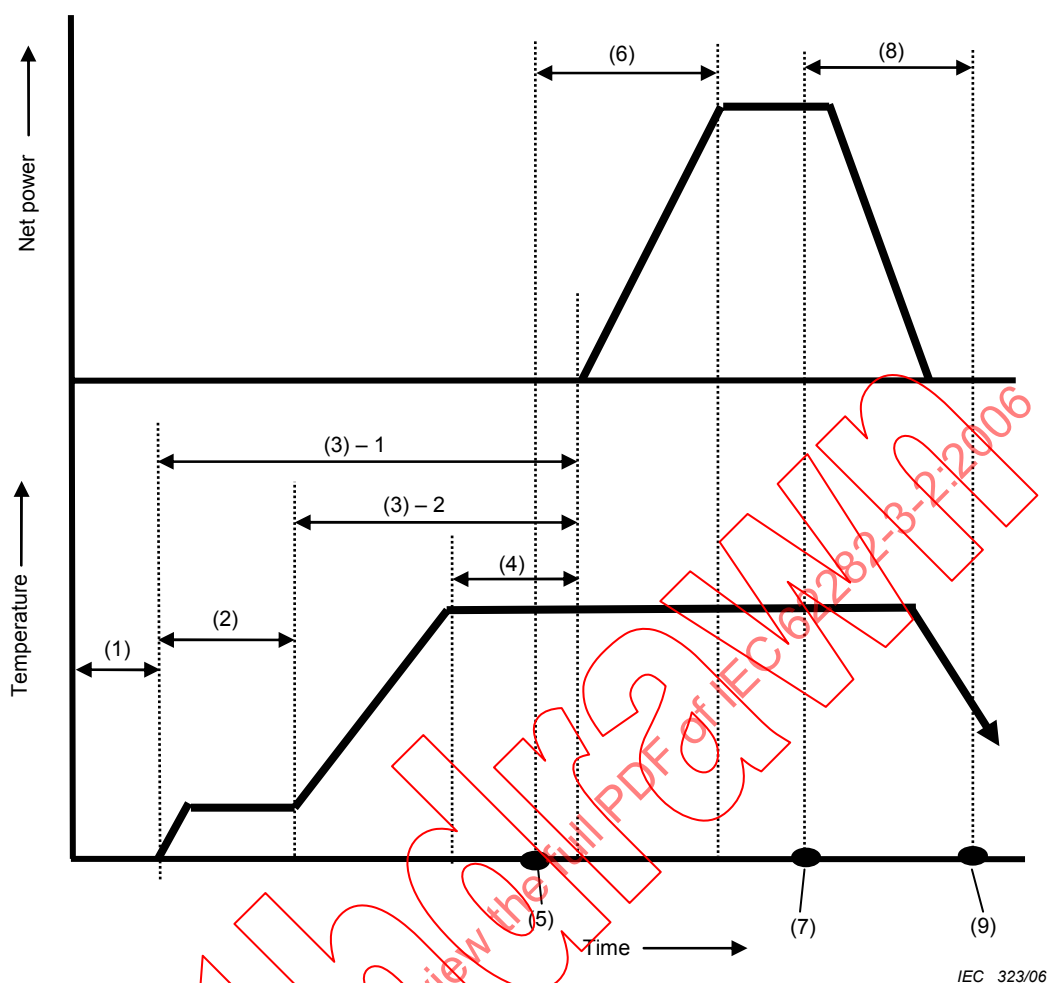
Temps de démarrage

- (3)-1 Pour les systèmes qui ne nécessitent pas de puissance extérieure pour maintenir un état de stockage, la mesure est effectuée à partir de l'état froid
- (3)-2 Pour les systèmes qui nécessitent une puissance extérieure pour maintenir un état de stockage, la mesure est effectuée à partir de l'état de stockage
- (4) Etat de veille
- (5) Action de démarrage initiée
- (6) Temps de réponse à la puissance de consigne
- (7) Action d'arrêt initiée
- (8) Temps d'arrêt
- (9) Condition d'arrêt spécifiée

Mode opérationnel

Le processus de (2) à (8)

Figure 3 – Graphique du processus de fonctionnement du système à pile à combustible



IEC 323/06

Key

- (1) Cold state (shutdown) ambient temperature, zero power input
- (2) Storage state

Start-up time

(3)-1 For systems that do not require external power to maintain a storage state, this is measured from the cold state

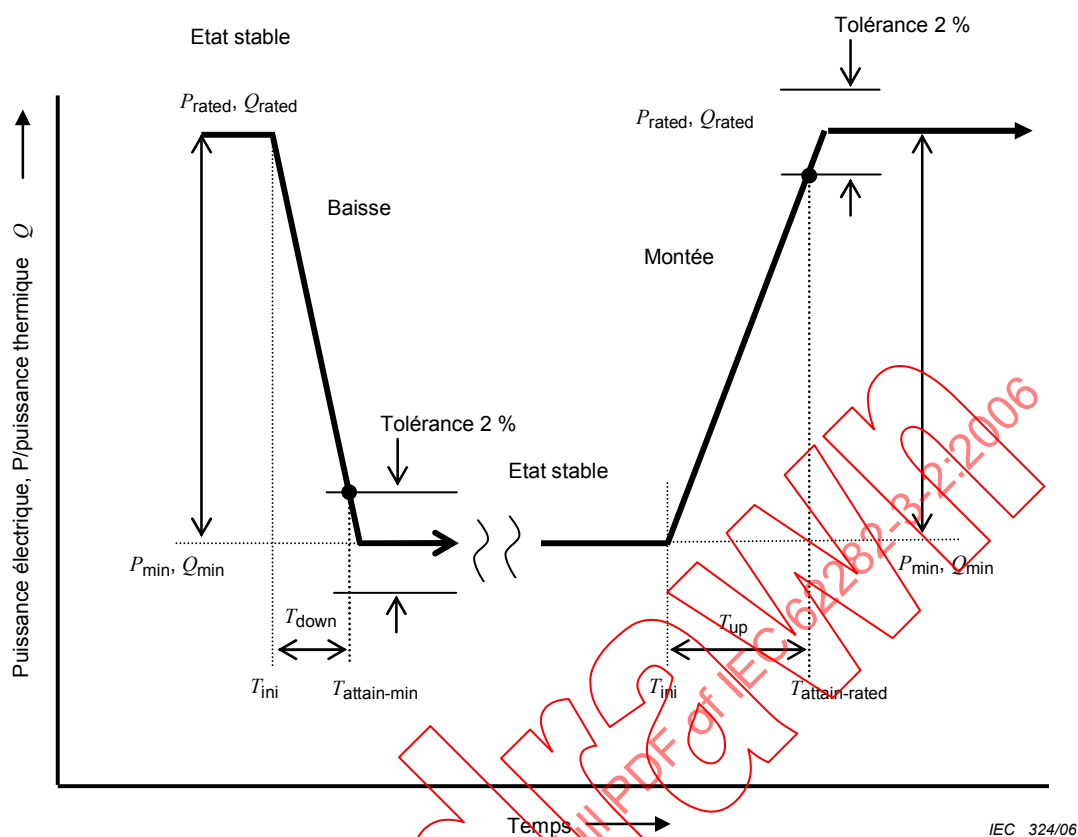
(3)-2 For systems that require external power to maintain a storage state, this is measured from the storage state

- (4) Standby state
- (5) Power up action initiated
- (6) Response time to rated power
- (7) Shutdown action initiated
- (8) Shutdown time
- (9) Shutdown condition specified

Operational mode

The process from (2) to (8)

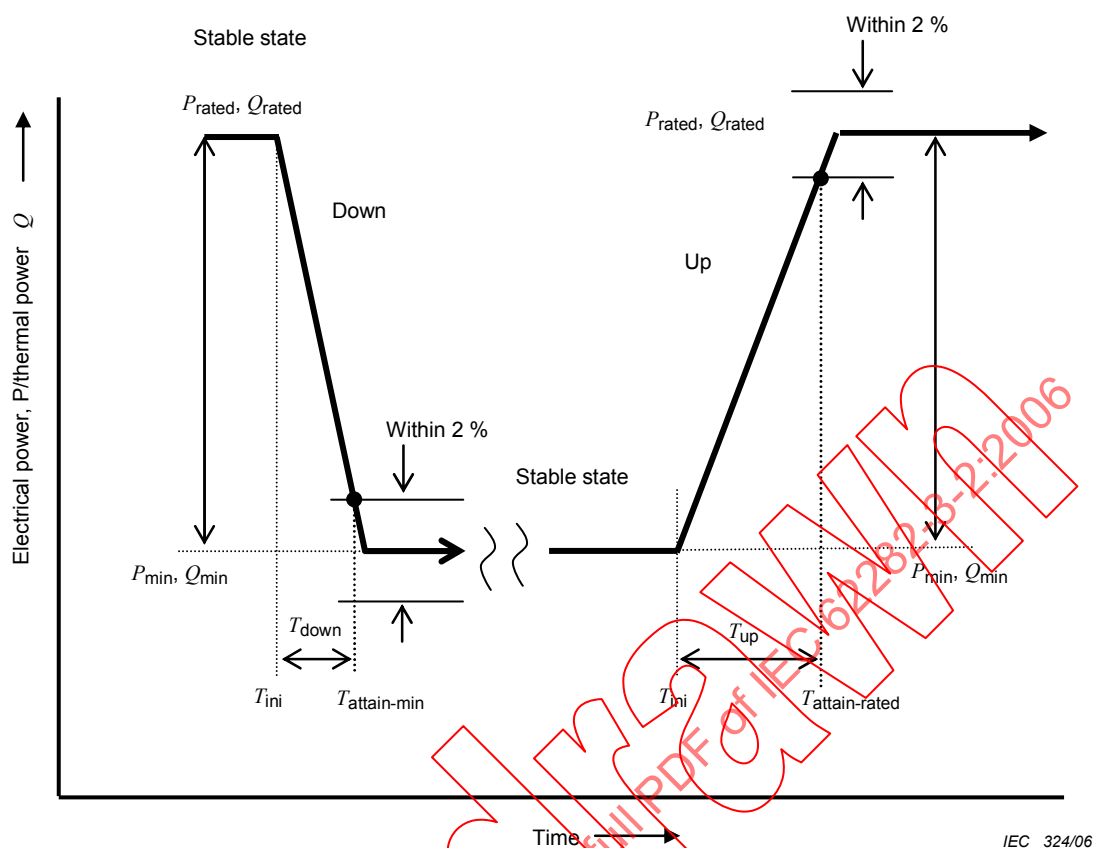
Figure 3 – Operating process chart of fuel cell power system



Légende

- P_{rated}, Q_{rated} Puissance électrique, puissance thermique de sortie de consigne, respectivement
- P_{min}, Q_{min} Puissance, puissance thermique de sortie minimale, respectivement
- T_{ini} Temps du début de changement de puissance de sortie
- $T_{attain-rated}$ Temps à 2 % de la puissance de sortie de consigne
- $T_{attain-min}$ Temps à 2 % de la puissance minimale de sortie
- T_{down} Durée entre T_{ini} et $T_{attain-min}$
- T_{up} Durée entre T_{ini} et $T_{attain-rated}$

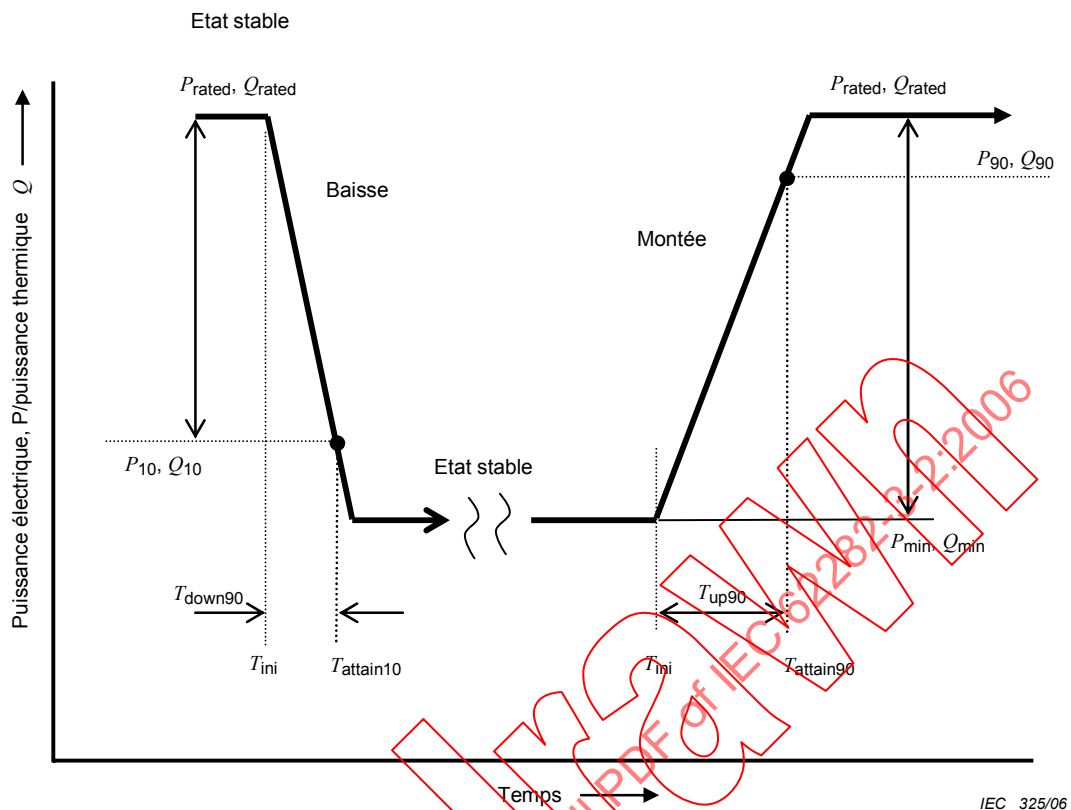
Figure 4 – Taux de réponse de puissance



Key

P_{rated}, Q_{rated}	Nominal electrical power, thermal power output respectively
P_{min}, Q_{min}	Minimum power output, thermal power output respectively
T_{ini}	Time at starting the power output change
$T_{attain-rated}$	Time to attain within 2 % of rated power output
$T_{attain-min}$	Time to attain within 2 % of minimum power output
T_{down}	Period from T_{ini} to $T_{attain-min}$
T_{up}	Period from T_{ini} to $T_{attain-rated}$

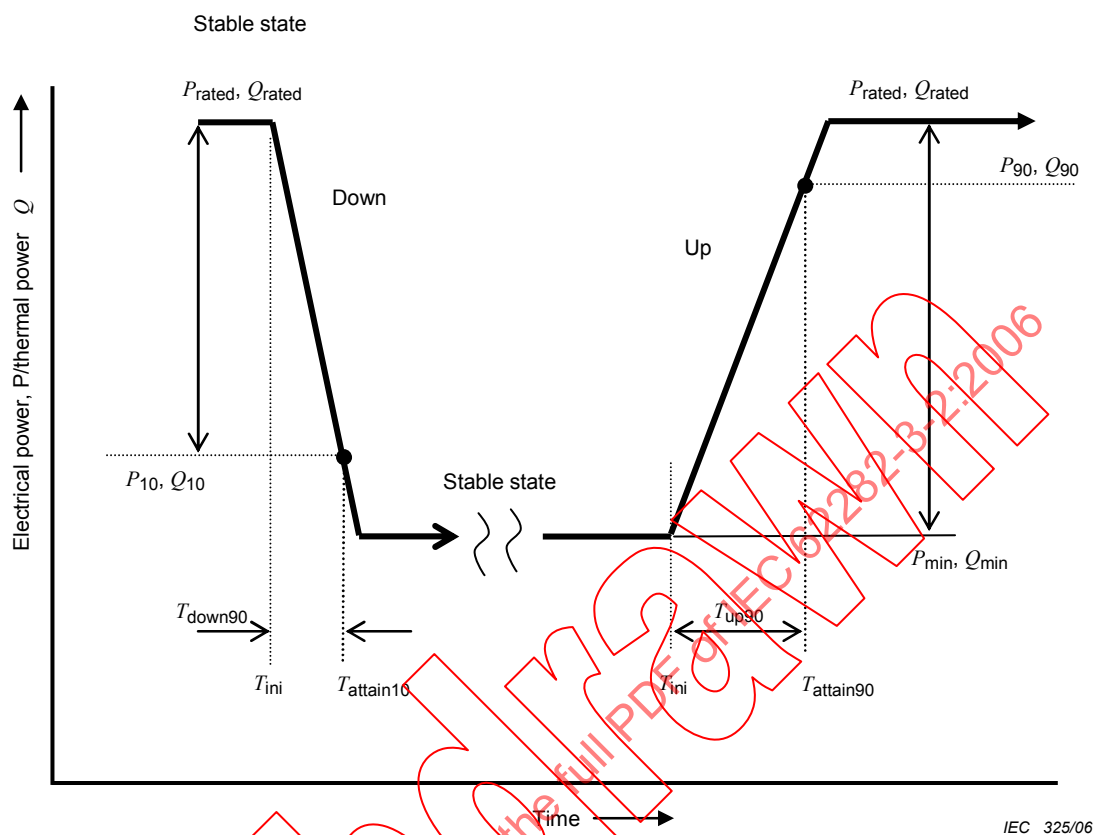
Figure 4 – Power response time ramp rates



Légende

P_{rated}, Q_{rated}	Puissance, puissance thermique de sortie de consigne, respectivement
P_{min}, Q_{min}	Puissance, puissance thermique de sortie minimale, respectivement
P_{10}, Q_{10}	P_{10} , Valeur basse de la puissance de sortie correspondant à 90 % de la différence entre la puissance de consigne et la puissance minimale (W, kW). La valeur peut être supérieure à 10 % de la puissance de consigne et doit être calculée sur la base de la puissance de consigne et de la puissance minimale pour chaque type d'unité conformément aux spécifications du fabricant. Ceci vaut pour Q_{10} , puissance thermique de sortie (kJ/s/s, W, kW)
P_{90}, Q_{90}	Puissance électrique (W, kW) ou thermique (kJ/s/s, W, kW) de sortie à 90 % de la puissance de sortie de consigne
T_{ini}	Temps du début de changement de puissance de sortie
$T_{attain90}$	Temps à P_{90}
$T_{attain10}$	Temps à P_{10}
T_{down90}	Durée entre T_{ini} et $T_{attain10}$ (s)
T_{up90}	Durée entre T_{ini} et $T_{attain90}$ (s)

Figure 5 – Taux de réponse à 90 %



IEC 325/06

Key

P_{rated}, Q_{rated}	Nominal power output, thermal rated power output respectively
P_{min}, Q_{min}	Minimum power output, minimum thermal power output respectively
P_{10}, Q_{10}	P_{10} electrical power output at a low net power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated power and minimum power (W, kW). This may be more than 10 % of rated power and shall be calculated on the basis of the rated power and the minimum power for each type of unit, in accordance with the manufacturer's specifications, as well as for Q_{10} , thermal power output (kJ/s/s, W, kW)
P_{90}, Q_{90}	Electrical power output at 90 % of rated electrical power output (W, kW), as well as for Q_{90} , thermal power output (kJ/s/s, W, kW)
T_{ini}	Time at start of the power output change
$T_{attain90}$	Time at attainment of P_{90}
$T_{attain10}$	Time at attainment of P_{10}
T_{down90}	Period from T_{ini} to $T_{attain10}$ (s)
T_{up90}	Period from T_{ini} to $T_{attain90}$ (s)

Figure 5 – 90 % response time ramp rates

8.3.9.2 Temps de réponse des systèmes indépendants du réseau électrique

8.3.9.2.1 Transitoire de sortie de puissance électrique instantanée acceptable maximale pour les systèmes indépendants du réseau

Pour les systèmes à pile à combustible conçus pour fonctionner de manière individuelle (à savoir indépendamment du réseau électrique), cette procédure d'essai est conçue pour déterminer la transitoire de puissance électrique maximale acceptable par un système à pile à combustible sans changement du mode de fonctionnement. L'essai doit être effectué en alimentant une charge résistive.

La puissance électrique nette de sortie, mesurée conformément à 7.3.1 est surveillée en continu au cours de cet essai.

Une transitoire de puissance électrique est considérée comme acceptable pour un système à pile à combustible si la variation en puissance électrique nette entre une valeur initiale stable (voir 8.1 et Tableau 4) et une nouvelle valeur de sortie électrique nette peut intervenir en 20 ms¹. Seule la puissance électrique de sortie nette est surveillée: toute instabilité ou toute variation ultérieure des autres paramètres donnés au Tableau 4, ainsi que des paramètres de stabilisation (comme spécifié par le fabricant) et des distorsions harmoniques totales, est ignorée dans ce test.

Le fabricant doit spécifier un niveau de transitoire cible. Un fabricant peut, par exemple, spécifier un niveau transitoire cible (par exemple, 57 %) comme capacité transitoire maximale. Les essais sont démarrés à la valeur cible. Si l'essai est passé avec succès, un essai supplémentaire peut être effectué à un niveau de puissance supérieur comme spécifié par le fabricant pour vérifier une capacité supérieure. Si l'essai initial échoue, d'autres essais doivent être conduits en utilisant une variation plus faible du niveau de puissance transitoire, comme spécifié par le fabricant. Au moins un essai doit réussir pour pouvoir consigner un résultat.

Une transitoire montante est obtenue avec le système en état de veille et une valeur initiale de la puissance électrique nette de sortie égale à 0 % de la valeur de sortie de puissance de consigne.

Une transitoire descendante est obtenue avec une valeur initiale de puissance électrique nette égale à 100 % de la puissance de consigne.

8.3.9.2.2 Transitoire de sortie de puissance électrique nette indépendante du réseau

Pour les systèmes à pile à combustible conçus pour fonctionner indépendamment du réseau électrique, le temps de réponse de puissance défini en 3.1.15 pour la puissance électrique nette de sortie doit être observé entre deux conditions de fonctionnement stables vis-à-vis de la distorsion du courant harmonique total² et à la distorsion de tension harmonique totale lorsque la transitoire de sortie de puissance électrique instantanée maximale acceptable définie en 8.3.9.2.1 est demandée au système à pile à combustible qui alimente une charge résistive.

¹ C'est-à-dire, une période d'un signal de 50 Hz. Ce critère est également applicable aux systèmes à pile à combustible qui fournissent un courant alternatif en 60 Hz et à ceux qui fournissent un courant continu. Pour les systèmes pour lesquels cette limite de temps n'est pas appropriée par conception, le fabricant peut spécifier une limite temporelle différente et prévoir des exceptions spécifiques dans le rapport.

² La distorsion du courant harmonique total est égale à la racine carrée de la somme des carrés des amplitudes des courants et tensions harmoniques (jusqu'au 50^e harmonique) divisée par la magnitude de la forme d'onde fondamentale.

8.3.9.2 Grid-independent systems power response times

8.3.9.2.1 Maximum acceptable instantaneous electrical power output transient for grid-independent systems

For fuel cell power systems designed for stand-alone operations (i.e., independent from the electrical grid), this test procedure is designed to determine the maximum electrical power transient that a fuel cell power system can accept without changing operating mode. The test shall be conducted feeding a resistive load.

The net electrical power output, measured in accordance with 7.3.1, is monitored continuously during this test.

An electrical power transient is deemed acceptable to the fuel cell power system if the change in net electrical power output between an initial steady-state value (see 8.1 and Table 4) and a new value of net electrical power output can occur within 20 ms¹. Only net electrical power output is monitored; any instability or subsequent variation of other parameters listed in Table 4, as well as system stabilization parameters (as specified by the manufacturer) and total harmonic distortions, is disregarded in this test.

The manufacturer shall specify a target transient level. For example, a manufacturer may specify a target transient level (for example, 57 %) as their maximum transient capability. Testing is started at the target value. If the test is successful, an additional test may be performed at a higher power level as specified by the manufacturer to verify a higher capability. If the initial test fails, other testing shall be conducted using a smaller transient power level change, as specified by the manufacturer. At least one test shall be successful for a result to be reported.

An up-transient is obtained with an initial steady state of net electrical power output value equal to 0 % rated power output, with the system in the standby state.

A down-transient is obtained with an initial steady state of net electrical power value equal to 100 % rated power.

8.3.9.2.2 Grid-independent net electrical power output transient

For fuel cell power systems designed for grid-independent operation, the power response time defined in 3.1.15 for net electrical power output shall be observed between two steady-state operating conditions with respect to total harmonic current distortion² and total harmonic voltage distortion when the maximum acceptable instantaneous electrical power output transient defined in 8.3.9.2.1, is required from the fuel cell power system feeding a resistive load.

¹ That is, one period of a 50 Hz signal. This criterion is also applicable to fuel cell power systems that provide 60 Hz alternating current and to those that provide continuous current. For systems where this time limit is inappropriate by design, the manufacturer may specify a different time limit and take specific exception to this in the report.

² Total harmonic current distortion is equal to the square root of the sum of squares of the amplitudes of harmonic currents or voltages (up to the 50th harmonic) divided by the magnitude of the fundamental waveform.

La durée de réponse de la puissance électrique de sortie nette doit être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$T_{up} = T_{\text{attain-rated}} - T_{\text{ini}}$$

$$T_{down} = T_{\text{attain-mini}} - T_{\text{ini}}$$

où

T_{ini}	est le moment où le signal de changement de charge électrique est donné, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;
$T_{\text{attain-rated}}$	est le moment où la variation des valeurs de la distorsion harmonique totale atteint la valeur du Tableau 4, définissant ainsi une nouvelle condition de fonctionnement stable après une transitoire montante,
$T_{\text{attain-mini}}$	est le moment où la variation des valeurs de la distorsion harmonique totale atteint la valeur du Tableau 4, définissant ainsi une nouvelle condition de fonctionnement stable après une transitoire descendante,

- a) Transitoire descendante indépendamment du réseau jusqu'à une valeur constante de la distorsion harmonique totale
 - 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans une condition de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie de consigne.
 - 2) Le signal de demande de réduction de la puissance électrique avec une variation de puissance égale à celle déterminée en 8.3.7.2 est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de réponse entre le signal de demande de puissance électrique et le moment où la variation des valeurs de la distorsion harmonique totale atteint la valeur du Tableau 4, définissant ainsi une nouvelle condition de fonctionnement stable vis-à-vis de la distorsion harmonique totale, doit être observée et consignée.
- b) Transitoire montante indépendamment du réseau jusqu'à une valeur constante de la distorsion harmonique totale
 - 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans une condition de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie minimale.
 - 2) Le signal de demande d'augmentation de la puissance électrique avec une variation de puissance égale à celle déterminée en 8.3.7.2 est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système à pile à combustible augmente la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de réponse de puissance entre le signal de demande électrique et le moment où la variation des valeurs de la distorsion harmonique totale atteint la valeur du Tableau 4, définissant ainsi une nouvelle condition de fonctionnement stable vis-à-vis de la distorsion harmonique totale, doit être observée et consignée.

8.3.9.2.3 Temps de réponse de puissance à 90 % des systèmes indépendants du réseau

Pour les systèmes à pile à combustible conçus pour fonctionner indépendamment du réseau, le temps de réponse de puissance défini en 3.1.15 pour la puissance électrique nette de sortie doit être observé entre deux conditions de fonctionnement liés à la valeur de 90 % du signal de demande lorsque la transitoire de sortie de puissance électrique instantanée maximale acceptable définie en 8.3.9.2.1 est demandée au système à pile à combustible qui alimente une charge résistive.

The response duration of net electrical power output shall be calculated by means of the following equation:

$$T_{\text{up}} = T_{\text{attain-rated}} - T_{\text{ini}}$$

$$T_{\text{down}} = T_{\text{attain-mini}} - T_{\text{ini}}$$

where

T_{ini}	is the time when the electrical load change signal is sent, in either direction;
$T_{\text{attain-rated}}$	is the time when the variation of total harmonic distortion values have reached the value of Table 4, thereby defining a new steady-state operating condition at the higher demand level;
$T_{\text{attain-mini}}$	is the time when the variation of total harmonic distortion values have reached the value of Table 4, thereby defining a new steady-state operating condition at the lower demand level.

a) Grid-independent down-transient to steady-state total harmonic distortion

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated electrical power output.
- 2) The request signal for an electrical power-down with a step equal to that determined in 8.3.7.2 is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the electrical power demand signal until the variation of the total harmonic distortion values have reached the value of Table 4, thereby defining a new steady-state operating condition with respect to total harmonic distortion, shall be observed and recorded.

b) Grid independent up-transient to steady-state total harmonic distortion

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum electrical power output.
- 2) The request signal for an electrical power-up with a step equal to that determined in 8.3.7.2 is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system increases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The power response duration from initiation of the electrical power demand signal until the variation of the total harmonic distortion values have reached the value of Table 4, thereby defining a new steady-state operating condition with respect to total harmonic distortion, shall be observed and recorded.

8.3.9.2.3 Grid-independent 90 % power response time

For fuel cell power systems designed for grid-independent operation, the power response time defined in 3.1.15 for net electrical power output shall be observed between two operating conditions with respect to attaining 90 % of the demand signal when the maximum acceptable instantaneous electrical power output transient defined in 8.3.9.2.1, is required from the fuel cell power system feeding a resistive load.

La durée de réponse à 90 % de la puissance électrique de sortie nette doit être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$T_{\text{down}90} = T_{\text{attain-down}90} - T_{\text{ini}}$$

$$T_{\text{up}90} = T_{\text{attain-up}90} - T_{\text{ini}}$$

où

T_{ini}	est le moment où le signal de changement de charge électrique est donné, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;
$T_{\text{attain-down}90}$	est le moment où la puissance électrique nette atteint 90 % de la valeur déterminée en 8.3.9.2.1 pour une transitoire descendante;
$T_{\text{attain-up}90}$	est le moment où la puissance électrique nette atteint 90 % de la valeur déterminée en 8.3.9.2.1 pour une transitoire montante.

- a) Transitoire descendante à 90 % de la demande instantanée maximale, pour un système à pile à combustible indépendant du réseau électrique
 - 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie de consigne.
 - 2) Le signal de demande de réduction de la puissance électrique avec une variation de puissance égale à celle déterminée en 8.3.9.2.1 est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de la réponse doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de réduction de la puissance électrique jusqu'à ce que la puissance de sortie nette atteigne 90 % de la demande.
- b) Transitoire montante à 90 % de la demande instantanée maximale, pour un système à pile à combustible indépendant du réseau électrique
 - 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie minimale.
 - 2) Le signal de demande d'augmentation de la puissance électrique avec une variation de puissance égale à celle déterminée en 8.3.9.2.1 est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système à pile à combustible augmente la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de la réponse de puissance doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande d'augmentation de la puissance électrique jusqu'à ce que la puissance de sortie nette atteigne 90 % de la demande.

8.3.9.3 Temps de réponse de puissance des systèmes connectés au réseau électrique

8.3.9.3.1 Généralités

Ce paragraphe couvre les systèmes à pile à combustible destinés à un fonctionnement avec connexion au réseau électrique.

Les durées de réponse de puissance telles qu'elles sont définies en 3.1.15 sont mesurées au cours des transitoires de puissance électrique en fonctionnement avec connexion au réseau.

The 90 % response time of net electrical power output shall be calculated by means of the following equation:

$$T_{\text{down90}} = T_{\text{attain-down90}} - T_{\text{ini}}$$

$$T_{\text{up90}} = T_{\text{attain-up90}} - T_{\text{ini}}$$

where

T_{ini}	is the time when the electrical load change signal is sent, in either direction;
$T_{\text{attain-down90}}$	is the time when the net electrical power reaches 90 % of the lower demand value determined in 8.3.9.2.1, is reached;
$T_{\text{attain-up90}}$	is the time when the net electrical power reaches 90 % of the upper demand value determined in 8.3.9.2.1, is reached.

a) Grid-independent down-transient to 90 % of maximum instantaneous demand

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated electrical power output.
- 2) The request signal for an electrical power-down with a step equal to that determined in 8.3.9.2.1, is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The response duration shall be observed and recorded from initiation of the electrical power-down demand signal until the net power output reaches 90 % of the demand.

b) Grid-independent up-transient to 90 % of maximum instantaneous demand

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum electrical power output.
- 2) The request signal for an electrical power-up with a step equal to that determined in 8.3.9.2.1, is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system increases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The power response duration shall be observed and recorded from initiation of the electrical power-up demand signal until the net power output reaches 90 % of the demand step.

8.3.9.3 Grid-connected systems power response time

8.3.9.3.1 General

This subclause covers fuel cell power systems intended for grid-connected operation.

The power response time as defined in 3.1.15 will be measured during grid-connected operational power transients as defined below.

La puissance électrique de sortie doit être mesurée de manière stable au cours de l'essai conformément au 7.3.1.

8.3.9.3.2 Réponse de puissance électrique de sortie nette avec connexion au réseau pour une consigne de puissance

Le taux de réponse de puissance électrique de sortie depuis/vers une puissance de consigne doit être calculé en se référant à la Figure 4 au moyen de l'équation suivante:

a) Réponse de réduction de la puissance électrique de la puissance électrique de sortie

$$PR_{\min} = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / (T_{\text{attain-min}} - T_{\text{ini}}) = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / T_{\text{down}}$$

b) Réponse d'augmentation de la puissance électrique de la puissance électrique de sortie

$$PR_{\text{rated}} = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / (T_{\text{attain-rated}} - T_{\text{ini}}) = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / T_{\text{up}}$$

où

$PR_{\min}$ est le taux de réponse de la puissance de consigne vers la puissance minimale (W/s, kW/s):

PR_{rated} est le taux de réponse de la valeur minimale vers la puissance de consigne (W/s, kW/s):

$P_{\min}$ est la puissance électrique de sortie minimale (W, kW);

P_{rated} est la puissance électrique de sortie de consigne (W, kW);

T_{ini} est le point de départ de la variation de charge, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;

$T_{\text{attain-min}}$ est le moment où la puissance de sortie électrique minimale est atteinte avec un intervalle de confiance de 2 %;

$T_{\text{attain-rated}}$ est le moment où la puissance de sortie électrique de consigne est atteinte avec un intervalle de confiance de 2 %;

T_{down} est la durée entre T_{ini} et $T_{\text{attain-min}}$ (s);

T_{up} est la durée entre T_{ini} et $T_{\text{attain-rated}}$ (s).

c) Réponse de réduction de la puissance électrique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la charge électrique de consigne.
- 2) Le signal de réduction de la puissance électrique vers sa valeur minimale est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de la réponse de puissance doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance électrique jusqu'à ce que la puissance électrique atteigne sa valeur de sortie minimale avec un intervalle de confiance de 2 %.

d) Réponse d'augmentation de la puissance électrique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie minimale.
- 2) Le signal d'augmentation de la puissance électrique vers une valeur de consigne est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système de puissance augmente la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de la réponse de puissance doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance électrique jusqu'à ce que la puissance électrique de sortie atteigne sa valeur de consigne avec un intervalle de confiance de 2 %.

The electrical power output shall be measured continuously during the test in accordance with 7.3.1.

8.3.9.3.2 Grid-connected net electrical power output response to rated power

The ramp rate of the power response of electrical power output to and from rated power shall be calculated with reference to Figure 4 by means of the following equation:

a) Up-power response of electrical power output

$$PR_{\min} = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / (T_{\text{attain-min}} - T_{\text{ini}}) = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / T_{\text{down}}$$

b) Down-power response of electrical power output

$$PR_{\text{rated}} = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / (T_{\text{attain-rated}} - T_{\text{ini}}) = (P_{\text{rated}} - P_{\min}) / T_{\text{up}}$$

where

$PR_{\min}$	is the ramp rate from rated to minimum power (W/s, kW/s);
PR_{rated}	is the ramp rate from minimum to rated power (W/s, kW/s);
$P_{\min}$	is the electrical power output at minimum electrical power output (W, kW);
P_{rated}	is the electrical power output at rated electrical power output (W, kW);
T_{ini}	is the time at start of the load change, either direction;
$T_{\text{attain-min}}$	is the time at attainment of the minimum electrical power output within 2 %;
$T_{\text{attain-rated}}$	is the time at attainment of the rated electrical power output within 2 %;
T_{down}	is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain-min}}$ (s);
T_{up}	is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain-rated}}$ (s).

c) Down-power response of electrical power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated electrical load.
- 2) The electrical power-down signal to minimum electrical load is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The power response duration from initiation of the electrical power demand signal until attaining minimum electrical power output, within ± 2 %, shall be observed and reported.

d) Up-power response of electrical power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum electrical power output.
- 2) The electrical power-up signal to rated electrical load is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The power system increases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The power response duration from initiation of the electrical power demand signal until attaining rated electrical power output, within ± 2 %, shall be observed and reported.

8.3.9.3.3 Temps de réponse de puissance à 90 % avec connexion au réseau électrique

Le temps de réponse à 90 % de la demande tel que défini en 3.1.16 doit être mesuré. La puissance électrique de sortie doit être mesurée de manière stable au cours de l'essai conformément à 7.3.1.

Le taux de réponse de la puissance électrique de sortie doit être calculé en se référant à la Figure 5 au moyen de l'équation suivante:

a) Réponse de réduction de la puissance électrique de sortie

$$PR_{down90} = (P_{rated} - P_{10}) / (T_{attain10} - T_{ini}) = (P_{rated} - P_{10}) / T_{down}$$

b) Réponse d'augmentation de la puissance électrique de sortie

$$PR_{up90} = (P_{90} - P_{min}) / (T_{attain90} - T_{ini}) = (P_{90} - P_{min}) / T_{up}$$

où

PR_{up90} est le taux de réponse de la puissance électrique d'une valeur minimale à une valeur égale à 90 % de la puissance électrique de consigne (W/s, kW/s);

PR_{down90} est le taux de réponse de la puissance électrique d'une valeur de consigne à une valeur correspondant à 90 % de la différence totale entre la puissance électrique de consigne et la puissance électrique minimale (W/s, kW/s);

P_{rated} est la puissance électrique de sortie de consigne (W, kW);

P_{90} est la puissance électrique de sortie à 90 % de la puissance électrique de sortie de consigne (W, kW);

P_{10} est la valeur basse de la puissance électrique de sortie correspondant à 90 % de la différence totale entre la puissance électrique de consigne et la puissance électrique minimale (W, kW). La valeur peut être supérieure à 10 % de la puissance électrique de consigne et doit être calculée sur la base de la puissance électrique de consigne et de la puissance électrique minimale pour chaque type d'unité conformément aux spécifications du fabricant;

P_{min} est la puissance électrique de sortie minimale (W, kW);

T_{ini} est le moment où commence la variation de la puissance électrique de sortie, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;

$T_{attain90}$ est le moment où la valeur du niveau de puissance électrique de sortie atteint P_{90} ;

$T_{attain10}$ est le moment où la valeur du niveau de puissance électrique de sortie atteint P_{10} ;

T_{down} est la durée entre T_{ini} et $T_{attain10}$ (s);

T_{up} est la durée entre T_{ini} et $T_{attain90}$ (s).

c) Réponse de réduction de la puissance électrique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie de consigne.
- 2) Le signal de réduction de la puissance électrique vers la puissance électrique de sortie minimale est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de réponse de puissance doit être observée et consignée entre le début du signal de demande de la puissance électrique de sortie jusqu'à ce que la puissance électrique de sortie atteigne une valeur diminuée de 90 % de la différence entre la puissance de consigne et la puissance minimale.

8.3.9.3.3 Grid-connected 90 % power response time

The response time to 90 % of demand as defined in 3.1.16 shall be measured. The electrical power output shall be measured continuously during the test in accordance with 7.3.1.

The ramp rate of the response of electrical power output shall be calculated with reference to Figure 5 by means of the following equation:

a) Down-power response of electrical power output

$$PR_{\text{down}90} = (P_{\text{rated}} - P_{10}) / (T_{\text{attain}10} - T_{\text{ini}}) = (P_{\text{rated}} - P_{10}) / T_{\text{down}}$$

b) Up-response of electrical power output

$$PR_{\text{up}90} = (P_{90} - P_{\text{min}}) / (T_{\text{attain}90} - T_{\text{ini}}) = (P_{90} - P_{\text{min}}) / T_{\text{up}}$$

where

$PR_{\text{up}90}$ is the ramp rate from minimum electrical power to 90 % of rated electrical power (W/s, kW/s);

$PR_{\text{down}90}$ is the ramp rate from rated electrical power to a power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated electrical power and minimum electrical power (W/s, kW/s);

P_{rated} is the electrical power output at rated electrical power output (W, kW);

P_{90} is the electrical power output at 90 % of rated electrical power output (W, kW);

P_{10} is the electrical power output at a low net power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated power and minimum power (W, kW). This may be more than 10 % of rated power and shall be calculated on the basis of the rated power and the minimum electrical power for each type of unit, in accordance with the manufacturer's specifications;

P_{min} is the electrical power output at minimum electrical power output (W, kW);

T_{ini} is the time when the electrical power output change starts, in either direction;

$T_{\text{attain}90}$ is the time at attainment of P_{90} ;

$T_{\text{attain}10}$ is the time at attainment of P_{10} ;

T_{down} is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain}10}$ (s);

T_{up} is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain}90}$ (s).

c) Down-response of electrical power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated electrical power output.
- 2) The electrical power-down signal to minimum electrical power output is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the electrical power output demand signal until attaining 90 % of the step change demand shall be observed and recorded.

d) Réponse d'augmentation de la puissance électrique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance électrique de sortie minimale.
- 2) Le signal d'augmentation de la puissance électrique vers la puissance électrique de sortie de consigne est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système de puissance augmente la puissance électrique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de réponse de puissance doit être observée et consignée entre le début du signal de demande de la puissance électrique de sortie jusqu'à ce que la puissance électrique de sortie atteigne une valeur augmentée de 90 % de la différence entre la puissance électrique minimale et la puissance électrique de sortie de consigne.

8.3.9.4 Réponse de la puissance thermique de sortie

8.3.9.4.1 Généralités

Ce paragraphe couvre les systèmes à pile à combustible destinés à être contrôlés par la puissance thermique de sortie ou qui peuvent fonctionner dans ce mode de contrôle.

La durée de réponse de puissance thermique telle qu'elle est définie en 3.1.15 est mesurée au cours des transitoires de puissance thermique comme défini ci-dessous. La puissance électrique et thermique de sortie doit être mesurée de manière stable au cours de l'essai conformément à 7.3.1 et à 7.3.4.

8.3.9.4.2 Réponse de la puissance thermique de sortie de consigne

Le taux de réponse de la puissance thermique de sortie depuis/vers une puissance thermique de consigne doit être calculé en se référant à la Figure 4 au moyen de l'équation suivante:

- a) Réponse de réduction de la puissance thermique de sortie vers une valeur de consigne

$$QR_{min} = (Q_{rated} - Q_{min}) / (T_{attain-min} - T_{ini}) = (Q_{rated} - Q_{min}) / T_{down}$$

- b) Réponse d'augmentation de la puissance thermique de sortie vers une valeur de consigne

$$QR_{rated} = (Q_{rated} - Q_{min}) / (T_{attain-rated} - T_{ini}) = (Q_{rated} - Q_{min}) / T_{up}$$

où

QR_{rated} est le taux de réponse (kJ/s/s ou W/s, kW/s) depuis la puissance thermique minimale vers la puissance thermique de consigne;

QR_{min} est le taux de réponse (kJ/s/s ou W/s, kW/s) depuis la puissance thermique de consigne vers la puissance thermique minimale;

Q_{rated} est la puissance thermique de sortie de consigne (chaleur récupérée: Q_{HR}) (kJ/s ou W, kW);

Q_{min} est la puissance thermique de sortie minimale (chaleur récupérée: Q_{HR}) (kJ/s ou W, kW);

T_{ini} est le moment où commence la variation de la puissance thermique de sortie, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;

$T_{attain-rated}$ est le moment où la puissance thermique de sortie de consigne est atteinte et stable avec un intervalle de confiance de ± 2 %;

$T_{attain-min}$ est le moment où la puissance thermique minimale de sortie est atteinte et stable avec un intervalle de confiance de ± 2 %;

T_{down} est la durée entre T_{ini} et $T_{attain-min}$ (s);

T_{up} est la durée entre T_{ini} et $T_{attain-rated}$ (s).

d) Up-response of electrical power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum electrical power output.
- 2) The electrical power-up signal to rated electrical power output is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The power system increases in electrical power output according to this control signal.
- 4) The power response duration from initiation of the electrical power output demand signal until attaining 90 % of rated electrical power output shall be observed and recorded.

8.3.9.4 Thermal power output response**8.3.9.4.1 General**

This subclause covers fuel cell power systems intended to control primarily on thermal power output or which can operate in that mode.

The thermal power response duration as defined in 3.1.15 will be measured during operational thermal power transients as defined below. The electrical and thermal power outputs shall be measured continuously during the test in accordance with 7.3.1 and 7.3.4.

8.3.9.4.2 Rated thermal power output response

The ramp rate of the thermal power output to and from rated thermal power shall be calculated with reference to Figure 4 by means of the following equation:

a) Down-response of rated thermal power output

$$Q_{R_{\min}} = (Q_{\text{rated}} - Q_{\min}) / (T_{\text{attain-min}} - T_{\text{ini}}) = (Q_{\text{rated}} - Q_{\min}) / T_{\text{down}}$$

b) Up-response of rated thermal power output

$$Q_{R_{\text{rated}}} = (Q_{\text{rated}} - Q_{\min}) / (T_{\text{attain-rated}} - T_{\text{ini}}) = (Q_{\text{rated}} - Q_{\min}) / T_{\text{up}}$$

where

$Q_{R_{\text{rated}}}$ is the ramp rate (kJ/s/s, or W/s, kW/s) from minimum thermal power to rated thermal power;

$Q_{R_{\min}}$ is the ramp rate (kJ/s/s, or W/s, kW/s) from rated thermal power to minimum thermal power;

Q_{rated} is the thermal power output at rated thermal power output (recovered heat: Q_{HR}) (kJ/s, or W, kW);

$Q_{\min}$ is the thermal power output at minimum thermal power output (recovered heat: Q_{HR}) (kJ/s, W, kW);

T_{ini} is the time at the start of the thermal power output change, in either direction;

$T_{\text{attain-rated}}$ is the time at attainment of steady-state rated thermal power output, within $\pm 2\%$.

$T_{\text{attain-min}}$ is the time at attainment of steady-state minimum thermal power output, within $\pm 2\%$;

T_{down} is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain-min}}$ (s);

T_{up} is the period from T_{ini} to $T_{\text{attain-rated}}$ (s).

- c) Réponse de réduction de la puissance thermique de sortie vers une valeur de consigne
- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance thermique de sortie de consigne.
 - 2) Le signal de réduction de la puissance électrique thermique vers la puissance thermique minimale est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance thermique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de la réponse doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance thermique jusqu'à ce que la puissance thermique de sortie atteigne la valeur minimale dans un intervalle de confiance de ± 2 %.
- d) Réponse d'augmentation de la puissance thermique de sortie vers une valeur de consigne
- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance thermique de sortie minimale.
 - 2) Le signal d'augmentation de la puissance électrique thermique vers la puissance thermique de sortie de consigne est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
 - 3) Le système de puissance augmente la puissance thermique de sortie en fonction du signal de commande.
 - 4) La durée de la réponse doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance thermique jusqu'à ce que la puissance thermique de sortie atteigne la valeur de consigne dans un intervalle de confiance de ± 2 %.

8.3.9.4.3 Réponse à 90 % de la puissance de sortie thermique

Le taux de réponse de la puissance thermique de sortie à 90 % de la demande doit être calculé en se référant à la Figure 5 au moyen de l'équation suivante:

- a) Réponse de réduction de la puissance de sortie thermique à 90 % de la demande

$$QR_{down90} = (Q_{rated} - Q_{10}) / (T_{attain-10} - T_{ini}) = (Q_{rated} - Q_{10}) / T_{down}$$

- b) Réponse d'augmentation de la puissance de sortie thermique à 90 % de la demande

$$QR_{up90} = (Q_{90} - Q_{min}) / (T_{attain-90} - T_{ini}) = (Q_{90} - Q_{min}) / T_{up}$$

où

QR_{down90} est le taux de réponse de la puissance thermique d'une valeur de consigne à une valeur correspondant à 90 % de la différence totale entre la puissance thermique de consigne et la puissance thermique minimale (kJ/s/s, W/s, kW/s);

QR_{up90} est le taux de réponse de la puissance thermique d'une valeur minimale à une valeur égale à 90 % de la puissance thermique de consigne (kJ/s/s ou W/s, kW/s);

Q_{rated} est la puissance thermique de sortie de consigne (chaleur récupérée: Q_{HR}) (kJ/s ou W, kW);

Q_{90} est la puissance thermique de sortie à 90 % de la puissance thermique de sortie de consigne (W, kW);

Q_{10} est la valeur basse de la puissance thermique de sortie correspondant à 90 % de la différence totale entre la puissance thermique de consigne et la puissance thermique minimale (W, kW). La valeur peut être supérieure à 10 % de la puissance thermique de consigne et doit être calculée sur la base de la puissance thermique de consigne et de la puissance électrique minimale pour chaque type d'unité conformément aux spécifications du fabricant;

c) Down-response of rated thermal power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated thermal power output.
- 2) The thermal power-down signal to minimum thermal load is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in thermal power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the thermal power-down demand signal until attaining minimum thermal power output, within $\pm 2\%$, shall be observed and reported.

d) Up-response of rated thermal power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum thermal power output.
- 2) The thermal power-up signal to rated thermal power output is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The power system increases in thermal power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the thermal power-up demand signal until attaining rated thermal power output, within $\pm 2\%$, shall be observed and reported.

8.3.9.4.3 90 % thermal power output response

The ramp rate of the thermal power output to 90 % of demand shall be calculated with reference to Figure 5 by means of the following equation:

a) Thermal power output down-response to 90 % of demand

$$QR_{\text{down}90} = (Q_{\text{rated}} - Q_{10}) / (T_{\text{attain-10}} - T_{\text{ini}}) = (Q_{\text{rated}} - Q_{10}) / T_{\text{down}}$$

b) Thermal power output up-response to 90 % of demand

$$QR_{\text{up}90} = (Q_{90} - Q_{\text{min}}) / (T_{\text{attain-90}} - T_{\text{ini}}) = (Q_{90} - Q_{\text{min}}) / T_{\text{up}}$$

where

$QR_{\text{down}90}$ is the ramp rate from rated thermal power to a thermal power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated thermal power and minimum thermal power (kJ/s/s, W/s, or kW/s);

$QR_{\text{up}90}$ is the ramp rate from minimum thermal power to 90 % of rated thermal power (kJ/s/s, W/s, or kW/s);

Q_{rated} is the thermal power output at rated thermal power output (recovered heat: Q_{HR}) (kJ/s, or W, kW);

Q_{90} is the thermal power output at 90 % of rated thermal power output (W, kW);

Q_{10} is the thermal power output at a low thermal power level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated thermal power and minimum thermal power (W, kW). This may be more than 10 % of rated thermal power and shall be calculated on the basis of the rated power and the minimum electrical power for each type of unit, in accordance with manufacturer's specifications.

$Q_{\min}$	est la puissance thermique de sortie minimale (chaleur récupérée: Q_{HR}) (kJ/s ou W, kW);
T_{ini}	est le moment où commence la variation de la puissance thermique de sortie, que ce soit pour une transitoire montante ou descendante;
$T_{attain10}$	est le moment où la valeur de la puissance thermique de sortie atteint 90 % de la puissance thermique de consigne, avec une tolérance de ± 2 %;
$T_{attain90}$	est le moment où la valeur de la puissance thermique de sortie atteint Q_{90} avec une tolérance de ± 2 %;
T_{down}	est la durée entre T_{ini} et $T_{attain10}$ (s);
T_{up}	est la durée entre T_{ini} et $T_{attain90}$ (s).

c) Réponse de réduction de la puissance thermique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance thermique de sortie de consigne.
- 2) Le signal de réduction de la puissance thermique vers la puissance thermique minimale est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système à pile à combustible diminue la puissance thermique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de la réponse doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance thermique jusqu'à ce que la puissance thermique de sortie atteigne la valeur minimale dans un intervalle de confiance de ± 2 %.

d) Réponse d'augmentation de la puissance thermique de sortie

- 1) Il doit être confirmé que le système à pile à combustible est dans un état de fonctionnement stable à la puissance thermique de sortie minimale.
- 2) Le signal d'augmentation de la puissance thermique vers la puissance thermique de sortie de consigne est envoyé aux régulateurs du système à pile à combustible.
- 3) Le système de puissance augmente la puissance thermique de sortie en fonction du signal de commande.
- 4) La durée de la réponse doit être observée et consignée à partir du début du signal de demande de puissance thermique jusqu'à ce que la puissance thermique de sortie atteigne la valeur de consigne avec un intervalle de confiance de ± 2 %.

8.3.10 Caractéristiques de démarrage/d'arrêt

L'essai comprend la mesure:

- a) du temps de démarrage (voir 3.1.13);
- b) du temps d'arrêt (voir 3.1.14);
- c) de l'énergie de démarrage (voir 3.1.18).

Le fabricant doit spécifier les conditions pour l'état de stockage et l'état de veille comme cela est défini en 3.1.11 et 3.1.12, respectivement. Voir la Figure 3 pour les informations complémentaires.

Les essais pour les points a) et b) indiqués ci-dessus consistent à mesurer le temps qui s'écoule entre le début de la commande de démarrage ou d'arrêt et l'obtention du statut demandé.

Pour le point c) indiqué ci-dessus, l'énergie pendant le démarrage doit être mesurée. La puissance électrique de sortie et la puissance thermique de sortie doivent être mesurées simultanément au cours de l'essai d'énergie de démarrage conformément à 7.3.1 et à 7.3.4, respectivement.

$Q_{\min}$	is the thermal power output at minimum thermal power output (recovered heat: Q_{HR}) (kJ/s, W, kW);
T_{ini}	is the time at the start of the thermal power output change, in either direction;
T_{attain10}	is the time at attainment of the thermal power output level corresponding to 90 % of the total downward difference between rated thermal power and minimum thermal power, within ± 2 %;
T_{attain90}	is the time at attainment of the thermal power output of 90 % of rated thermal power output, within ± 2 %;
T_{down}	is the period from T_{ini} to T_{attain10} (s);
T_{up}	is the period from T_{ini} to T_{attain90} (s).

c) Down-response of thermal power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at rated thermal power output.
- 2) The thermal power-down signal to minimum thermal load is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The fuel cell power system decreases in thermal power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the thermal power-down demand signal until attaining minimum thermal power output, within ± 2 %, shall be observed and reported.

d) Up-response of thermal power output

- 1) The fuel cell power system shall be confirmed to be in a steady-state operating condition at minimum thermal power output.
- 2) The thermal power-up signal to rated thermal power output is sent to the controllers of the fuel cell power system.
- 3) The power system increases in thermal power output according to this control signal.
- 4) The response duration from initiation of the thermal power-up demand signal until attaining rated thermal power output, within ± 2 %, shall be observed and reported.

8.3.10 Start-up and shutdown characteristics

The test item includes the measurement of

- a) start-up time (see 3.1.13);
- b) shutdown time (see 3.1.14);
- c) start-up energy (see 3.1.18).

The manufacturer shall specify the conditions for the storage state and the standby state, as defined in 3.1.11 and 3.1.12, respectively. See Figure 3 for additional information.

The test for a) and b) listed above consists of measuring the time between the initiation of the command for the start-up or shutdown until the requested status is attained.

For c) listed above, the energy during the start up shall be measured. Electrical power output and thermal power output shall be measured concurrently during the start-up energy test in accordance with 7.3.1 and 7.3.4, respectively.

8.3.11 Consommation de gaz de purge

Mesurer le débit de gaz de purge selon 7.3.7.

- a) Réaliser séparément la mesure de la consommation de gaz de purge dans les conditions suivantes:
 - 1) état froid;
 - 2) démarrage;
 - 3) arrêt normal;
 - 4) arrêt d'urgence;
 - 5) état de stockage.
- b) Au cours de la mesure de la consommation du gaz de purge au démarrage, mesurer la quantité de gaz de purge utilisée entre le début du processus de démarrage et sa réalisation complète.
- c) Au cours de la mesure de la consommation du gaz de purge pendant un arrêt normal, mesurer la quantité de gaz de purge utilisée entre le début du processus d'arrêt normal et sa réalisation complète.
- d) Au cours de la mesure de la consommation du gaz de purge pendant un arrêt d'urgence, mesurer la quantité de gaz de purge utilisée entre le début du processus d'arrêt d'urgence et sa réalisation complète.
- e) Au cours de la mesure de la consommation du gaz de purge pendant l'état de stockage, mesurer la quantité de gaz de purge utilisée par heure après la réalisation complète du processus d'arrêt normal ou d'urgence.

8.3.12 Consommation d'eau

Consommation d'eau: q_{vw} (m³/s) doit être mesurée conformément à 7.3.7 dans les conditions spécifiées au Tableau 3.

Le niveau de puissance doit être mesuré et consigné au cours des essais.

La durée de chaque session d'essai doit être mesurée et consignée.

La quantité nette d'eau consommée au cours de chaque session d'essai doit être mesurée et consignée. L'eau consommée provenant du système ou stockée à l'intérieur du système doit également être mesurée et prise en compte.

8.3.13 Chaleur résiduelle

La chaleur résiduelle est calculée avec l'équation suivante:

$$Q_{WH} = q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av} - (P_{out} - P_{in}) - Q_{HR}$$

où

Q_{WH} est la chaleur résiduelle (kJ/s);

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence (m³/s);

E_{fv} est l'énergie du combustible par unité de volume (kJ/m³);

q_{va0} est le débit volumétrique de l'oxydant (air) aux conditions de référence (m³/s);

E_{av} est l'énergie de l'air par unité de volume (kJ/m³);

P_{out} est la puissance électrique active de sortie (kW);

P_{in} est la puissance électrique active d'entrée provenant de la source extérieure de puissance (kW);

Q_{HR} est l'énergie de la chaleur résiduelle (kJ/s).

8.3.11 Purge gas consumption

Measure purge gas flow rate according to 7.3.7.

- a) Separately carry out the measurement of purge gas consumption at the following conditions:
 - 1) cold state;
 - 2) start-up;
 - 3) normal shutdown;
 - 4) emergency shutdown;
 - 5) storage state.
- b) In the measurement of purge gas consumption during start-up, measure the amount of purge gas used from the instant when the start-up process is initiated to the instant when the start-up is completed.
- c) In the measurement of purge gas consumption during a normal shutdown, measure the amount of purge gas used from the instant when the normal shutdown process is initiated to the instant when the shutdown is completed.
- d) In the measurement of purge gas consumption during an emergency shutdown, measure the amount of purge gas used from the instant when the emergency shutdown process is initiated to the instant when the emergency shutdown is completed.
- e) In the measurement of purge gas consumption during the storage state, measure the amount of purge gas used per hour after completion of normal shutdown or emergency shutdown process.

8.3.12 Water consumption

Water consumption, q_{vw} (m³/s) shall be measured in accordance with 7.3.7 at the conditions specified in Table 3.

The power level shall be measured and recorded during the tests.

The duration of each test run shall be measured and recorded.

The net amount of water consumed during each test run shall be measured and recorded. Water consumed from or stored within the system shall also be measured and taken into account.

8.3.13 Waste heat

The waste heat is calculated by the equation:

$$Q_{WH} = q_{vf0} \times E_{fv} + q_{va0} \times E_{av} - (P_{out} - P_{in}) - Q_{HR}$$

where

- Q_{WH} is the waste heat (kJ/s);
- q_{vf0} is the volumetric flow rate of the fuel at reference conditions (m³/s);
- E_{fv} is the input energy of fuel per unit volume (kJ/m³);
- q_{va0} is the volumetric flow rate of the oxidant (air) at reference conditions (m³/s);
- E_{av} is the input energy of air per unit volume (kJ/m³);
- P_{out} is the active power of electrical power output (kW);
- P_{in} is the active power of electrical power input from external power source (kW);
- Q_{HR} is the energy of recovered heat (kJ/s).

8.3.14 Emission de gaz d'échappement

Cette procédure d'essai est la confirmation des caractéristiques des émissions rejetées par un système à pile à combustible fonctionnant dans les conditions suivantes:

- mesurer la concentration de crête de chaque constituant comme cela est décrit en 7.3.8 au cours du démarrage;
- mesurer la concentration de crête de chaque constituant comme cela est décrit en 7.3.8 au cours d'un arrêt;
- mesurer la quantité de chaque constituant comme cela est décrit en 7.3.8 au cours du fonctionnement à la puissance partielle de sortie spécifiée en 8.1 et dans le Tableau 3;
- mesurer la quantité de chaque constituant comme cela est décrit en 7.3.8 au cours du fonctionnement à la puissance de sortie de consigne.

Les émissions de particules, SO_x, NO_x, CO₂, CO, des hydrocarbures totaux et d'hydrogène doivent être mesurées de manière stable conformément à 7.3.8, 8.1 et au Tableau 3. La température, la pression et le débit des gaz d'échappement doivent être mesurés conformément à 7.3.8.1, à 7.3.8.2 et à 7.3.8.3, respectivement.

8.3.15 Calcul de la production des émissions

La quantité des émissions du gaz spécifié doit être calculée comme suit:

$$q_{me} = q_{ve} \times \rho_e$$

où

q_{me} est le débit massique de la composante d'émission de gaz (kg/s);

q_{ve} est le débit volumétrique mesuré des gaz d'échappement (m³/s);

ρ_e est la concentration massique d'une composante de gaz spécifiée (kg/m³).

Ces valeurs ρ_e doivent être corrigées en utilisant l'ISO 7934 pour la température réelle, la pression réelle et les conditions hygrométriques.

La concentration en oxygène du gaz d'échappement doit être mesurée et consignée.

8.3.16 Niveau de bruit audible

Le bruit produit par un système à pile à combustible doit être mesuré pour l'ensemble du processus de fonctionnement (depuis le démarrage jusqu'à l'arrêt) conformément à 7.3.13 et au Tableau 3 pour obtenir la valeur maximale.

Les corrections pour le bruit de fond doivent être faites conformément à l'ISO 3744.

Doivent être reportés le niveau maximal de bruit corrigé et les conditions de fonctionnement correspondantes, ainsi que le niveau de puissance de sortie.

8.3.17 Niveau de vibration

Les vibrations produites par un système à pile à combustible doivent être mesurées dans les conditions de fonctionnement mentionnées ci-dessous conformément à 7.3.14 pour en obtenir la valeur maximale. Le niveau de vibration de fond doit être mesuré lorsque le système à pile à combustible n'est pas en fonctionnement.

8.3.14 Exhaust gas emission

This test procedure is confirmation of the emission characteristics emitted from a fuel cell power system operated under the following conditions:

- a) measure the peak concentration of each constituent as described in 7.3.8 during a start-up;
- b) measure the peak concentration of each constituent as described in 7.3.8 during a shutdown;
- c) measure the amount of each constituent as described in 7.3.8 during operation at partial power output specified in 8.1 and Table 3;
- d) measure the amount of each constituent as described in 7.3.8 during operation at rated power output.

Emission of particulate, SO_x, NO_x, CO₂, CO, total hydrocarbon and hydrogen shall be continuously measured according to 7.3.8, 8.1 and Table 3. The exhaust gas temperature, pressure, and flow rate shall be measured according to 7.3.8.1, 7.3.8.2 and 7.3.8.3, respectively.

8.3.15 Calculation of emission production

The quantity of a specified gas emission shall be calculated as follows:

$$q_{me} = q_{ve} \times \rho_e$$

where

- q_{me} is the mass flow rate of gas emission component (kg/s);
 q_{ve} is the measured volumetric flow rate of exhaust gas (m³/s);
 ρ_e is the mass concentration of a specified gas component (kg/m³).

These ρ_e values shall be corrected using ISO 7934 for actual temperature, actual pressure, and wet/dry conditions.

Exhaust gas oxygen concentration shall be measured and reported.

8.3.16 Audible noise level

Noise produced by a fuel cell power system shall be measured through the operating process; (startup to shutdown) in accordance with 7.3.13 and Table 3 in order to get the maximum value.

Corrections for background noise shall be made in accordance with ISO 3744.

The maximum corrected noise level and the corresponding operating conditions and output power level shall be reported.

8.3.17 Vibration level

Vibration produced by a fuel cell power system shall be measured through the operating condition mentioned below in accordance with 7.3.14 to find the maximum vibration level. The background vibration level shall be measured when the fuel cell power system is not in operation.

Le niveau de vibration doit être surveillé au cours d'une transitoire de démarrage à partir de l'état à froid. Les niveaux de vibration doivent être mesurés en augmentant les niveaux de puissance pour atteindre la charge de consigne. Le niveau de vibration doit être mesuré à charge stable de consigne. La vibration doit également être surveillée au cours d'une transitoire d'arrêt commençant à la charge de consigne. Les niveaux de vibration doivent être également mesurés au cours de la transitoire d'arrêt jusqu'à ce que le système à pile à combustible atteigne l'état de veille ou l'état froid pour en obtenir la valeur maximale.

Le niveau maximal de vibration de fonctionnement doit être consigné. Le niveau de vibration de fond avec le système à pile à combustible hors fonctionnement doit également être consigné.

Les corrections du niveau de vibration de fond doivent être faites pour un niveau maximal de vibration conformément à la procédure suivante.

La différence entre le niveau de vibration maximal consigné et le niveau de vibration de fond doit être calculée en décibels (dB).

Calculer la correction du niveau de vibration maximal consigné en utilisant le Tableau 5.

Si la différence est de plus de 9 dB (le niveau de vibration maximal est supérieur au niveau de vibration de fond de plus de 9 dB), aucune correction n'est nécessaire.

Si la différence est inférieure à 3 dB, le niveau de fond est trop élevé pour des mesures fiables et il doit être réduit.

Pour des systèmes à vibrations très faibles, le niveau de vibration maximal peut être très faible. Le niveau de vibration maximal peut être inférieur à 10 dB. Pour ces systèmes à vibrations très faibles, aucune correction n'est nécessaire pour le fond si la vibration maximale mesurée est inférieure à 10 dB.

Si la différence entre le niveau de vibration maximal de fonctionnement et le niveau hors fonctionnement est comprise entre 3 dB et 10 dB, utiliser le Tableau 5 pour calculer la correction à apporter au niveau de vibration maximal.

Tableau 5 – Facteurs de correction du niveau de vibrations

Différence de valeur indiquée dB	3	4	5	6	7	8	9
Valeur de correction dB	-3	-2	-2	-1	-1	-1	-1
NOTE 1 Une différence de 10 dB ou plus indique l'absence d'influence significative de vibration de fond et la correction n'est pas nécessaire.							
NOTE 2 Une différence inférieure à 3 dB implique que la vibration de fond est trop importante pour une mesure fiable.							

8.3.18 Qualité de l'eau d'écoulement

Mesurer la qualité de l'eau d'écoulement conformément à 7.3.9 et au Tableau 3.

The vibration level shall be monitored during a start-up transient starting from the cold state. Vibration levels shall be measured through increasing power levels up to rated load. The vibration level shall be measured at steady-state rated load. The vibration shall also be monitored during a shutdown transient starting from rated load. Vibration levels shall also be measured during the shutdown transient until the fuel cell power system reaches the standby state or the cold state to find the maximum vibration level.

The maximum operating vibration level shall be reported. The background vibration level with the fuel cell power system not operating shall also be reported.

Corrections for the background vibration level shall be made for the maximum vibration level in accordance with the following procedure.

The difference between the reported maximum vibration level and the background vibration level shall be calculated in decibels (dB).

Calculate the correction to the reported maximum vibration level using Table 5.

If the difference is at more than 9 dB (maximum vibration level is higher than background by more than 9 dB), no correction is necessary.

If the difference is less than 3 dB, the background is too high for reliable measuring and shall be reduced.

For very low vibration systems, the maximum vibration level may be very low. The maximum vibration level may be below 10 dB. For these very low vibration systems, below 10 dB measured maximum vibration, no correction for background is necessary.

If the difference between the maximum operating vibration level and the non-operating background is between 3 dB and 10 dB, use Table 5 to compute the correction to the reported maximum vibration level.

Table 5 – Vibration correction factors

Difference of indicated value dB	3	4	5	6	7	8	9
Correction value dB	–3	–2	–2	–1	–1	–1	–1
NOTE 1 A difference of 10 dB or more indicates no significant influence of background vibration, and the correction is not necessary.							
NOTE 2 A difference less than 3 dB implies that the background vibration is too large for reliable measurement.							

8.3.18 Discharge water quality

Measure discharge water quality in accordance with 7.3.9 and Table 3.

9 Rapports d'essai

9.1 Généralités

Les rapports d'essai doivent présenter de manière précise, claire et objective des informations suffisantes pour démontrer que tous les objectifs des essais ont été atteints. Les rapports doivent contenir toutes les informations développées à l'Article 7. Trois types de rapports sont exigés: résumé, détaillé et complet. Chaque type de rapport doit contenir la même page de titre et un sommaire. Pour les systèmes à pile à combustible conformes à la présente partie de la CEI 62282, le rapport résumé sera mis à la disposition de toutes les parties intéressées.

9.2 Page de titre

La page de titre doit présenter les informations suivantes:

- a) numéro d'identification du rapport (optionnel);
- b) type de rapport (résumé, détaillé ou complet);
- c) auteur du rapport;
- d) entité conduisant l'essai;
- e) date du rapport;
- f) emplacement d'essai;
- g) titre de l'essai;
- h) date et heure de l'essai;
- i) identification et nom du fabricant du système à pile à combustible;
- j) type de combustible pour l'essai avec référence au gaz approprié issu du tableau de référence de gaz (Annexe C).

9.3 Sommaire

Pour chaque type de rapport, un sommaire doit être fourni.

9.4 Rapport résumé

Le rapport résumé doit comprendre les informations suivantes:

- a) objectif de l'essai;
- b) description de l'essai, des équipements et des appareils de mesure;
- c) tous les résultats d'essai;
- d) niveau d'incertitude attaché à chaque résultat d'essai;
- e) niveau de confiance attaché à chaque résultat d'essai;
- f) pour la détermination de la chaleur récupérée: pression et température du fluide d'énergie thermique récupérable;
- g) les conclusions appropriées.

9.5 Rapport détaillé

Le rapport détaillé doit inclure les informations suivantes en plus de celles contenues dans le rapport résumé:

- a) le type, les spécifications et la configuration de fonctionnement du système à pile à combustible et le schéma de processus montrant les limites d'essai;

9 Test reports

9.1 General

Test reports shall accurately, clearly and objectively present sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have been attained. The reports shall contain all information developed in Clause 7. Three types of reports are required, summary, detailed, and full. Each type of report shall contain the same title page and a table of contents. For fuel cell systems tested in compliance with this part of IEC 62282, the summary report will be made available to interested parties.

9.2 Title page

The title page shall present the following information:

- a) report identification number (optional);
- b) type of report (summary, detailed or full);
- c) authors of report;
- d) entity conducting the test;
- e) date of report;
- f) location of test;
- g) title of the test;
- h) date and time of test;
- i) fuel cell power system identification and manufacturer's name;
- j) type of fuel used for the test with reference to appropriate gas reference table (Annex C).

9.3 Table of contents

For each type of report, a table of contents shall be provided.

9.4 Summary report

The summary report shall include the following information:

- a) objective of the test;
- b) description of the test, equipment and instruments;
- c) all test results;
- d) uncertainty level attached to each test result;
- e) confidence level attached to each test result;
- f) for determination of recovered heat, pressure and temperature of the heat recovery fluid;
- g) conclusions as appropriate.

9.5 Detailed report

The detailed report shall include the following information in addition to the information contained in the summary report:

- a) the type, specifications and operating configuration of the fuel cell power system and the process flow diagram showing the test boundary;

- b) description des montages, emplacement et conditions de fonctionnement des équipements et des appareils de mesure;
- c) résultats de calibrage des instruments;
- d) référence à la méthode de calcul;
- e) représentation sous forme de tableau et de graphique des résultats;
- f) discussion de l'essai et de ses résultats (à savoir commentaires et observations).

9.6 Rapport complet

Le rapport complet doit inclure les informations suivantes en plus de celles contenues dans le rapport détaillé:

Copies de fiches techniques originales

Les fiches techniques originales doivent inclure les informations suivantes en plus des données de mesure:

- 1) date et heure de la session d'essai;
- 2) numéro du modèle et précision de mesure des appareils de mesure utilisés pour l'essai;
- 3) conditions ambiantes d'essai;
- 4) nom et qualifications de la ou des personne(s) effectuant l'essai;
- 5) analyse complète et détaillée d'incertitude;
- 6) résultats de l'analyse du combustible.

- b) description of the arrangements, location and operating conditions of the equipment and instruments;
- c) calibration results of instruments;
- d) reference to the calculation method;
- e) tabular and graphical presentation of the results;
- f) discussion of the test and its results (i.e. comments and observations).

9.6 Full report

The full report shall include the following information in addition to the information contained in the detailed report.

Copies of original data sheets

Original data sheets shall include the following information in addition to measurement data:

- 1) date and time of the test run;
- 2) model number and measurement accuracy of instruments used for the test;
- 3) ambient test conditions;
- 4) name and qualifications of person(s) conducting the test;
- 5) full and detailed uncertainty analysis;
- 6) results of fuel analysis.

Annexe A (normative)

Guide pour l'analyse d'incertitude

A.1 Généralités

Lors de la consignation du résultat d'une mesure d'une grandeur physique, il est obligatoire qu'une indication quantitative de la qualité du résultat soit donnée de manière à ce que ceux qui l'utilisent puissent évaluer sa fiabilité. C'est pourquoi l'analyse de l'incertitude est indispensable pour un essai de performance d'un système à pile à combustible. L'incertitude peut être analysée avant et/ou après l'essai.

Une analyse d'incertitude avant essai est recommandée. L'analyse d'incertitude avant essai permet de prendre une action corrective avant l'essai qui, soit ramènera l'incertitude à un niveau approprié et cohérent avec l'objectif global de l'essai, soit réduira le coût de l'essai tout en atteignant l'incertitude d'essai.

Une analyse d'incertitude après essai est obligatoire. L'analyse d'incertitude utilisera des données empiriques pour déterminer l'incertitude de performance du système à pile à combustible. L'incertitude doit être indiquée avec une valeur de performance (par exemple rendement électrique, rendement de l'énergie thermique, etc.).

Cette annexe sert de guide pour les calculs avant et après essai et montre un exemple d'analyse d'incertitude du rendement électrique qui n'est donné qu'à titre d'exemple et non comme un résultat d'essai explicite. L'utilisateur de la présente partie de la CEI 62282 doit lire, comprendre et suivre le guide ISO/CEI pour l'expression de l'incertitude de mesure (G.E.U.M) pour accomplir une analyse d'incertitude correcte.

L'analyse d'incertitude pour cette norme doit être réalisée conformément au G.E.U.M de l'ISO et de la CEI. Cette annexe donne des exemples mais il convient de se reporter au document G.E.U. M pour avoir les lignes directrices explicites.

A.2 Préparations

L'incertitude de performance d'un système à pile à combustible (à savoir rendement électrique, etc.) peut être calculée par les incertitudes des différents paramètres ainsi que la performance du système.

Chaque mesure des paramètres est la combinaison d'une vraie valeur plus une erreur de mesure totale. L'erreur de mesure totale se compose d'une erreur systématique et d'une erreur aléatoire.

L'incertitude totale d'un paramètre est la combinaison d'une incertitude due à une erreur systématique et à une erreur aléatoire.

Pour réduire l'incertitude de performance du système à pile à combustible, les incertitudes systématiques et les incertitudes aléatoires des paramètres doivent être réduites.

Pour réduire l'incertitude systématique, des appareils d'une précision assez élevée sont recommandés car la précision de l'appareil de mesure (incertitude d'étalonnage) est traitée comme une incertitude systématique dans la présente partie de la CEI 62282. Une sélection soigneuse des appareils d'essai est nécessaire.

Annex A (normative)

Guidance for uncertainty analysis

A.1 General

When reporting the result of a measurement of a physical quantity, it is obligatory that some quantitative indication of the quality of the result be given so that those who use it can assess its reliability. Therefore, uncertainty analysis is indispensable for a fuel cell power system performance test. The uncertainty can be analysed at pre-test and/or post-test.

A pre-test uncertainty analysis is recommended. The pre-test uncertainty analysis allows corrective action to be taken prior to the test, which will either decrease the uncertainty to an appropriate level consistent with the overall objective of the test or will reduce the cost of the test while still attaining the test uncertainty.

A post-test uncertainty analysis is mandatory. The uncertainty analysis will make use of empirical data to determine uncertainty of fuel cell power system performance. Uncertainty shall be indicated with a performance value (i.e. electrical efficiency, heat recovery efficiency and so on).

This annex serves as a guide for pre-test and post-test uncertainty calculations and shows an example of uncertainty analysis for electrical efficiency and is only provided for informative purposes, not as an explicit test result. The user of this part of IEC 62282 shall read, understand, and follow the ISO/IEC Guide for Expression of Uncertainty in Measurement (G.E.U.M) in order to accomplish a proper uncertainty analysis.

The uncertainty analysis for this standard shall be performed in accordance with the ISO/IEC G.E.U.M. This annex gives examples, but refer to the G.E.U.M. for explicit guidance.

A.2 Preparations

Uncertainty of fuel cell power system performance (i.e. electrical efficiency, etc.) can be computed by the uncertainties of the various parameters, as well as fuel cell power system performance.

Every measurement of the parameters is the combination of a true value plus a total measurement error. The total measurement error consists of systematic error and random error.

The total uncertainty of a parameter is the combination of uncertainty due to systematic error and random error.

In order to minimize the uncertainty of fuel cell power system performance, systematic uncertainties and random uncertainties of the parameters shall be minimized.

In order to minimize systematic uncertainty, higher accuracy instrumentation is recommended, because the accuracy of instrument (calibration uncertainty) is treated as systematic uncertainty in this part of IEC 62282. Careful selection of instrumentation is necessary.

Pour réduire l'incertitude aléatoire, les procédures d'essai, les conditions d'essai et les méthodes de collecte des données doivent faire l'objet de recherches. L'incertitude aléatoire est estimée à deux fois l'écart type (2ET pour un intervalle de confiance de 95 %). Une planification soigneuse des essais est nécessaire avant de réaliser l'essai de performance.

Les mesures des paramètres doivent être aussi simultanées que possible. L'enregistrement de données utilisant des appareils automatisés aidera à assurer des ensembles de données simultanés. Les conditions d'essai doivent être des conditions stables pour les essais de performance.

Les fluctuations des mesures (à la fois variations à court et à long terme) et des conditions d'essai stables doivent être confirmées par un essai préliminaire avant de réaliser l'essai de performance. Le caractère stable est défini en 8.1.3. La durée de la session d'essai doit être décidée conformément aux fluctuations des mesures de paramètre à long terme. La durée de la session d'essai doit comprendre au moins un cycle de fluctuations à long terme.

Au cours de la session d'essai, au moins 30 ensembles de données indépendants de chaque paramètre doivent être mesurés pour obtenir un écart type des données. Chaque ensemble de données doit être une moyenne des mesures prises (par exemple pour la mesure du voltage) ou une accumulation divisée par le temps de mesure (par exemple pour le débit de combustible).

Pour maintenir l'indépendance des points de données, un minimum de 1 min est également exigé entre les ensembles de données.

A.3 Hypothèses de base

Les lignes directrices de cette annexe sont fondées sur le G.E.M.U de l'ISO/CEI. Le guide inclus ici est simplifié pour son utilisation avec les systèmes à pile à combustible en utilisant des hypothèses cohérentes avec leur conception ainsi qu'une bonne pratique d'essai dictée par la présente partie de la CEI 62282.

Les hypothèses de base incluent ce qui suit.

Toutes les sources d'incertitude systématiques sont considérées comme réparties de manière normale et elles sont estimées à 2σ pour un intervalle de confiance de 95 %. Dans la présente partie de la CEI 62282, l'incertitude systématique est définie comme une erreur d'étalonnage ou comme la précision d'un appareil de mesure, B .

Au moins 30 points de données indépendants sont pris pour tous les paramètres. Si un nombre de points de données inférieur à 30 est pris pour un ou plusieurs paramètres, des calculs supplémentaires sont exigés. Consulter alors le G.E.U.M.

Toutes les sources d'incertitude aléatoires sont estimées comme normalement distribuées et estimées à $2S_{\bar{x}}$ des mesures, ce qui est un intervalle de confiance de 95 %.

L'incertitude totale, U_{95} est obtenue en combinant l'incertitude systématique, B et les incertitudes aléatoires d'une mesure, $S_{\bar{x}}$ avec l'équation suivante.

$$U_{95} = [B^2 + (2S_{\bar{x}})^2]^{1/2}$$

qui est équivalent à

$$U_{95} = 2[(B/2)^2 + (S_{\bar{x}})^2]^{1/2}$$

In order to minimize random uncertainty, test procedures, test conditions and data collection methods shall be investigated. Random uncertainty is estimated as twice as much as standard deviation (2SD for 95 % coverage). Careful test planning is necessary before conducting the performance test.

Parameter measurements shall be as simultaneous as possible. Data recording using automated equipment will help to ensure simultaneous data sets. Test conditions shall be steady state for the performance tests.

Fluctuations of measurements (both short-term and long-term variations) and steady-state test conditions shall be confirmed by a preliminary test, before conducting the performance test. Steady state is defined in 8.1.3. Test run duration shall be decided according to the fluctuations of long-term parameter measurements. Test run duration shall include at least one cycle of long-term fluctuations.

During test run duration, at least 30 independent data sets of every parameter shall be measured to obtain a standard deviation of the data. Each data set shall be an average of measurements taken (i.e. for measurement of voltage) or an accumulation divided by measurement time (i.e. for flow rate of fuel).

In order to maintain independence of the data points, a minimum of 1 min between data sets is also required.

A.3 Basic assumptions

The guidance in this annex is based on the IEC/ISO G.E.U.M. The guidance herein is simplified for use with fuel cell systems, using assumptions consistent with their design as well as good testing practice dictated by this part of IEC 62282.

Basic assumptions include the following.

All systematic uncertainty sources are assumed normally distributed and are estimated as 2σ for 95 % coverage. In this part of IEC 62282, systematic uncertainty is defined as the calibration error or accuracy of an instrument, B .

At least 30 independent data points are taken for all parameters. If fewer than 30 independent data points are taken for one or more parameters, additional calculations are required. In this case, consult the G.E.U.M.

All random uncertainty sources are assumed normally distributed and estimated as $2S_{\bar{x}}$ of measurements, which is 95 % confidence coverage.

Total uncertainty, U_{95} is obtained by combining systematic uncertainty, B and random uncertainties of a measurement, $S_{\bar{x}}$ with the following equation.

$$U_{95} = [B^2 + (2S_{\bar{x}})^2]^{1/2}$$

which is equivalent to

$$U_{95} = 2[(B/2)^2 + (S_{\bar{x}})^2]^{1/2}$$

A.4 Approche générale

On trouvera ci-dessous une procédure pas à pas du calcul.

a) Définition du processus de mesure.

- 1) Revoir les objectifs d'essai et la durée d'essai.

Un essai préliminaire doit être effectué pour décider de la durée de la session d'essai, si nécessaire.

- 2) Donner la liste de tous les paramètres de mesure indépendants et de leurs niveaux nominaux.
- 3) Donner la liste de tous les étalonnages et réglages des appareils de mesure qui affecteront chaque paramètre. Être sûr de vérifier les incertitudes des composants du système de mesure qui affectent deux ou plus de deux mesures simultanément (incertitudes corrélées).
- 4) Définir la relation fonctionnelle entre les paramètres de mesure indépendants et le résultat d'essai. (Définir les équations pour le calcul de la performance du système à pile à combustible tel qu'il est donné dans le texte).

b) Donner la liste des sources d'erreurs élémentaires. dresser une liste complète et exhaustive de toutes les sources d'incertitude d'essai possibles pour tous les paramètres.

c) Calculer ou assigner l'incertitude systématique et aléatoire absolue pour chaque paramètre.

- 1) L'incertitude systématique absolue (B_i) est calculée en multipliant la précision d'étalonnage par la valeur nominale de chaque paramètre.
- 2) L'incertitude aléatoire absolue ($2S_{xi}$) est le double de l'écart type du paramètre.

d) Propager l'incertitude systématique et aléatoire pour chaque paramètre.

- 1) L'incertitude systématique et aléatoire des paramètres indépendants est propagée séparément jusqu'au résultat final avec l'équation suivante.
- 2) Ceci nécessite un calcul des facteurs de sensibilité, θ_i , soit par différentiation soit par perturbation informatisée avec la relation fonctionnelle définie à l'étape d)1) ci-dessus.

$$B_R = \left[\sum (\theta_i B_{\overline{P}_i})^2 \right]^{1/2}$$

$$2S_R = \left[\sum (\theta_i 2S_{\overline{P}_i})^2 \right]^{1/2}$$

où

B_R est la composante d'incertitude systématique d'un résultat;

$2S_R$ est la composante d'incertitude aléatoire d'un résultat.

e) Calculer l'incertitude totale.

Le calcul de l'incertitude est réalisé selon l'équation suivante, en combinant les incertitudes systématique et aléatoire pour obtenir l'incertitude totale.

$$U_{R95} = \left[(B_R)^2 + (2S_R)^2 \right]^{1/2}$$

f) Préparer le rapport conformément à l'Article 9.

A.4 General approach

The following gives a step-by-step calculation procedure.

- a) Define the measurement process
 - 1) Review test objectives and test duration.
A preliminary test shall be carried out to decide test run duration, if necessary.
 - 2) List all independent measurement parameters and their nominal levels.
 - 3) List all calibrations and instrument settings that will affect each parameter. Be sure to check for uncertainties in measurement system components that affect two or more measurements simultaneously (correlated uncertainties).
 - 4) Define the functional relationship between the independent measurement parameters and the test result. (Define the equations for calculating fuel cell power system performance as given in the text.)
- b) List primary error sources: make a complete and exhaustive list of all possible test uncertainty sources for all parameters.
- c) Calculate or assign the absolute systematic and random uncertainty for each parameter.
 - 1) Absolute systematic uncertainty (B_i) is calculated by multiplying calibration accuracy by the nominal value of every parameter.
 - 2) Absolute random uncertainty ($2S_{Ri}$) is twice as much as the standard deviation of parameter.
- d) Propagate the systematic and random uncertainty for each parameter.
 - 1) The systematic and random uncertainty of the independent parameters is propagated separately all the way to the final result with following equation.
 - 2) This requires a calculation of the sensitivity factors, θ_i , either by differentiation or by computer perturbation with the functional relationship defined in step d)1) above.

$$B_R = \left[\sum (\theta_i B_{Pi})^2 \right]^{1/2}$$

$$2S_R = \left[\sum (\theta_i 2S_{Pi})^2 \right]^{1/2}$$

where

B_R is the systematic uncertainty component of a result;

$2S_R$ is the random uncertainty component of a result.

- e) Calculate the total uncertainty.

Calculation of uncertainty is done in accordance with following equation, combining the systematic and random uncertainties to get the total uncertainty.

$$U_{R95} = \left[(B_R)^2 + (2S_R)^2 \right]^{1/2}$$

- f) Prepare the report in accordance with Clause 9.

A.5 Exemples de calculs

A.5.1 Calcul d'incertitude du rendement électrique

A.5.1.1 Définition du processus de mesure

Cet exemple donne le calcul du rendement électrique. Le système est un système à pile à combustible PEFC de 1 kW avec des valeurs d'entrée de 0,1 kW provenant du réseau électrique pour la charge parasite et l'entrée de combustible. Le système utilise le gaz de ville comme combustible et fournit une puissance électrique de sortie de 1,1 kW aux bornes. La puissance électrique nette de sortie est de 1 kW. Le combustible, du gaz de ville, est fourni à la température de 298,15 K et à une pression de 110 kPa. L'oxydant (air) est fourni à température et pression ambiantes.

Le débit du combustible est mesuré avec un débitmètre volumétrique de précision et un échantillonnage en ligne est utilisé pour calculer le pouvoir calorifique inférieur du combustible. Les valeurs des puissances d'entrée et de sortie sont mesurées en utilisant un wattmètre.

La durée de la session d'essai a été décidée en tenant compte des fluctuations des mesures de paramètre à long terme. La durée de la session d'essai comporte cinq cycles de fluctuation à long terme. Au cours de la session d'essai, 60 ensembles de 30 mesures de chaque paramètre ont été obtenus. L'intervalle de chaque ensemble de mesures a été de 1 min. Chaque valeur de paramètre pour le calcul des performances est la moyenne de 60 ensembles de 30 mesures.

L'ensemble des paramètres de mesure indépendants et le niveau nominal des moyennes totales de 60 ensembles de 30 mesures sont donnés au Tableau A.1 et les résultats des calculs basés sur les paramètres du Tableau A.2 sont donnés dans le Tableau A.3.

Le rendement électrique, η_e est défini comme suit conformément à 8.3.4. Dans cet exemple, le combustible est gazeux et le terme d'énergie transporté par l'air est omis comme suit.

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{(q_{vf0} \times E_{fv})} \times 100$$

où

P_{out} est la puissance électrique de sortie;

P_{in} est la puissance électrique d'entrée pour la charge parasite, etc.;

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence (m^3/s);

E_{fv} est l'énergie du combustible par unité de volume (kJ/m^3).

et q_{vf0} (m^3/s) est calculé comme suit:

$$q_{vf0} = q_{vf} \times (288,15/t_f) \times (p_f/101,3)$$

où

q_{vf0} est le débit volumétrique du combustible aux conditions de référence (m^3/s);

q_{vf} est le débit volumétrique du combustible à la température t_f et à la pression p_f (m^3/s);

t_f est la température du combustible;

p_f est la pression du combustible.

A.5 Example calculations

A.5.1 Uncertainty calculation for electrical efficiency

A.5.1.1 Definition of the measurement process

This example will focus on the calculation of electrical efficiency. The system is a 1 kW PEFC fuel cell system, with 0,1 kW electrical inputs from grid for parasitic load and fuel input. The system uses city gas fuel and provides 1,1 kW electrical power output at the terminals. Net electrical power output is 1 kW. City gas fuel is provided at the temperature of 298,15 K and pressure of 110 kPa. Oxidant (air) is provided at ambient temperature and pressure.

The fuel flow is measured with a precision mass flow meter and online sampling is used to compute the lower heating value of the fuel. Electrical output and electrical input are measured using a power kWh meter.

Test run duration was decided taking into account the long-term fluctuations of parameter measurements. Test run duration included five cycles of long-term fluctuation. During test run duration, 60 sets of 30 measurements of every parameter were obtained. Interval of every set of measurements was 1 min. Every value of parameter for calculating performance is the mean of 60 sets of 30 measurements.

All independent measurement parameters and their nominal levels of the total means of 60 sets of 30 measurements are listed in Table A.1, and calculation results based on the parameters of Table A.2 are shown in table A.3.

The electrical efficiency, η_e is defined as follows according to 8.3.4. In this example, fuel is gas and the term of energy carried by air is omitted as follows.

$$\eta_e = \frac{(P_{out} - P_{in})}{(q_{vf0} \times E_{fv})} \times 100$$

where

P_{out} is the electrical power output;

P_{in} is the electrical power input for parasitic load, etc.;

q_{v0} is the volumetric flow rate of fuel at the reference conditions, m^3/s ;

E_{fv} is the input energy of the fuel per unit of volume, kJ/m^3 .

and, q_{vf0} , m^3/s , is calculated as follows:

$$q_{vf0} = q_{vf} \times (288,15/t_f) \times (p_f/101,3)$$

where

q_{vf} is the volumetric flow rate of the fuel at temperature t_f and pressure p_f , m^3/s ;

q_{vf0} is the volumetric flow rate of fuel at the reference conditions, m^3/s ;

t_f is the temperature of fuel;

p_f is the pressure of fuel;

L'énergie du combustible " E_{fv} " (kJ/m³) est calculée comme suit:

$$E_{fv} = (Q_{f0} + h_f - h_{f0} + E_{pf}) / M_0$$

où

Q_{f0} est le pouvoir calorifique du combustible aux conditions de référence, (kJ/mol);

h_f est l'enthalpie spécifique du combustible à la température t_f (kJ/mol);

h_{f0} est l'enthalpie spécifique du combustible à la température de référence t_0 (kJ/mol);

E_{pf} est l'énergie de pression du combustible, (kJ/mol);

M_0 est le volume molaire de référence du gaz idéal; $2,364\,5 \times 10^{-2}$ m³/mol (à la température de référence pour la présente norme, 288,15 K).

Le pouvoir calorifique du combustible, Q_{f0} , (kJ/mol), aux conditions de référence, est calculé à partir de l'équation:

$$Q_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j Q_{f0j}$$

où

Q_{f0j} est le pouvoir calorifique du composant j , (kJ/mol) à la température de référence;

x_j est la fraction molaire du composant j ;

j est un composant du combustible;

N est le nombre de constituants du combustible gazeux.

NOTE 1 Les valeurs numériques de Q_{f0j} sont données au Tableau B.1.

L'enthalpie spécifique du combustible h_f (kJ/mol) est calculée à partir de l'équation suivante:

$$h_f = \sum_{j=1}^N x_j h_{fj}$$

où

h_{fj} est l'enthalpie spécifique du composant j à la température t_f , kJ/mol;

x_j est la fraction molaire du composant j ;

et h_{fj} (kJ/mol) est calculé comme suit:

$$h_{fj} = (A_j \times t_f + (B_j/2\,000) \times t_f^2 + (C_j/3 \times 10^6) \times t_f^3) \times 10^{-3}$$

où

A_j , B_j et C_j sont les constantes du composant j et données dans la feuille 1 de l'Annexe B;

t_f est la température du combustible aux conditions d'essai (K).

NOTE 2 L'enthalpie spécifique du combustible h_{f0} (kJ/mol) à la température de référence est calculée en substituant t_0 par t_f dans l'équation ci-dessus de h_{fj} .

L'énergie de pression du combustible E_{pf} (kJ/mol) est calculée à partir de l'équation:

$$E_{pf} = R \times t_0 \times \ln(p_f/p_0)$$

and, the input energy of the fuel, E_{fv} , kJ/m³ is calculated as follows:

$$E_{fv} = (Q_{f0} + h_f - h_{f0} + E_{pf})/M_0$$

where

Q_{f0} is the heating value of the fuel at reference conditions (kJ/mol);

h_f is the specific enthalpy of the fuel at temperature t_f (kJ/mol);

h_{f0} is the specific enthalpy of the fuel at the reference temperature t_0 (kJ/mol);

E_{pf} is the pressure energy of the fuel (kJ/mol);

M_0 is the reference molar volume of ideal gas; $2,364\ 5 \times 10^{-2}$ m³/mol (at the reference temperature for this standard, 288,15 K).

The heating value of fuel, Q_{f0} , (kJ/mol), at the reference conditions is calculated as follows:

$$Q_{f0} = \sum_{j=1}^N x_j Q_{f0j}$$

where

Q_{f0j} is the heating value of component j at the reference temperature t_0 (kJ/mol);

x_j is the molar ratio of component j ;

j is a component of the fuel;

N is the number of fuel gas constituent.

NOTE 1 Numerical values of Q_{f0j} are given in Table B 1.

The specific enthalpy of fuel, h_f (kJ/mol), is calculated from the equation

$$h_f = \sum_{j=1}^N x_j h_{fj}$$

where

h_{fj} is the specific enthalpy of component j at temperature t_f (kJ/mol);

x_j is the molar ratio of component j ;

and, h_{fj} (kJ/mol) is given by the following equation

$$h_{fj} = (A_j \times t_f + (B_j/2\ 000) \times t_f^2 + (C_j/3 \times 10^6) \times t_f^3) \times 10^{-3}$$

where

A_j , B_j and C_j are the constants of component j and given in Worksheet 1 of Annex B;

t_f is the temperature of fuel at test conditions (K).

NOTE 2 The specific enthalpy of the fuel, h_{f0} (kJ/mol) at the reference temperature is calculated with substituting t_0 for t_f in the above equation of h_{fj} .

The pressure energy of fuel, E_{pf} (kJ/mol) is calculated from the following equation:

$$E_{pf} = R \times t_0 \times \ln(p_f/p_0)$$

où

R est la constante des gaz parfaits (8,314 J/mol K);

t_0 est la température de référence (288,15 K);

p_0 est la pression de référence (101,325 kPa);

p_f est la pression du combustible (kPa).

Tableau A.1 – Résumé des paramètres de mesure et de leurs valeurs nominales

Paramètre (P_i)	Description	Unités	Valeur nominale
q_{vf}	Débit volumétrique du combustible à la température t_f et la pression p_f	m ³ /s	6,6E-05
t_f	Température du combustible	K	298,15
P_f	Pression du combustible	kPa	110
Composition du combustible (13A)	Méthane	%	88
Composition du combustible (13A)	Ethane	%	6
Composition du combustible (13A)	Propane	%	5
Composition du combustible (13A)	Butane	%	2
P_{out}	Puissance électrique de sortie	kW	1,10
P_{in}	Puissance électrique d'entrée pour charge parasite, etc.	kW	0,10

Tableau A.2 – Valeurs nominales des résultats de calcul

Résultats calculés	Description	Unités	Valeur nominale
q_{v0}	Débit volumétrique du combustible dans des conditions de référence	m ³ /s	6,9E-05
Q_{f0}	Pouvoir calorifique du combustible dans des conditions de référence	kJ/mol	926,4
h_f	Enthalpie spécifique du combustible à la température t_f	kJ/mol	7,969
h_{f0}	Enthalpie spécifique du combustible à la température de référence	kJ/mol	7,583
E_{pf}	Energie de pression du combustible	kJ/mol	0,2036
E_{fv}	Energie d'entrée du combustible	kJ/m ³	39203,2
η_e	Rendement électrique	%	37,0

A.5.1.2 Liste des sources d'erreurs élémentaires

Les sources d'erreurs élémentaires peuvent être estimées par jugement, calculées en utilisant des données avant essai ou développées en utilisant des calculs d'étalonnage en laboratoire. Les sources d'erreurs élémentaires pour les différents paramètres de la procédure d'exemple sont données au Tableau A.3.

where

R is the universal gas constant (8,314 J/mol K);

t_0 is the reference temperature (288,15 K);

p_0 is the reference pressure (101,325 kPa);

p_f is the pressure of fuel (kPa).

Table A.1 – Summary of measurement parameters and their nominal values

Parameter (P_i)	Description	Units	Nominal Value
q_{vf}	Volumetric flow rate of fuel at temperature t_f and pressure p_f	m ³ /s	6,6E-05
t_f	Temperature of fuel	K	298,15
p_f	Pressure of fuel	kPa	110
Fuel composition 13A	Methane	%	88
Fuel composition 13A	Ethane	%	6
Fuel composition 13A	Propane	%	5
Fuel composition 13A	Butane	%	2
P_{out}	Electric power output	kW	1,10
P_{in}	Electric power input for parasitic load, etc.	kW	0,10

Table A.2 – Nominal values of the calculation results

Calculated Results	Description	Units	Nominal Value
q_{v0}	Volumetric flow rate of fuel at the standard conditions	m ³ /s	6,9E-05
Q_{f0}	Heating value of fuel at the standard conditions (LHV)	kJ/mol	926,4
h_f	Specific enthalpy of fuel at temperature t_f	kJ/mol	7,969
h_{f0}	Specific enthalpy of fuel at the standard temperature	kJ/mol	7,583
E_{pf}	Pressure energy of the fuel	kJ/mol	0,2036
E_{fv}	Input energy of the fuel	kJ/m ³	39203,2
η_e	Electrical efficiency	%	37,0

A.5.1.2 List elemental error sources

Elemental error sources can be estimated by judgement, calculated using pre-test data, or developed using calibration laboratory calculations. Elemental error sources for the various parameters in the example procedure are given in Table A.3.