

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Fuel cell technologies –**

**Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode –  
Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton  
exchange membranes, including reversible operation**

**Technologies des piles à combustible –**

**Partie 8-102: Systèmes de stockage de l'énergie utilisant des modules à  
piles à combustible en mode inversé – Procédures d'essai pour la  
performance des cellules élémentaires et des piles à membrane  
échangeuse de protons, comprenant le fonctionnement réversible**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

#### IEC publications search - [webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

#### IEC Customer Service Centre - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

#### IEC Glossary - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

### A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

#### Recherche de publications IEC -

[webstore.iec.ch/advsearchform](http://webstore.iec.ch/advsearchform)

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

#### IEC Just Published - [webstore.iec.ch/justpublished](http://webstore.iec.ch/justpublished)

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

#### Service Clients - [webstore.iec.ch/csc](http://webstore.iec.ch/csc)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: [sales@iec.ch](mailto:sales@iec.ch).

#### Electropedia - [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

#### Glossaire IEC - [std.iec.ch/glossary](http://std.iec.ch/glossary)

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



---

### Fuel cell technologies –

**Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode –  
Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton  
exchange membranes, including reversible operation**

### Technologies des piles à combustible –

**Partie 8-102: Systèmes de stockage de l'énergie utilisant des modules à  
piles à combustible en mode inversé – Procédures d'essai pour la  
performance des cellules élémentaires et des piles à membrane  
échangeuse de protons, comprenant le fonctionnement réversible**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-7675-4

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.  
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                             | 5  |
| INTRODUCTION.....                                                                         | 7  |
| 1 Scope.....                                                                              | 8  |
| 2 Normative references .....                                                              | 8  |
| 3 Terms, definitions and symbols .....                                                    | 8  |
| 3.1 Terms and definitions.....                                                            | 8  |
| 3.2 Symbols.....                                                                          | 13 |
| 3.3 Standard temperature and pressure (STP) values for gas temperature and pressure ..... | 15 |
| 4 General safety considerations .....                                                     | 15 |
| 5 Test environment.....                                                                   | 16 |
| 5.1 General.....                                                                          | 16 |
| 5.2 Reversible PEM cell/stack assembly unit .....                                         | 17 |
| 5.3 Separated reversible PEM cell/stack assembly unit.....                                | 17 |
| 5.4 Experimental set-up .....                                                             | 17 |
| 5.4.1 General .....                                                                       | 17 |
| 5.4.2 Fluid flow control equipment .....                                                  | 18 |
| 5.4.3 Load/power control equipment.....                                                   | 18 |
| 5.4.4 Measurement and data acquisition equipment .....                                    | 18 |
| 5.4.5 Safety equipment.....                                                               | 19 |
| 5.4.6 Mechanical load control equipment.....                                              | 19 |
| 5.4.7 Heat management equipment.....                                                      | 19 |
| 5.4.8 Gas pressure control equipment .....                                                | 19 |
| 5.4.9 Test system control equipment .....                                                 | 19 |
| 5.5 Parameter control and measurement .....                                               | 19 |
| 5.6 Measurement methods of TIPs and TOPs and control accuracy .....                       | 20 |
| 6 Measurement instruments and measurement methods.....                                    | 20 |
| 6.1 Instrument uncertainty .....                                                          | 20 |
| 6.2 Recommended measurement instruments and methods.....                                  | 21 |
| 6.2.1 General .....                                                                       | 21 |
| 6.2.2 Voltage.....                                                                        | 21 |
| 6.2.3 Current .....                                                                       | 21 |
| 6.2.4 Internal resistance (IR) .....                                                      | 21 |
| 6.2.5 Electrode gas flow rates .....                                                      | 22 |
| 6.2.6 Electrode gas temperature.....                                                      | 22 |
| 6.2.7 Cell/stack temperature.....                                                         | 23 |
| 6.2.8 Electrode gas pressures .....                                                       | 23 |
| 6.2.9 Electrode gas humidity .....                                                        | 23 |
| 6.2.10 Ambient conditions .....                                                           | 23 |
| 6.3 Reference test conditions and manufacturer recommendations .....                      | 24 |
| 6.3.1 Start-up and shut-down conditions.....                                              | 24 |
| 6.3.2 Range of test conditions .....                                                      | 24 |
| 6.3.3 Stabilization, initialization conditions and stable state .....                     | 24 |
| 6.4 Data acquisition method.....                                                          | 24 |
| 7 Test procedures and computation of results .....                                        | 25 |
| 7.1 General.....                                                                          | 25 |

|         |                                                    |    |
|---------|----------------------------------------------------|----|
| 7.2     | Current-voltage ( $I$ - $V$ ) characteristics test | 25 |
| 7.2.1   | Objective                                          | 25 |
| 7.2.2   | Test method                                        | 25 |
| 7.2.3   | Data post-processing                               | 25 |
| 7.3     | Steady-state test                                  | 26 |
| 7.3.1   | Objective                                          | 26 |
| 7.3.2   | Test methods                                       | 26 |
| 7.3.3   | Data post-processing                               | 26 |
| 7.4     | Durability test                                    | 26 |
| 7.4.1   | Objective                                          | 26 |
| 7.4.2   | Test method                                        | 26 |
| 7.4.3   | Data post-processing                               | 26 |
| 7.5     | Internal resistance (IR) measurement               | 27 |
| 7.5.1   | Objective                                          | 27 |
| 7.5.2   | Test methods                                       | 27 |
| 7.5.3   | Data post processing                               | 28 |
| 7.6     | Current cycling durability test                    | 28 |
| 7.6.1   | Objective                                          | 28 |
| 7.6.2   | Test method                                        | 28 |
| 7.6.3   | Data post-processing                               | 28 |
| 7.7     | Pressurized test                                   | 29 |
| 7.7.1   | Objective                                          | 29 |
| 7.7.2   | Test method                                        | 29 |
| 7.7.3   | Data post-processing                               | 29 |
| 8       | Test report                                        | 29 |
| 8.1     | General                                            | 29 |
| 8.2     | Report items                                       | 29 |
| 8.3     | Test unit data description                         | 30 |
| 8.4     | Test condition description                         | 30 |
| 8.5     | Test data description                              | 30 |
| 8.6     | Uncertainty evaluation                             | 30 |
| Annex A | (normative) Test procedure guidelines              | 31 |
| A.1     | Test objective                                     | 31 |
| A.2     | Test set-up                                        | 31 |
| A.3     | Current-voltage characteristics test (7.2)         | 31 |
| A.3.1   | Test input parameters (TIPs)                       | 31 |
| A.3.2   | Test output parameters (TOPs)                      | 32 |
| A.3.3   | Derived quantities                                 | 32 |
| A.4     | Steady-state test (7.3)                            | 33 |
| A.4.1   | Test input parameters (TIPs)                       | 33 |
| A.4.2   | Test output parameters (TOPs)                      | 34 |
| A.4.3   | Derived quantities                                 | 34 |
| A.5     | Durability test (7.4)                              | 35 |
| A.5.1   | Test input parameters (TIPs)                       | 35 |
| A.5.2   | Test output parameters (TOPs)                      | 35 |
| A.5.3   | Derived quantities                                 | 36 |
| A.5.4   | Measurement of durability                          | 36 |
| A.6     | Current cycling durability test                    | 37 |
| A.6.1   | Test input parameters (TIPs)                       | 37 |

|                     |                                                                                                                                    |    |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.6.2               | Test output parameters (TOPs).....                                                                                                 | 37 |
| A.6.3               | Derived quantities.....                                                                                                            | 38 |
| A.6.4               | Measurement of current cycling durability.....                                                                                     | 38 |
| A.7                 | Pressurized test.....                                                                                                              | 39 |
| A.7.1               | Test input parameters (TIPs).....                                                                                                  | 39 |
| A.7.2               | Test output parameters (TOPs).....                                                                                                 | 39 |
| A.7.3               | Derived quantities.....                                                                                                            | 39 |
| A.7.4               | Measurement of pressurized test.....                                                                                               | 40 |
| Annex B (normative) | Formulary.....                                                                                                                     | 41 |
| Bibliography        | .....                                                                                                                              | 42 |
| Figure 1            | – Schematic representation of a reversible PEM cell/stack assembly unit.....                                                       | 17 |
| Figure 2            | – Schematic representation of a separate reversible PEM cell/stack assembly unit.....                                              | 17 |
| Figure 3            | – Schematic graph of a test environment for a PEM cell/stack assembly unit.....                                                    | 18 |
| Figure 4            | – Schematic diagram of PEM cell impedance.....                                                                                     | 22 |
| Table 1             | – Symbols.....                                                                                                                     | 14 |
| Table 2             | – Instrument uncertainty for each quantity to be measured.....                                                                     | 20 |
| Table A.1           | – Test input parameters (TIPs) for current-voltage characteristics test.....                                                       | 32 |
| Table A.2           | – Test output parameters (TOPs) for current-voltage characteristics test.....                                                      | 32 |
| Table A.3           | – Derived quantities for current-voltage characteristics test.....                                                                 | 33 |
| Table A.4           | – Test input parameters (TIPs) for steady state test.....                                                                          | 33 |
| Table A.5           | – Test output parameters (TOPs) for steady state test.....                                                                         | 34 |
| Table A.6           | – Derived quantities for steady state test.....                                                                                    | 34 |
| Table A.7           | – Test input parameters (TIPs) for durability test.....                                                                            | 35 |
| Table A.8           | – Test output parameters (TOPs) for durability test.....                                                                           | 36 |
| Table A.9           | – Derived quantities for constant load durability test.....                                                                        | 36 |
| Table A.10          | – Test input parameters (TIPs) for current cycling durability test within a single operating mode (fuel cell or electrolysis)..... | 37 |
| Table A.11          | – Test input parameters (TIPs) for current cycling durability test covering both operating modes (fuel cell and electrolysis)..... | 37 |
| Table A.12          | – Test output parameters (TOPs) for current cycling durability test.....                                                           | 38 |
| Table A.13          | – Derived quantities for current cycling durability test.....                                                                      | 38 |
| Table A.14          | – Test input parameters (TIPs) for pressurized testing.....                                                                        | 39 |
| Table A.15          | – Test output parameters (TOPs) for pressurized testing.....                                                                       | 39 |
| Table A.16          | – Derived quantities for pressurized test.....                                                                                     | 39 |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

## FUEL CELL TECHNOLOGIES –

**Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton exchange membranes, including reversible operation**

## 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 itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 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 62282-8-102 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies.

The text of this International Standard is based on the following documents:

| FDIS         | Report on voting |
|--------------|------------------|
| 105/763/FDIS | 105/776/RVD      |

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

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

A list of all parts in the IEC 62282 series, published under the general title *Fuel cell technologies*, can be found on the IEC website.

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

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

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-8-102:2019

## INTRODUCTION

This part of IEC 62282 describes test methods for a single cell and stack (denoted as "cell/stack" hereafter) that are intended for use in energy storage systems that use proton exchange membrane fuel cells (PEMFC) in combination with proton exchange membrane water electrolyzers (PEMWE), or directly using proton exchange membrane cells (Re-PEM).

This document is intended to be used for data exchanges in commercial transactions between cell/stack manufacturers and system developers or for acquiring data on a cell or stack in order to estimate the performance of a system based on it. Users of this document can selectively execute test items suitable for their purposes from those described in this document.

PEMFCs, PEMWEs and Re-PEMs have a broad range of geometry and size. As such, in general, peripherals like current collectors and gas manifolds are unique to each cell or stack and are often incorporated into a cell or stack to form one integrated unit. In addition, they tend to have a significant effect on the power generation characteristics of the cell or stack. This document therefore introduces as its subject "cell/stack assembly unit", which are defined as those units containing not only a cell or a stack, but also peripherals.

IEC 62282-8 (all parts) aims to develop performance test methods for power storage and buffering systems based on electrochemical modules (combining electrolysis and fuel cells, in particular reversible fuel cells), taking into consideration both options of re-electrification and substance (and heat) production for sustainable integration of renewable energy sources.

Under the general title *Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode*, the IEC 62282-8 series consists of the following parts:

- IEC 62282-8-101: *Test procedures for the performance of solid oxide single cells and stacks, including reversible operation*
- IEC 62282-8-102: *Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton exchange membranes, including reversible operation*
- IEC 62282-8-103 <sup>1</sup>: *Alkaline single cell and stack performance including reversible operation*
- IEC 62282-8-201: *Test procedures for the performance of power-to-power systems*
- IEC 62282-8-202<sup>2</sup>: *Power-to-power systems – Safety*
- IEC 62282-8-300 (all parts)<sup>3</sup>: *Power-to-substance systems*

As a priority dictated by the emerging needs for industry and opportunities for technological development, IEC 62282-8-101, IEC 62282-8-102 and IEC 62282-8-201 have been initiated jointly and as a priority. These parts are presented as a package to highlight the need for an integrated approach as regards the system application (i.e. a solution for energy storage) and its fundamental constituent components (i.e. fuel cells operated in reverse or reversing mode).

IEC 62282-8-103, IEC 62282-8-202 and IEC 62282-8-300 (all parts) are suggested but are left for initiation at a later stage.

---

<sup>1</sup> Under consideration.

<sup>2</sup> Under consideration.

<sup>3</sup> Under consideration.

## FUEL CELL TECHNOLOGIES –

### Part 8-102: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Test procedures for the performance of single cells and stacks with proton exchange membranes, including reversible operation

#### 1 Scope

This part of IEC 62282 deals with PEM cell/stack assembly units, testing systems, instruments and measuring methods, and test methods to test the performance of PEM cells and stacks in fuel cell mode, electrolysis and/or reversible mode.

#### 2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 60050-485:—<sup>4</sup>, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 485: Fuel cell technologies*

IEC TS 62282-7-1:2017, *Fuel cell technologies – Part 7-1: Test methods – Single cell performance tests for polymer electrolyte fuel cells (PEMFC)*

#### 3 Terms, definitions and symbols

##### 3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-485 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

##### 3.1.1

##### **active electrode area**

geometric area of the electrode perpendicular to the direction of the current flow

Note 1 to entry: Usually this corresponds to the smaller of the two areas of negative electrode or positive electrode.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-02-08, modified – "electrode" added to the term, the term "effective area" has been deleted, and the notes to entry have been replaced with a new note to entry.]

<sup>4</sup> Under preparation. Stage at the time of preparation: IEC FDIS 60050-485:2019.

**3.1.2****area-specific resistance****ASR**

internal resistivity with respect to the active electrode area, including the change of potential due to the electrochemical reaction

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

**3.1.3****catalyst**

substance that accelerates (increases the rate of) a reaction without being consumed itself

Note 1 to entry: The catalyst lowers the activation energy of the reaction, allowing for an increase in the reaction rate.

**3.1.4****catalyst-coated membrane****CCM**

<in a PEMFC (3.1.24)> polymer membrane whose surfaces are coated with a catalyst layer (3.1.5) to form the reaction zone of the electrode (3.1.8)

Note 1 to entry: See also membrane electrode assembly (MEA) (3.1.17).

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-04-03]

**3.1.5****catalyst layer**

surface porous region adjacent to either side of the membrane containing the catalyst (3.1.3), typically with ionic and electronic conductivity

Note 1 to entry: The catalyst layer comprises the spatial region where the electrochemical reactions can take place.

**3.1.6****current collector**

conductive material in a fuel cell (3.1.13) that collects electrons from the negative electrode (3.1.20) side or conducts electrons to the positive electrode (3.1.25) side

**3.1.7****current density**

current per unit active area (IEV 485-02-08)

Note 1 to entry: Current density is expressed in A/m<sup>2</sup> or A/cm<sup>2</sup>.

**3.1.8****electrode**

electronic conductor (or semi-conductor) through which an electric current enters or leaves the electrochemical cell as the result of an electrochemical reaction

Note 1 to entry: An electrode is either a positive electrode (3.1.25) or a negative electrode (3.1.20).

**3.1.9****electrolyte**

liquid or solid substance containing mobile ions that render it ionically conductive

Note 1 to entry: The electrolyte is the main distinctive feature of the different fuel cell technologies (e.g. a liquid, polymer, molten salt, solid oxide) and determines the usable operating temperature range.

### 3.1.10

#### **end plate**

component located on either end of the cell stack in the direction of current flow, serving to transmit the required compression to the stacked cells

Note 1 to entry: The end plate can comprise ports, ducts, and manifolds for the supply of fluids (reactants, coolant) to the cell stack.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-06, modified – The admitted terms have been deleted, "fuel cell stack" has been replaced by "cell stack in the direction of current flow" in the definition, and the second sentence of Note 1 to entry has been deleted.]

### 3.1.11

#### **flow plate**

electronically conductive plate which incorporates channels for fuel (3.1.12) or oxidant (3.1.22) gas flow in fuel cell mode, while for water and gas flow in electrolysis mode and which comprises an electric contact with an electrode (3.1.8)

Note 1 to entry: The conductive plate material can be metal, a material such as graphite, or a conductive polymer that can be a carbon-filled composite.

### 3.1.12

#### **fuel**

hydrogen or hydrogen-containing gas that reacts at the negative electrode (3.1.20) in a fuel cell (3.1.13)

### 3.1.13

#### **fuel cell**

electrochemical device that converts the chemical energy of a fuel (3.1.12) and an oxidant (3.1.22) to electric energy (direct current (DC) power), heat and reaction products

Note 1 to entry: The fuel and oxidant are typically stored outside the fuel cell and transferred into the fuel cell as they are consumed.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-01]

### 3.1.14

#### **gas diffusion electrode**

#### **GDE**

type of electrode specifically designed for gaseous reactants or products or both

Note 1 to entry: A gas diffusion electrode usually comprises one or more porous layers, like the gas diffusion layer (3.1.15) and the catalyst layer (3.1.5).

Note 2 to entry: Gas diffusion electrodes can be negative gas diffusion electrodes and positive gas diffusion electrodes.

Note 3 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-02-02, modified – The abbreviated term "GDE" has been added, and "anodes" and "cathodes" have been replaced by "negative ... electrodes" and "positive ... electrodes" in Note 2 to entry.]

### 3.1.15

#### **gas diffusion layer**

#### **GDL**

porous substrate placed between the catalyst layer (3.1.5) and the flow plate (3.1.11) to serve as electric contact and allow the access of reactants to the catalyst layer and the removal of reaction products

Note 1 to entry: The gas diffusion layer is a component of a gas diffusion electrode (3.1.14).

Note 2 to entry: The gas diffusion layer is also called a porous transport layer (PTL).

Note 3 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-04-05, modified – "Bipolar plate" has been replaced by "flow plate" in the definition, and Note 2 to entry has been added.]

### 3.1.16

#### **internal resistance**

ohmic resistance inside a fuel cell (3.1.13), measured between current collectors (3.1.6), caused by the electronic and ionic resistances of the different components (electrodes, electrolyte, flow plates and current collectors)

Note 1 to entry: The term ohmic refers to the fact that the relation between voltage drop and current is linear and obeys Ohm's law.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-15-04]

### 3.1.17

#### **membrane electrode assembly**

##### **MEA**

component of a PEMFC (3.1.24) consisting of an electrolyte membrane, electrode and gas diffusion layer (3.1.15) on either side or a component of a PEMWE (3.1.26) consisting of an electrolyte membrane with catalyst layers (3.1.5) on either side.

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC TS 62282-7-1:2017, 3.19, modified – "or a component of a PEMWE...on either side" has been added.]

### 3.1.18

#### **minimum cell voltage**

lowest permitted fuel cell voltage specified by the manufacturer

### 3.1.19

#### **maximum cell voltage**

highest electrolyser voltage specified by the manufacturer

### 3.1.20

#### **negative electrode**

electrode (3.1.8) at which hydrogen gas is consumed or produced

Note 1 to entry: It is also called hydrogen electrode. In fuel cell mode it is called the anode, where the hydrogen is oxidized. In electrolysis mode, it is called the cathode, where water is reduced producing hydrogen.

Note 2 to entry: In fuel cell mode, the negative electrode gas is usually hydrogen or a mixture which contains hydrogen as a principal component mixed with water vapour and/or inert gas.

### 3.1.21

#### **open circuit voltage**

##### **OCV**

voltage across the terminals of a fuel cell (3.1.13) with fuel (3.1.12) and an oxidant (3.1.22) present and in the absence of external current flow

Note 1 to entry: The open circuit voltage is expressed in V.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-13-02, modified – The term "no-load" voltage has been deleted.]

### 3.1.22

#### **oxidant**

oxygen or oxygen-containing gas (e.g. air) that reacts at the positive electrode (3.1.25) in fuel cell mode

### 3.1.23

#### **polymer electrolyte**

polymer material containing mobile ions that render it ionically conductive

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-03-01, modified – In the definition, "liquid or solid substance" has been replaced by "polymer material".]

### 3.1.24

#### **proton exchange membrane fuel cell**

#### **PEMFC**

fuel cell (3.1.13) that employs a polymer with (proton) ionic exchange capability as the electrolyte (3.1.9)

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-08, modified – The admitted term "solid polymer fuel cell" has been deleted, and the term "polymer electrolyte fuel cell" has been deleted.]

### 3.1.25

#### **positive electrode**

electrode (3.1.8) at which oxygen is consumed or produced

Note 1 to entry: It may also be called oxygen electrode. In fuel cell mode it is called cathode where oxygen is reduced producing water. In the electrolysis mode, it is called anode where oxygen and protons are formed from water.

### 3.1.26

#### **proton exchange membrane water electrolyser**

#### **PEMWE**

electrolyser that employs a polymer with (proton) ionic exchange capability as the electrolyte (3.1.9)

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

### 3.1.27

#### **power density**

ratio of the electric power to the active electrode area (3.1.1) of the cell/stack assembly unit electrodes

### 3.1.28

#### **rated current density**

maximum current density specified by the manufacturer, at which the cell/stack (3.1.32) assembly has been designed to operate continuously

### 3.1.29

#### **reactant utilization**

ratio of converted substance flow through a given electrode of the cell/stack assembly unit to the input substance flow of the same electrode

Note 1 to entry: The three types of reactant utilization are:

- fuel (hydrogen) utilization (negative electrode in PEMFC mode);
- oxygen utilization (positive electrode in PEMFC mode);
- water conversion (positive electrode in PEMWE mode).

Note 2 to entry: In PEMFC mode, the effective reactant utilization can also be calculated as the ratio of actual output current of the cell/stack assembly unit to the theoretical Faradaic current.

### **3.1.30**

#### **reversible proton exchange membrane cell**

##### **RPEMC**

##### **Re-PEM**

cell composed of three functional elements: negative electrode (3.1.20), proton exchange membrane electrolyte and positive electrode (3.1.25)

Note 1 to entry: Re-PEM can be used in fuel cell mode (PEMFC) or in electrolysis mode (PEMWE).

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

Note 3 to entry: This note applies to the French language only.

### **3.1.31**

#### **stable state**

condition of a cell/stack assembly unit stable enough for any controlling parameter and the output/input voltage or output/input current of the unit to remain within its tolerance range of variation

### **3.1.32**

#### **stack**

assembly of cells, separators, cooling plates, end plates, manifolds and a supporting structure that is used as a fuel cell (PEMFC) and/or a water electrolyser (PEMWE)

### **3.1.33**

#### **test input parameter**

##### **TIP**

parameters whose values can be set in order to define the test conditions of the test system including the operating conditions of the test object

Note 1 to entry: TIPs have to be controllable and measurable. Values of TIPs are known before conducting the test. TIPs can be either static or variable. Static TIPs shall remain constant and variable TIPs are varied during the test.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

### **3.1.34**

#### **test output parameter**

##### **TOP**

parameters that indicate the response of the test system/test object as a result of variation of one or more TIPs

Note 1 to entry: Values of TOPs are unknown before conducting the test and will be measured during the test. TOPs need to be measurable.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

### **3.1.35**

#### **dwelt time**

time between changes in the setting of operating conditions

## **3.2 Symbols**

Table 1 shows the symbols and units that are used in this document.

**Table 1 – Symbols**

| Symbol                            | Definition                                                              | Unit              |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $a$                               | Error limit specified from specification of instrument                  | -                 |
| $A_{\text{active}}$               | Active electrode area of the cell/stack electrode(s)                    | cm <sup>2</sup>   |
| $F$                               | Faraday constant (96485,3)                                              | A·s/mol           |
| $F_{\text{compr}}$                | Compression force applied onto the cell/stack                           | N                 |
| $I$                               | Stack current                                                           | A                 |
| $J$                               | Stack current density                                                   | A/cm <sup>2</sup> |
| $k$                               | Coverage factor                                                         |                   |
| $n$                               | Number of transferred electrons                                         |                   |
| $N$                               | Number of cells in a series connection                                  | -                 |
| $p$                               | Pressure                                                                | kPa               |
| $p_{\text{neg,in}}$               | Fluid pressure at negative electrode inlet                              | kPa               |
| $p_{\text{pos,in}}$               | Fluid pressure at positive electrode inlet                              | kPa               |
| $p_{\text{neg,out}}$              | Fluid pressure at negative electrode outlet                             | kPa               |
| $p_{\text{pos,out}}$              | Fluid pressure at positive electrode outlet                             | kPa               |
| $P$                               | Power                                                                   | W                 |
| $P_{\text{d}}$                    | Electric power density                                                  | W/cm <sup>2</sup> |
| $P_{\text{el}}$                   | Electric power                                                          | W                 |
| $q_V$                             | Volumetric flow rate                                                    | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i}$                         | Volumetric flow rate of fluid component $i$ (STP <sup>b</sup> )         | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{neg}}$                | Volumetric flow rate of negative electrode fluid (STP <sup>b</sup> )    | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{pos}}$                | Volumetric flow rate of positive electrode fluid (STP <sup>b</sup> )    | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{neg,in}}$             | Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet            | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{pos,in}}$             | Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet            | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i,\text{neg,in}}$           | Volumetric flow rate of fluid component $i$ at negative electrode inlet | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i,\text{pos,in}}$           | Volumetric flow rate of fluid component $i$ at positive electrode inlet | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ | Volumetric flow rate of hydrogen at negative electrode outlet           | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{M,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ | Hydrogen molar flow rate at negative electrode outlet                   | mol/s             |
| $R_{\text{as}}$                   | Area-specific resistance                                                | Ω·cm <sup>2</sup> |
| $R_{\text{int}}$                  | Internal resistance                                                     | Ω                 |
| $R_{\text{g}}$                    | Universal gas constant (8,314 5)                                        | J/(mol·K)         |
| $t_{\text{acq}}$                  | Data acquisition time                                                   | s                 |
| $t_{\text{op}}$                   | Operating time                                                          | s                 |
| $t_0$                             | Beginning of measurement                                                | s                 |
| $t_1$                             | End of measurement                                                      | s                 |
| $t_{\text{dwell}}$                | Dwell time at a given operating point                                   | s                 |
| $t_{\text{eq}}$                   | Equilibration time at a given operating point                           | s                 |
| $t_{\text{acq}}$                  | Acquisition time at a given operating point                             | s                 |
| $T$                               | Temperature                                                             | °C                |
| $T_{\text{cell}}$                 | Temperature of the PEM cell                                             | °C                |
| $T_{\text{EP}}$                   | End plate temperature of the stack                                      | °C                |
| $T_{\text{neg,in}}$               | Temperature of negative electrode fluid at cell/stack inlet             | °C                |

| Symbol                                                                                                                                    | Definition                                                                                    | Unit                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $T_{\text{pos,in}}$                                                                                                                       | Temperature of positive electrode fluid at cell/stack inlet                                   | °C                         |
| $T_{\text{neg,out}}$                                                                                                                      | Temperature of negative electrode fluid at cell/stack outlet                                  | °C                         |
| $T_{\text{pos,out}}$                                                                                                                      | Temperature of positive electrode fluid at cell/stack outlet                                  | °C                         |
| $T_{\text{stack}}$                                                                                                                        | Temperature of the PEM stack                                                                  | °C                         |
| $T_{\text{stack,intern}}$                                                                                                                 | Internal stack temperature                                                                    | °C                         |
| $T_{\text{TR,in}}$                                                                                                                        | Heat transfer fluid inlet temperature                                                         | °C                         |
| $T_{\text{TR,out}}$                                                                                                                       | Heat transfer fluid outlet temperature                                                        | °C                         |
| $U_{\text{neg}}$                                                                                                                          | Reactant utilization at the negative electrode (fuel utilization in fuel cell mode)           | -                          |
| $U_{\text{pos}}$                                                                                                                          | Reactant utilization at the positive electrode (oxidant utilization in fuel cell mode)        | -                          |
| $V_{\text{cell/stack}}$                                                                                                                   | Voltage of the cell/stack assembly unit                                                       | V                          |
| $V_{\text{cell},i}$                                                                                                                       | Voltage of the individual cell number $i$                                                     | V                          |
| $V_{\text{av}}$                                                                                                                           | Average voltage of all cells in the stack                                                     | V                          |
| $x$                                                                                                                                       | Composition                                                                                   |                            |
| $x_i$                                                                                                                                     | Molar fraction of component $i$                                                               |                            |
| $\Delta p_{\text{neg-pos}}$                                                                                                               | Pressure difference between negative electrode compartment and positive electrode compartment | kPa                        |
| $\Delta P_{\text{d}}$                                                                                                                     | Change in power density                                                                       | W/cm <sup>2</sup>          |
| $\Delta R_{\text{as}}$                                                                                                                    | Change in area-specific resistance                                                            | $\Omega \cdot \text{cm}^2$ |
| $\Delta V$                                                                                                                                | Change in voltage                                                                             | V                          |
| $\Delta V_{\text{Cl}}$                                                                                                                    | Instantaneous change in cell voltage when the current is switched off                         | V                          |
| $\Delta Y/\Delta t$                                                                                                                       | Degradation rate <sup>a</sup>                                                                 |                            |
| <sup>a</sup> The quantity $Y$ chosen for calculating the degradation rate can be the cell or stack voltage, the power density or the ASR. |                                                                                               |                            |
| <sup>b</sup> See 3.3.                                                                                                                     |                                                                                               |                            |

### 3.3 Standard temperature and pressure (STP) values for gas temperature and pressure

The reference gas conditions are specified as follows:

- $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ;
- $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ .

## 4 General safety considerations

An operating PEM cell/stack assembly unit uses or produces oxidizing and reducing, combustible gases. Typically, these gases are stored in high-pressure containers. The PEM cell/stack assembly unit itself can be operated at a pressure greater than atmospheric pressure.

The test personnel are responsible for obtaining and following all applicable safety codes and generally accepted engineering practices related to their test system, facility, fuels (with particular attention to compressed gases), and exhaust products. Those who carry out PEM cell/stack assembly unit testing shall be trained and experienced in the operation of test systems and specifically in safety procedures.

Materials which are compatible with the use and storage of the reactant gases shall be used during testing. Local safety codes and standards for working with hydrogen shall be followed.

Nevertheless, a number of empirical guidelines can be given for good practice while carrying out the experimental tests, which can help identify potentially hazardous situations. Operating conditions of the PEM cell/stack assembly unit have to be carefully monitored, in order to prevent safety-related issues, by use of an appropriate emergency shutdown system.

- Gas sensors: It is recommended to have gas sensors in close proximity to the test station (in particular for  $H_2$ ), which are connected to an automated emergency shutdown system that cuts off the fuel feed to the test station if leakage of hazardous gases is detected.
- Protection gas emergency supply: In the case of emergency shutdown, it is recommended that a line containing an inert, reducing gas (i.e. nitrogen) be employed for the flushing of the negative electrode side of the PEM cell/stack assembly unit. This helps to expel flammable reactants from the system.
- Exhausted hydrogen shall be adequately dealt with. For small hydrogen flow rates (relative to the confined space where testing takes place), it can be sufficient to dilute the exhaust gas from the negative electrode with air or inert gas before venting. If large stacks are used, it is advised to adopt a (catalytic) afterburner before venting.
- Care shall be taken to ensure that oxygen produced in electrolysis mode is adequately dealt with. This shall be ventilated to the exterior in order to avoid accumulation of oxygen-enriched air, especially in confined spaces.
- For large stacks operated in fuel cell mode, care shall be taken to ensure that the positive electrode exhaust gas will be air depleted in oxygen, and therefore shall be adequately dealt with.
- Monitoring cell/stack voltage: A low open-circuit voltage (OCV) can be an indication of gas leakage from the cell/stack assembly. During the test operation (in closed circuit), it is advisable to monitor the cell/stack's closed-circuit voltage and implement an automated opening of the circuit if the measured cell/stack voltage falls outside of the predefined operating window.
- Pressure sensors could also assist to the control overpressures in the cell/stack assembly unit and to prevent a break in tightness.
- When operating the PEM cell/stack assembly unit in electrolysis mode, care should be taken to ensure that the produced hydrogen and the produced oxygen is adequately dealt with. The concentration of the produced hydrogen and oxygen shall be measured to avoid the concentration of the mixture of hydrogen and oxygen in the explosive range.
- In all cases, an adequate risk assessment that considers the place of testing and operating conditions should be conducted and appropriate risk reduction measures taken.

This by no means claims to be an exhaustive or even sufficient list for safe operation during testing. ISO/TR 15916 recommends "basic considerations for the safety of hydrogen systems"; however, measures for dealing with safety issues have to be drawn up in compliance with local legal requirements.

## 5 Test environment

### 5.1 General

The test environment consists of the test object (a PEM cell/stack assembly unit) mounted within the experimental set-up. The PEM cell/stack assembly unit consists of a cell or stack, fluid supply, current leads and such other peripherals as required for power generation or storage tests. It shall be provided with single or multiple measuring points for temperature and voltage and one set of current lead points, all to be specified by the manufacturer.

If the components of a cell/stack assembly unit other than a cell/stack are not specified by the manufacturer, unless proprietary, the following shall be described in the test report:

- components to be tested;
- flow pattern and direction of fluids;
- locations of temperature measurement, load application, voltage measurement and current extraction/supply;
- magnitude of the mechanical load;
- configuration of the assembly unit and its assembling method.

## 5.2 Reversible PEM cell/stack assembly unit

Figure 1 shows a reversible PEM cell/stack assembly unit, a number of MEA electric connected in series and/or parallel which are integrated between two end plates. The electrodes in the reversible PEM cell/stack assembly unit are the negative electrode and positive electrode, respectively.

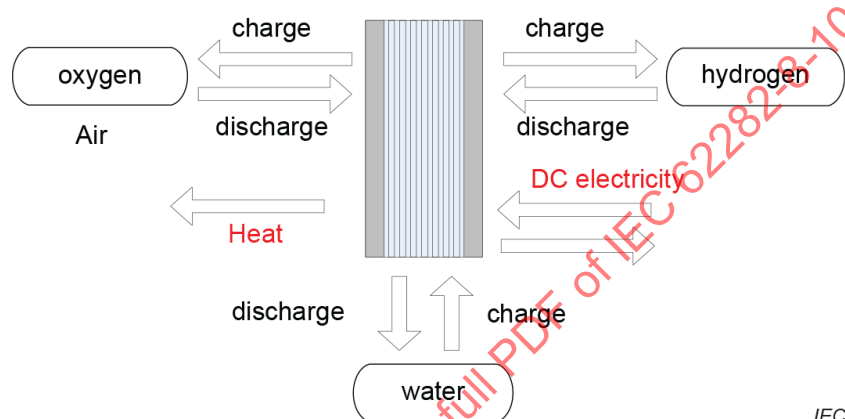


Figure 1 – Schematic representation of a reversible PEM cell/stack assembly unit

## 5.3 Separated reversible PEM cell/stack assembly unit

Figure 2 shows the schematic representation of a separated reversible PEM cell/stack assembly unit, consisting of a PEMFC and a PEMWE, which are connected by an oxygen tank, a hydrogen tank and a water tank.

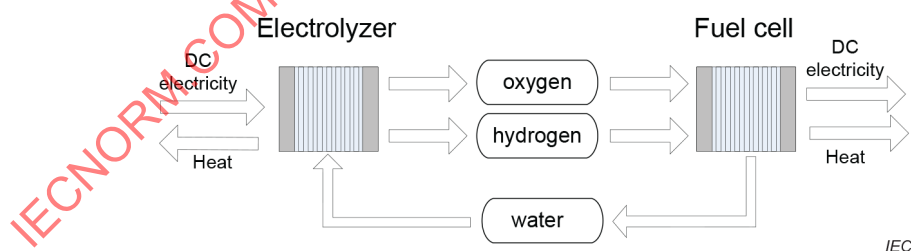


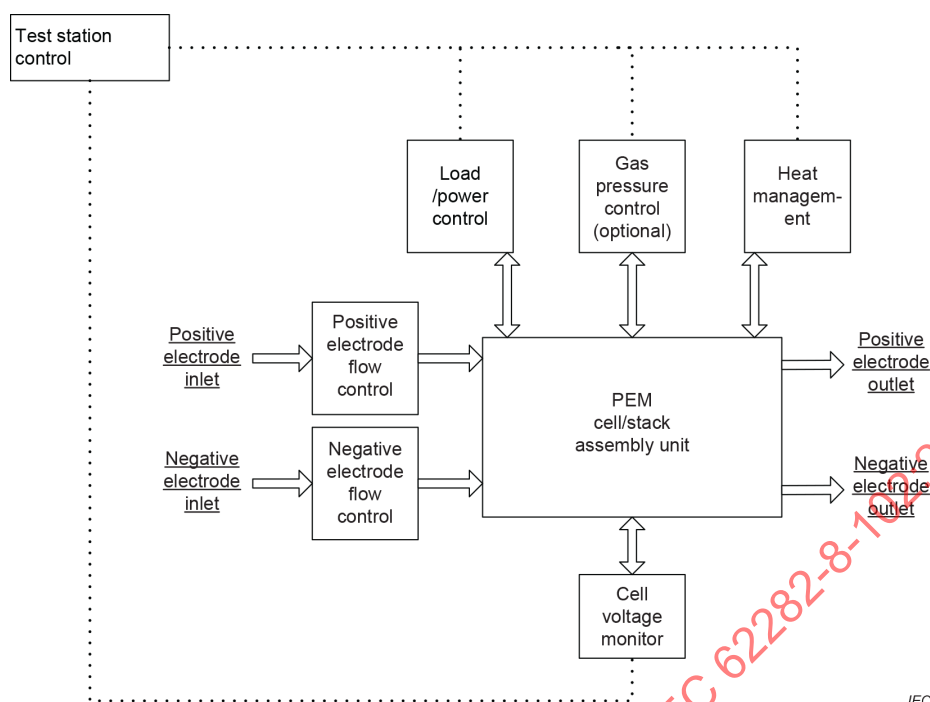
Figure 2 – Schematic representation of a separate reversible PEM cell/stack assembly unit

## 5.4 Experimental set-up

### 5.4.1 General

Figure 3 shows a complete test environment which consists of the PEM cell/stack assembly unit (test object) and the corresponding test and control equipment, divided into different subsystems. The test object is exposed to test inputs or operational conditions and delivers test outputs or test results.

The operation mode could be steady-state operation or dynamic operation.



**Figure 3 – Schematic graph of a test environment for a PEM cell/stack assembly unit**

#### 5.4.2 Fluid flow control equipment

The fluid flow control equipment controls the flow rate, composition and temperature of fluids supplied to the cell/stack assembly unit. The fluids comprise the positive and negative electrode gases (PEMFC) and deionized water (PEMWE).

#### 5.4.3 Load/power control equipment

The load/power control subsystem controls the output/input current or output/input voltage of the cell/stack assembly unit.

#### 5.4.4 Measurement and data acquisition equipment

The measurement and data acquisition equipment acquires and records:

- the cell/stack assembly unit temperature, current and voltage as well as individual cell voltages;
- the inlet fluid flow rates, composition, temperature;

and optionally:

- the environmental conditions (ambient temperature, relative humidity and atmospheric pressure)
- the mechanical load applied to the cell;
- the pressure of the gases (at inlet and/or outlet)
- the flow rate, composition and temperature of the outlet gases;
- the flow rate, composition and temperatures of the heat transfer fluid(s);
- cell/stack assembly unit impedance.

The data shall be recorded at appropriate sampling rates.

#### 5.4.5 Safety equipment

The safety equipment shall consist of detectors, actuators and an alarm system for alerting malfunctioning of the test system based on predefined parameters and criteria. If it detects a serious fault, then it shall automatically establish a safe state in the test system. For safety reasons the electrode gases shall be purged with an inert gas. For the protection of the PEM cell/stack assembly unit, the inert gas may, as appropriate, also contain oxygen/hydrogen additions outside their respective higher flammable limit (HFL)/lower flammable limit (LFL).

#### 5.4.6 Mechanical load control equipment

The optional, mechanical load control equipment regulates the mechanical load that is applied to increase the contact among components in the cell/stack assembly unit. The equipment shall be strong enough to apply the required mechanical load under the test conditions and to maintain the load for a long-term operation.

#### 5.4.7 Heat management equipment

The heat management equipment controls the temperature of the PEM cell/stack assembly unit. It transfers heat from/to the PEM cell/stack assembly unit (PEMFC/PEMWE) via a heat transfer fluid.

#### 5.4.8 Gas pressure control equipment

The optional, gas pressure control equipment regulates the pressure of the electrode gases.

#### 5.4.9 Test system control equipment

The test system control equipment provides an integrated control for each control device and data acquisition device.

### 5.5 Parameter control and measurement

For the fluids at cell/stack inlet and/or outlet, the relevant parameters are:

- temperature,  $T$ ;
- flow rate (volume),  $q_V$ ;
- pressure,  $p$ ;
- composition,  $x$ .

The electrical interface parameters are:

- cell/stack current (common synonym is stack load),  $I$ ;
- cell/stack assembly unit voltage,  $V_{\text{cell/stack}}$ ;
- voltage of the individual cells,  $V_{\text{cell},i}$ .

The heat interface parameters are:

- heat transfer fluid inlet temperature,  $T_{\text{TR,in}}$ ;
- heat transfer fluid outlet temperature,  $T_{\text{TR,out}}$ ;
- cell or stack internal temperature  $T_{\text{cell}}$  or  $T_{\text{stack}}$ .

The mechanical interface parameter is:

- cell or stack compression force,  $F_{\text{compr}}$ .

Ideally, the position for the setting/monitoring of the input/output parameter measurement device (sensor) is as close as possible to the boundary between the test object and the experimental set-up or where possible, within the boundary of the test object.

## 5.6 Measurement methods of TIPs and TOPs and control accuracy

The process of determining the precision, accuracy and uncertainty of TIPs and TOPs measurement is an extensive process beyond the scope of this document. Details can be found in the ISO/IEC Guide 98 series on the expression of uncertainty in measurement (GUM).

- Precision is the closeness of agreement between independent measurements of a quantity under the same conditions. It is a measure of how well a measurement can be made without reference to a theoretical or true value and depends only on the distribution of random errors.
- Accuracy is the closeness of agreement between a measured value and the true value. Error is the difference between a measurement and the true value of the quantity being measured.
- Uncertainty is the component of a reported value that characterizes the range of values within which the true value is asserted to lie. An uncertainty estimate shall address error from all possible effects (both systematic and random) and, therefore, usually is the most appropriate means of expressing the accuracy of results.

Based on the aforementioned definitions, it is clear that the most appropriate means of expressing the values of TOPs is the uncertainty of the measured values, while for the TIPs, the control accuracy (which is usually instrument specific) shall be reported.

## 6 Measurement instruments and measurement methods

### 6.1 Instrument uncertainty

The measuring parameters listed in Table 2 shall be recorded and stored with a sampling rate fast enough to ensure that all relevant changes in the parameters are recorded for later data analysis. The sampling rate frequency is recommended to be 1 Hz or higher.

The expanded uncertainty of each measuring instrument (coverage factor  $k = 2$ , see ISO/IEC Guide 98-3) at the time of calibration or that estimated from the class of instrument shall meet as a minimum the requirements indicated in Table 2.

**Table 2 – Instrument uncertainty for each quantity to be measured**

| Symbol                                                                                                                                                               | Quantity              | Instrument uncertainty                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I$                                                                                                                                                                  | Current               | $\pm 1$ % relative to rated                                                                            |
| $V$                                                                                                                                                                  | Voltage               | $\pm 0,5$ % relative to OCV (for fuel cell mode) or maximum cell/stack voltage (for electrolysis mode) |
| $T$                                                                                                                                                                  | Temperature           | $\pm 1$ K                                                                                              |
| $q_{V,neg,pos,in/out}$                                                                                                                                               | Volumetric flow rate  | $\pm 2$ % of rated                                                                                     |
| $x_i$                                                                                                                                                                | Molar fraction        | $\pm 2$ mol %                                                                                          |
| $x_{O_2}$                                                                                                                                                            | Oxygen molar fraction | $\pm 0,3$ mol % relative to $O_2$ concentration (balance in $N_2$ )                                    |
| $p_{neg,pos,in/out}$                                                                                                                                                 | Pressure              | $\pm 2$ % of maximum expected value                                                                    |
| NOTE The uncertainties for current and voltage refer to their respective DC parts and do not provide suitable values for these quantities in impedance measurements. |                       |                                                                                                        |

Each measuring instrument shall be checked for its last calibration, the uncertainty under the calibration conditions, or estimated from the class of the instrument, and its dependency on the environmental conditions in order to estimate the uncertainty of the instrument. The method and cycle of calibration and replacement shall be designed to ensure that there is no increase in measurement uncertainty.

## **6.2 Recommended measurement instruments and methods**

### **6.2.1 General**

Measuring instruments shall be selected in accordance with the range of values to be measured. All measuring devices shall be calibrated according to the manufacturer's instructions or relevant national or international standards.

### **6.2.2 Voltage**

A voltage meter shall be connected to the positive and negative flow plates or current collectors, minimizing the influence of electric contact resistances. The electric contact resistances between the connections of the voltage meter, either positive and negative flow plates or output terminals of positive and negative current collectors shall be measured and recorded, when not negligible.

The voltage may also be measured using the features of a potentiostatic/galvanostatic power supply (for electrolysis mode) or an electronic load (for fuel cell mode).

### **6.2.3 Current**

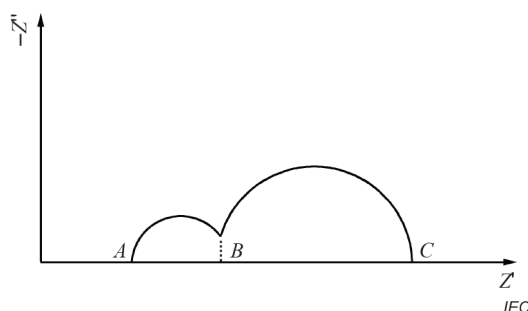
A current measuring device shall be located in the current-carrying circuit of the cell. The current-measuring device may consist of a low-impedance amperemeter or a calibrated shunt resistor, which develops a precisely known voltage in proportion to the current flowing.

The current may also be measured using the features of a potentiostatic/galvanostatic power supply (for electrolysis mode) or an electronic load (for fuel cell mode).

### **6.2.4 Internal resistance (IR)**

The recommended IR measuring methods are the current interruption method and the electrochemical impedance spectroscopy (EIS) method.

Figure 4 shows a schematic diagram of PEM cell impedance (conjugate imaginary part of impedance versus real part of impedance). The intercept of the measured PEM cell impedance with the real impedance axis, generally included between 1 kHz and 20 kHz, identifies point *A*. The impedance measured or interpolated at point *A* represents the IR, consisting in a purely resistive impedance.



#### Key

A: high-frequency end impedance

C: low-frequency end impedance

A-B: high-frequency arc impedance

B-C: low-frequency arc impedance

$Z'$ : real part of impedance

$Z''$ : imaginary part of impedance

**Figure 4 – Schematic diagram of PEM cell impedance**

In determining IR, care shall be taken in the selection of an appropriate frequency to ensure the impedance contains no imaginary component.

Care shall be taken when using an external AC signal in parallel with the load in order to avoid interference.

Plus/minus sense leads of these measuring instruments shall be connected to the output terminals of the positive and negative current collectors, respectively.

Typical instrumentation for IR measurement is a combination of a potentiostat/galvanostat and a frequency analyzer.

#### 6.2.5 Electrode gas flow rates

Electrode gas flow rates shall be measured by means of a volumetric meter, a mass flow meter, or a turbine-type flow meter. If such a method is not practical, flow measurement by a nozzle, orifices or a Venturi meter is recommended. In fuel cell mode, the location of the flow meter shall be upstream of the humidifier of the supplied gases. In electrolysis mode, the location of flow meter shall be downstream of the dehumidifier of the product gases.

If the flow meter requires pressure compensation, a static pressure measuring port shall be located immediately upstream of the flow meter to be corrected.

If the flow meter requires temperature compensation, the sensor for such correction shall be located immediately upstream of the flow meter.

#### 6.2.6 Electrode gas temperature

The recommended sensor for direct temperature measurement is a thermocouple, a resistance thermometer with a transducer or a thermistor.

The temperature sensor shall be located immediately downstream of the cell/stack assembly unit. It is recommended to position another sensor immediately upstream of the cell/stack assembly unit.

### 6.2.7 Cell/stack temperature

The recommended sensor for direct temperature measurement is a thermocouple, a resistance thermometer with a transducer or a thermistor.

For measuring the cell temperature, a temperature sensor shall be placed as close as possible to the centre of the electrodes active area. Ideally, it shall be at the centre of both positive and negative flow plates (see 5.5 and Annex A for more details).

For measuring the stack temperature, temperature sensors may be placed at the electrode outlets and/or the coolant medium outlet as appropriate.

### 6.2.8 Electrode gas pressures

For measuring electrode gas pressures, calibrated pressure transducers are the preferred method. Other acceptable methods include calibrated manometers, dead-weight gauges, Bourdon tubes or other elastic-type gauges.

Static pressure-measuring ports shall be located immediately upstream or immediately downstream of the cell/stack assembly unit. Electrode gas pressures may be controlled either upstream of the cell (inlet pressure mode) or downstream of the cell (back pressure mode).

Connecting piping shall be checked to verify that it is leak-free under working conditions in advance of the performance tests. Liquid water in the piping shall be avoided.

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

Pressures shall be measured as static pressures with the effect of velocity considered and eliminated.

### 6.2.9 Electrode gas humidity

To measure electrode gas humidity, a chilled mirror, aluminum oxide, bulk polymer resistive or capacitance-type hygrometer can be used to obtain humidity values, depending on the fuel and oxidant temperatures.

Humidity shall be expressed as a dew-point temperature or as relative humidity in percent calculated at the fuel cell's temperature.

A humidity measuring port shall be located upstream of the cell/stack assembly unit, or the humidity sensor can be in the reactant gas before testing commences. In the case of using ambient or synthetic air as oxidant, the dew point shall be measured and recorded.

### 6.2.10 Ambient conditions

It is recommended that the ambient temperature, pressure and humidity be measured and recorded.

For the direct measurement of ambient temperature, thermocouples with a transducer or a resistance thermometer with a transducer is recommended.

For the direct measurement of ambient pressure, a mercury-free barometer is recommended.

For direct measurement of ambient humidity, a hygrometer is recommended.

### 6.3 Reference test conditions and manufacturer recommendations

#### 6.3.1 Start-up and shut-down conditions

The start-up conditions and the shut-down conditions shall be based on those recommended by the manufacturer or the results of preliminary tests.

#### 6.3.2 Range of test conditions

The reference test conditions and the typical test range that are recommended by the cell/stack assembly unit manufacturer shall be reviewed for the following parameters in order to determine the test conditions and range:

- a) cell/stack assembly unit temperature;
- b) allowable cell/stack assembly unit temperature distribution (for multiple measuring points);
- c) negative electrode fluid flow rate;
- d) negative electrode fluid composition;
- e) negative electrode fluid pressure;
- f) positive electrode fluid flow rate;
- g) positive electrode fluid composition;
- h) positive electrode fluid pressure;
- i) fuel utilization at the negative electrode (fuel cell mode);
- j) oxidant utilization (fuel cell mode);
- k) current or current density;
- l) minimum cell/stack assembly unit voltage (fuel cell mode);
- m) maximum cell/stack assembly unit current (under a given hydrogen utilization in fuel cell mode); damage due to excessive degradation is possible beyond this value; and
- n) mechanical load.

#### 6.3.3 Stabilization, initialization conditions and stable state

After start-up, the manufacturer may recommend a period of stabilization, or initialization before the cell/stack assembly unit is ready for characterization. Alternatively, this can be based on preliminary tests, to ensure that the drift of the output concerned at the time of measurement – due to on-going stabilization or initialization of the cell/stack assembly unit – is insignificant.

Once the cell/stack assembly unit is initialized, the tolerance level as a variation of the output current or output voltage of the cell/stack assembly unit shall be determined, and the resulting acceptance criteria for stable state shall be defined.

### 6.4 Data acquisition method

Preliminary tests shall be conducted while taking into consideration the variation of each test parameter and the sampling rate of each measuring instrument, to determine the sampling interval and the number of samplings and measurements. The sampling interval (e.g. 1 s) shall be short enough to observe the variation for a single measurement parameter with sufficient time resolution. The number of samplings and repetitions for a single measurement shall be decided so that the total measurement period becomes sufficiently longer than the dominant variation cycle of each test parameter.

## 7 Test procedures and computation of results

### 7.1 General

Owing to the intrinsic functionality of a PEM cell/stack assembly unit, the following test procedures may address different operation modes: fuel cell mode (PEMFC), electrolysis mode (PEMWE) and combined or reversible mode (Re-PEM). Each of these cases will investigate performance and durability, and can be tailored to fit a specific test objective, reflecting, for example, a typical application, such as peak power shaving. In the frame of this document, the objective is to align the following test procedures as much as possible with the requirements of systems for power storage and buffering (see IEC 62282-8-201). Test procedures already described in IEC TS 62282-7-1 and that are directly applicable to PEM cell/stack assembly units operated in reversible mode are not repeated in this document.

### 7.2 Current-voltage ( $I$ - $V$ ) characteristics test

#### 7.2.1 Objective

The objective of this test is to characterize the response of a PEM cell/stack assembly unit while operating at different current densities either in fuel cell mode or in electrolysis mode. The test aims to measure the voltage of the PEM cell/stack assembly unit as a function of the current density (current-voltage characteristics or  $I$ - $V$  curve). From the  $I$ - $V$  curve resulting from this test, the area-specific resistance (ASR) can be computed.

#### 7.2.2 Test method

The main action of the test is to determine the cell/stack assembly unit voltage at specified settings of current. The duration of the test depends on the measurement method (number of steps, current increasing/decrease rate) and whether a specified current or voltage is obtained. The unit shall be operated until the stable state is reached under open-circuit conditions (fuel cell mode), after which the current-voltage characteristics can be measured.

The test shall be carried out by changing the current stepwise, and recording the cell/stack assembly unit voltage. Measurements shall be taken when the cell/stack assembly unit reaches the stable state in each step, and at each step measurements are taken at the sampling intervals.

Alternatively, the voltage can be controlled and the current recorded. In both cases, instead of stepwise measurement, a sweep of the controlling parameter can be carried out at a constant speed. When a sweep is used, the sweep speed shall be determined such that the maximum width of the recorded parameter's hysteresis does not exceed the voltage variation in the stable state.

#### 7.2.3 Data post-processing

The raw data post processing consists in calculating the average of the response values from all data sampled during acquisition time of each step ( $t_{acq}$ ). Furthermore, the following results shall be computed and presented.

The electric power  $P_{el}$  and/or the power density  $P_d$  shall be calculated as output of this test, in accordance with Annex B.

The calculation for fuel utilization shall be performed in accordance with IEC 62282-7-1.

The results shall be plotted as PEM cell voltage, power density and PEM cell temperature(s) versus current density. In addition, fuel utilization (fuel cell mode) and/or hydrogen evolution (electrolysis mode), and/or oxidant utilization (fuel cell mode), and/or oxygen evolution (electrolysis mode) may be plotted. In general, the reported plots shall be representative of the targeted application/test objective.

All relevant test input parameters (TIPs), test output parameters (TOPs) and derived quantities for this test are provided in Clause A.3.

### 7.3 Steady-state test

#### 7.3.1 Objective

The objective of this test is to verify the output from the cell under constant-current conditions with all test input parameters set to their specified values. This test can also be carried out under constant-voltage conditions.

#### 7.3.2 Test methods

There are two similar methods to perform this test.

##### a) Constant current method

Set the current at a level corresponding to the rated current density and maintain it until it has reached a stable state as defined by the manufacturer or until the cell/stack voltage is stabilized within  $\pm 5$  mV. Subsequently carry out the test for a specified duration based on the objective of the test.

Record the cell/stack voltage.

##### b) Constant voltage method

Set the cell/stack voltage corresponding to the desired value and maintain it until it has reached a stable state as defined by the manufacturer or until the cell/stack current is stabilized within  $\pm 2$  %. Subsequently carry out the test for a specified duration based on the objective of the test.

Record the cell/stack current.

#### 7.3.3 Data post-processing

The electric power output (fuel cell mode)/input (electrolysis mode) under the standard test conditions ( $P_{e1}$ ) is calculated from the test results, in accordance with Annex B.

All relevant test input parameters (TIPs), test output parameters (TOPs) and derived quantities for this test are provided in Clause A.4.

### 7.4 Durability test

#### 7.4.1 Objective

The objective of this test is to characterize the response of a PEM cell/stack assembly unit under constant conditions [constant current or reactant utilization (hydrogen or oxygen) in fuel cell mode and water in electrolysis mode]. The test aims to measure the long-term endurance of the cell/stack assembly unit at a given operating condition. From the voltage profile over time resulting from this test, the degradation rate can be computed.

#### 7.4.2 Test method

The main action of the test is to determine the cell/stack assembly unit voltage at specified conditions (current or reactant utilization). The test shall be carried out by operating the cell/stack assembly unit at the specified settings of conditions either for a specified duration or until a specified voltage is obtained.

#### 7.4.3 Data post-processing

A graph presenting the evolution of the cell/stack assembly voltages ( $V_{\text{cell/stack}}$ ,  $V_{\text{cell},i}$ ) as a function of time shall be reported. It is recommended to also provide a graph with the time-evolution of the unit temperatures ( $T_{\text{cell}}$  or  $T_{\text{stack}}$ ).

For a long-term endurance test, the degradation rate is reported as the change in area-specific resistance ( $\Delta R_{as}$ ), power density ( $\Delta P_d$ ) and voltage ( $\Delta V_{cell/stack}$ ) over a given time ( $t_1 - t_0$ ) which shall be reported. For instance, the first hundred hours are generally disregarded because the cell/stack assembly unit follows a kind of transient operation and the degradation rate can be very high in this period. These degradation rates are expressed in  $m\Omega \cdot cm^2$ ,  $mW/cm^2$  and  $mV/kh$  ( $\mu V/h$ ) respectively. They can additionally be expressed in per cent of the initial value for each of those parameters. It is necessary to provide at least those three mutually dependent representations of degradation in order to give a comprehensive representation of the cell/stack assembly unit durability.

All relevant test input parameters (TIPs), test output parameters (TOPs) and derived quantities for this test are provided in Clause A.5.

## 7.5 Internal resistance (IR) measurement

### 7.5.1 Objective

The objective of this test is to determine the internal resistance,  $R_{int}$ , of the PEM cell/stack assembly unit at different current densities in order to facilitate IR correction of potential measurements. If internal resistance measurements are conducted in parallel with polarization curve measurements, the measuring technique shall not disturb significantly the PEM cell/stack assembly unit operation. If the measurement disturbs significantly the PEM cell/stack assembly unit operation, record the voltage and current density values, then perform the internal resistance measurement. It shall be ensured that at each current density, constant reactant utilization (hydrogen or oxygen in fuel cell mode and water in electrolysis mode) is maintained.

### 7.5.2 Test methods

#### 7.5.2.1 Single-frequency AC resistance measurement

Set the current density and the reactant utilization to their specified values and allow the potential to reach a stable value (minimum requirement  $\pm 5$  mV for 5 min).

Connect an alternating current resistance meter to the PEM cell/stack assembly unit and measure the internal resistance  $R_{int}$ .

The current density and the AC frequency of the measurement shall be recorded.

#### 7.5.2.2 Current interruption method

The principle of this technique is that the instantaneous change in cell voltage when the current is switched off,  $\Delta V_{CI}$ , is a measure of the internal resistance of the cell.

Set the current to the specified value and allow the potential to reach a stable value (minimum requirement  $\pm 5$  mV for 5 min).

Switch the cell current to zero and monitor the evolution of the PEM cell/stack assembly unit voltage over time using an oscilloscope or similar measuring instrument having a suitably high data acquisition rate (10 MHz or better), sufficient data storage capacity and high impedance (in excess of the PEM cell/stack assembly unit).

The value of the current before the interruption and the voltage before and after the interruption shall be recorded.

The internal resistance is calculated from the following equation.

$$R_{\text{int}} = \frac{\Delta V_{\text{Cl}}}{I} \quad (1)$$

where

$R_{\text{int}}$  is the internal resistance ( $\Omega$ );

$\Delta V_{\text{Cl}}$  is the difference in voltage before and after current interruption (V);

$I$  is the stack/cell current before current interruption (A).

### 7.5.3 Data post processing

The area-specific resistance (ASR), expressed in  $\Omega \cdot \text{cm}^2$ , shall be calculated from the following equation:

$$R_{\text{as}} = R_{\text{int}} \cdot A_{\text{active}} \quad (2)$$

where

$R_{\text{as}}$  is the area-specific resistance ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ );

$R_{\text{int}}$  is the internal resistance ( $\Omega$ );

$A_{\text{active}}$  is the active electrode area ( $\text{cm}^2$ ).

## 7.6 Current cycling durability test

### 7.6.1 Objective

The objective of this test is to evaluate the capability of a PEM cell/stack assembly unit to modulate its power according to application specific load profiles, that can cover either fuel cell or electrolysis operation or both. This test can correspond for example to load profiles required for peak shaving associated to fluctuating renewable electricity generation (electrolysis mode). For fuel cell mode this test may correspond to applications with fluctuating power demands. The test aims to measure the response of the cell/stack assembly unit under quasi-dynamic operation.

### 7.6.2 Test method

The main action of the test is to record the evolution of the cell/stack assembly unit voltage at various current load levels, that can cover both the fuel cell operation (current generated from hydrogen and oxygen) and the electrolysis operation (current converted to hydrogen and oxygen). A load cycle can comprise several plateaus at different current values and can be repeated a number of times.

For the test, realistic current loads, plateau durations and ramp rates for switching from one current to the other shall be defined, though taking into account manufacturer recommendations.

It shall be ensured that at each current load level, either reactant utilization or substance flow rates (hydrogen or oxygen in fuel cell mode and water in electrolysis mode) are kept constant.

### 7.6.3 Data post-processing

A graph presenting the evolution of the cell/stack assembly voltages ( $V_{\text{cell/stack}}$ ,  $V_{\text{cell},i}$ ) as a function of time and the applied current load shall be reported. It is recommended to also provide a graph with the time-evolution of the PEM cell/stack assembly unit temperatures ( $T_{\text{cell}}$  or  $T_{\text{stack}}$ ).

All relevant test input parameters (TIPs), test output parameters (TOPs) and derived quantities for this test are provided in Clause A.6

## 7.7 Pressurized test

### 7.7.1 Objective

The objective of this test is to evaluate the capability of a PEM cell/stack assembly unit to operate in pressurized conditions, either in electrolysis mode, or in fuel cell mode, or both. The test aims to measure the response of the cell/stack assembly unit under pressurized operation, i.e. under varying pressure from atmospheric pressure up to a specified value. Test methods such as current-voltage characteristics tests (7.2) and steady-state tests (7.3) apply to this test.

### 7.7.2 Test method

The main action of this test is to pressurize the PEM cell/stack assembly unit for subsequent evaluation of its properties in electrolysis mode, in fuel cell mode or both, according to procedures such as those defined in 7.2 and 7.3. In most cases, the pressure is controlled by flow section variation using pressure valves.

If pressurized testing starts in electrolysis mode, pressurization of the PEM cell/stack assembly unit is performed at the specified current, with specified negative electrode fluid in the H<sub>2</sub> compartment and with N<sub>2</sub> or specified positive electrode fluid in the O<sub>2</sub> compartment. If pressurized testing starts in fuel-cell mode, pressurization of the PEM cell/stack assembly unit is performed at zero current, with specified negative electrode gas in the H<sub>2</sub> compartment and with specified positive electrode gas in the O<sub>2</sub> compartment.

The pressure difference between the positive electrode and negative electrode compartments shall be kept in a range specified by the stack manufacturer to protect the sealing and the MEA.

### 7.7.3 Data post-processing

A graph presenting the PEM's cell voltage, power density and PEM cell temperature versus current density for the various pressures tested shall be reported if current-voltage characteristics tests are carried out.

A graph presenting the evolution of the PEM cell/stack assembly voltages ( $V_{\text{cell/stack}}$ ,  $V_{\text{cell},i}$ ) as a function of time and the applied current load for the various pressures tested shall be reported if the constant load durability test is carried out (7.6). It is recommended to also provide a graph with the time-evolution of the PEM cell/stack assembly unit temperatures ( $T_{\text{cell}}$  or  $T_{\text{stack}}$ ).

All relevant test input parameters (TIPs), test output parameters (TOPs) and derived quantities for this test are provided in Clause A.7.

## 8 Test report

### 8.1 General

Test reports shall accurately, clearly and objectively present sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have or have not been attained.

### 8.2 Report items

The report shall present the following information:

- a) title of the report;

- b) author(s) of the report;
- c) date of the report;
- d) test report reference/identification number;
- e) location and (start) date/time of the test;
- f) test bench used;
- g) test unit data (see 8.3 for details);
- h) test conditions (see 8.4 for details);
- i) test data (see 8.5 for details).

### **8.3 Test unit data description**

Test unit data shall include the following information:

- a) product name and brand name of the unit;
- b) active electrode area;
- c) number of cells (total, series, parallel);
- d) cell materials and thicknesses, if known, and cell identification number(s);
- e) stacking materials, if known;
- f) geometry of the unit;
- g) temperature measurement and load application positions.

### **8.4 Test condition description**

The test condition description shall include the following information:

- a) name of person(s) conducting the test;
- b) instruments and, calibration record;
- c) test procedure;
- d) cell/stack assembly unit history (e.g. operating time in hours and number of cycles carried out) at the time of test;
- e) criteria of stable state;
- f) data acquisition method;
- g) reactant purity and impurities;
- h) test bench layout.

### **8.5 Test data description**

Test data shall include the following information:

- a) title of the test(s);
- b) test operating conditions;
- c) test results;
- d) ambient conditions;
- e) uncertainty evaluation (see 8.6 for details).

### **8.6 Uncertainty evaluation**

Uncertainties of instruments shall be reported. If necessary, variation of measurements and/or measurement uncertainties calculated from the variation of measurements and uncertainties of instruments shall be reported.

## **Annex A** (normative)

### **Test procedure guidelines**

#### **A.1 Test objective**

The determination of the objective of a test is the initial part of planning the procedure for testing a PEM cell/stack assembly unit. The objectives could be:

- evaluation of the performance;
- stability over time at given (constant) conditions.

With the objective of the test in mind, the test can be planned by first choosing the relevant scope, the relevant test operating conditions (depending on type of application), operation mode, and whether cell or stack testing is most suitable.

#### **A.2 Test set-up**

The test set-up procedure shall be as follows:

- a) Check control and measurement equipment for possible leakage. There are many methods for leak-checking, such as pressure hold and helium leak detectors. The choice of method will depend on the equipment in use. The proper operation of the test equipment shall be verified by comparing its performance with the parameters specified in 6.1 (instrument uncertainty).
- b) Prepare a cell/stack assembly unit consisting of cell(s), a gas passage, interconnectors, current collectors, insulation, and other components in accordance with the assembly method and procedure recommended by the manufacturer. Before connecting the cell/stack to the test bench, measure the resistance between the positive and negative current lead points to determine whether there is a short circuit. Measure the resistance between the cell voltage sense lead points to determine if they are electrically insulated. Measure the cell-to-cell resistances. These values shall not indicate a short circuit, but, rather, shall be similar to those specified by the manufacturer.
- c) Set up the cell/stack assembly unit in a test bench and install the wiring for the voltage measurement line, the current drawing, and thermocouples as well as the piping for the fluid supply and exhaust, and then connect them with their corresponding subsystems.
- d) Connect all fluid pipes to the cell/stack unit and check for leakage.
- e) If needed, verify the insulation to the earth of wiring and others. It is recommended to check the insulation before the output control equipment or measurement equipment is connected. In addition, proper wiring shall be verified at joint connections.
- f) When the above are all completed, the measurement equipment is checked for its proper operation.

#### **A.3 Current-voltage characteristics test (7.2)**

##### **A.3.1 Test input parameters (TIPs)**

For this test procedure, there are two types of test input parameters (TIPs or test conditions): variable and static. The variable and static test inputs applied during the test are given in Table A.1. Depending on the test's objective, the current set point profile (number of steps, levels and rate of change) is to be specified.

**Table A.1 – Test input parameters (TIPs) for current-voltage characteristics test**

| Static TIPs                                                                                                                                                                                               |                  | Variable TIPs                                          |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------|-------------|
| Quantity                                                                                                                                                                                                  | Symbol           | Quantity                                               | Symbol      |
| Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,neg,in}$   | Cell/stack current (in case of galvanostatic control)  | $I$         |
| Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,pos,in}$   | Dwell time at a given operating point                  | $t_{dwell}$ |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at negative electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,neg,in}$ | Equilibration time at a given operating point          | $t_{eq}$    |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at positive electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,pos,in}$ | Acquisition time at a given operating point            | $t_{acq}$   |
| Molar fraction of component $i$ in the negative electrode gas stream at cell/stack                                                                                                                        | $x_{i,neg,in}$   | Cell/stack voltage (in case of potentiostatic control) | $V$         |
| Molar fraction of component $i$ in the positive electrode gas stream at cell/stack                                                                                                                        | $x_{i,pos,in}$   |                                                        |             |
| Inlet temperature of negative electrode fluid                                                                                                                                                             | $T_{neg,in}$     |                                                        |             |
| Inlet temperature of positive electrode fluid                                                                                                                                                             | $T_{pos,in}$     |                                                        |             |
| Fluid pressure at negative electrode inlet <sup>a)</sup>                                                                                                                                                  | $p_{neg,in}$     |                                                        |             |
| Fluid pressure at positive electrode inlet                                                                                                                                                                | $p_{pos,in}$     |                                                        |             |
| <sup>a)</sup> When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP. |                  |                                                        |             |

The  $I$ - $V$  curve is performed under galvanostatic control for given test conditions. The step starts by bringing the TIPs to their specified values followed by a stabilization or equilibration period during which the specified TIP stability criterion (criteria) is (are) to be met.

### A.3.2 Test output parameters (TOPs)

Table A.2 lists the test output parameters (TOPs) that are determined in the application of this test. The most important TOP is the cell/stack voltage. The other TOPs may be measured and recorded as motivated by the test's objective.

**Table A.2 – Test output parameters (TOPs) for current-voltage characteristics test**

| Quantity                                               | Symbol        |
|--------------------------------------------------------|---------------|
| Cell/stack voltage (in case of galvanostatic control)  | $V$           |
| Cell/stack current (in case of potentiostatic control) | $I$           |
| Outlet temperature of negative electrode fluid         | $T_{neg,out}$ |
| Outlet temperature of positive electrode fluid         | $T_{pos,out}$ |
| End plate temperature of the stack                     | $T_{EP}$      |

### A.3.3 Derived quantities

Table A.3 below lists the relevant quantities that can be derived or calculated from the test input parameters and/or test output parameters.

**Table A.3 – Derived quantities for current-voltage characteristics test**

| Quantity                                | Symbol           | Formula                                                                                                                            |
|-----------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Current density                         | $J$              | $\frac{I}{A_{\text{active}}}$                                                                                                      |
| Electric power                          | $P_{\text{el}}$  | $V \times I$                                                                                                                       |
| Power density                           | $P_{\text{d}}$   | $V \times J$                                                                                                                       |
| Area-specific resistance                | $R_{\text{as}}$  | $\frac{\Delta V(J)}{\Delta J}$                                                                                                     |
| Positive electrode reactant utilization | $U_{\text{pos}}$ | $\frac{R_{\text{g}} \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{pos}} \times q_{V,\text{pos},\text{in}})}$ |
| Negative electrode reactant utilization | $U_{\text{neg}}$ | $\frac{R_{\text{g}} \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{neg}} \times q_{V,\text{neg},\text{in}})}$ |

The PEM cell voltage is measured as described either upon TIP stability or when the cell/stack temperature is within a specified limit. During the test, all TIPs and TOPs shall be measured and recorded as described.

## A.4 Steady-state test (7.3)

### A.4.1 Test input parameters (TIPs)

For this test procedure, there are two types of test input parameters (TIPs or test conditions): variable and static. The variable and static test inputs applied during the test are given in Table A.4.

**Table A.4 – Test input parameters (TIPs) for steady state test**

| Static TIPs                                                                              |                                | Variable TIPs                                 |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------|
| Quantity                                                                                 | Symbol                         | Quantity                                      | Symbol             |
| Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet                             | $q_{V,\text{neg},\text{in}}$   | Cell/stack current                            | $I$                |
| Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet                             | $q_{V,\text{pos},\text{in}}$   | Dwell time at a given operating point         | $t_{\text{dwell}}$ |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at negative electrode inlet                  | $q_{V,i,\text{neg},\text{in}}$ | Equilibration time at a given operating point | $t_{\text{eq}}$    |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at positive electrode inlet                  | $q_{V,i,\text{pos},\text{in}}$ | Acquisition time at a given operating point   | $t_{\text{acq}}$   |
| Molar fraction of component $i$ in the negative electrode gas stream inlet at cell/stack | $x_{i,\text{neg},\text{in}}$   |                                               |                    |
| Molar fraction of component $i$ in the positive electrode gas stream inlet at cell/stack | $x_{i,\text{pos},\text{in}}$   |                                               |                    |
| Inlet temperature of negative electrode fluid                                            | $T_{\text{neg},\text{in}}$     |                                               |                    |
| Inlet temperature of positive electrode fluid                                            | $T_{\text{pos},\text{in}}$     |                                               |                    |
| Fluid pressure at negative electrode inlet <sup>a)</sup>                                 | $p_{\text{neg},\text{in}}$     |                                               |                    |
| Fluid pressure at positive electrode inlet                                               | $p_{\text{pos},\text{in}}$     |                                               |                    |

- a) When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP.

The  $I$ - $V$  curve is performed under galvanostatic control for given test conditions. The step starts by bringing the TIPs to their specified values followed by a stabilization or equilibration period during which the specified TIP stability criterion (criteria) is (are) to be met.

#### A.4.2 Test output parameters (TOPs)

Table A.5 lists the test output parameters (TOPs) that are determined in the application of this test. The most important TOP is the cell/stack voltage. The other TOPs may be measured and recorded as motivated by the test's objective.

**Table A.5 – Test output parameters (TOPs) for steady state test**

| Quantity                                                      | Symbol                            |
|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Cell/stack voltage (in case of galvanostatic control)         | $V$                               |
| Cell/stack current (in case of potentiostatic control)        | $I$                               |
| Outlet temperature of negative electrode fluid                | $T_{\text{neg,out}}$              |
| Outlet temperature of positive electrode fluid                | $T_{\text{pos,out}}$              |
| Volumetric flow rate of hydrogen at negative electrode outlet | $q_{V,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ |
| Stack temperature                                             | $T_{\text{stack}}$                |
| Cell temperature                                              | $T_{\text{cell}}$                 |

#### A.4.3 Derived quantities

Table A.6 below lists the relevant quantities that can be derived or calculated from the test input parameters and/or test output parameters.

**Table A.6 – Derived quantities for steady state test**

| Quantity                                                  | Symbol                            | Formula                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Current density                                           | $J$                               | $\frac{I}{A_{\text{active}}}$                                                                                      |
| Electric power                                            | $P_{\text{el}}$                   | $V \times I$                                                                                                       |
| Area-specific resistance                                  | $R_{\text{as}}$                   | $\frac{\Delta V(J)}{\Delta J}$                                                                                     |
| Positive electrode reactant utilization                   | $U_{\text{pos}}$                  | $\frac{R_g \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{pos}} \times q_{V,\text{pos,in}})}$ |
| Negative electrode reactant utilization                   | $U_{\text{neg}}$                  | $\frac{R_g \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{neg}} \times q_{V,\text{neg,in}})}$ |
| Dry hydrogen molar flow rate at negative electrode outlet | $q_{M,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ | $\frac{I}{2F}$                                                                                                     |

The PEM cell voltage is measured as described either upon TIP stability or when the cell/stack temperature is within a specified limit. During the test, all TIPs and TOPs shall be measured and recorded as described.

## A.5 Durability test (7.4)

### A.5.1 Test input parameters (TIPs)

In this test procedure only static test input parameters (TIPs) are specified, see Table A.7.

**Table A.7 – Test input parameters (TIPs) for durability test**

| Static TIPs                                                                                                                                                                                               |                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Quantity                                                                                                                                                                                                  | Symbol                  |
| Cell/stack current (galvanostatic mode)                                                                                                                                                                   | $I$                     |
| Cell/stack voltage (potentiostatic mode)                                                                                                                                                                  | $V$                     |
| Inlet temperature of negative electrode fluid                                                                                                                                                             | $T_{\text{neg,in}}$     |
| Inlet temperature of positive electrode fluid                                                                                                                                                             | $T_{\text{pos,in}}$     |
| Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,\text{neg,in}}$   |
| Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,\text{pos,in}}$   |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at negative electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,\text{neg,in}}$ |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at positive electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,\text{pos,in}}$ |
| Fluid pressure at negative electrode outlet <sup>a)</sup>                                                                                                                                                 | $p_{\text{neg,out}}$    |
| Fluid pressure at positive electrode outlet                                                                                                                                                               | $p_{\text{pos,out}}$    |
| <sup>a)</sup> When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP. |                         |

The target values of the TIPs at which to perform the durability test shall be chosen according to relevant operating conditions, i.e. in relation to relevant initial voltages in galvanostatic mode and currents in potentiostatic mode and gas utilizations at the negative and positive electrodes: fuel utilization at the negative electrode and oxidant utilization or oxygen evolution at the positive electrode. After setting the other TIPs, the absolute current density  $|J|$  in galvanostatic mode, or the voltage in potentiostatic mode, is progressively increased to its targeted value (with a rate  $\Delta J/\Delta t$  to be defined for each application or considering manufacturer recommendations) and then maintained at this value for a certain operating time  $t_{\text{op}}$ .

The constant load durability test is performed either under galvanostatic control or under potentiostatic control for a given operating time. The step starts by bringing the TIPs to their specified values followed by a stabilization or equilibration period during which the specified TIP stability criterion (criteria) is (are) to be met.

### A.5.2 Test output parameters (TOPs)

Table A.8 lists the test output parameters (TOPs) that are determined in the application of this test. The main output parameter of this test is the cell/stack assembly unit voltage response (in galvanostatic mode) or current response (in potentiostatic mode), which, in association with the current density  $J$ , allows the calculation of the PEM cell/stack performance degradation rates on voltage, area-specific resistance (ASR) and power.

**Table A.8 – Test output parameters (TOPs) for durability test**

| Quantity                                          | Symbol                    |
|---------------------------------------------------|---------------------------|
| Cell/stack current (potentiostatic mode)          | $I$                       |
| Cell/stack voltage (galvanostatic mode)           | $V$                       |
| Outlet temperature of negative electrode reactant | $T_{\text{neg,out}}$      |
| Outlet temperature of positive electrode reactant | $T_{\text{pos,out}}$      |
| End-plate temperature                             | $T_{\text{EP}}$           |
| Internal stack temperature                        | $T_{\text{stack,intern}}$ |
| Cell temperature                                  | $T_{\text{cell}}$         |

The PEM cell voltage is measured upon TIP stability. During the test, all TIPs and TOPs shall be measured and recorded as described.

### A.5.3 Derived quantities

Table A.9 below lists the relevant quantities that can be derived or calculated from the test input parameters and/or test output parameters.

**Table A.9 – Derived quantities for constant load durability test**

| Quantity                                | Symbol                | Formula                                                                                                                     |
|-----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Current density                         | $J$                   | $\frac{I}{A_{\text{active}}}$                                                                                               |
| Electric power                          | $P_{\text{el}}$       | $V_{\text{stack}} \times I$                                                                                                 |
| Power density                           | $P_{\text{d}}$        | $V_{\text{stack}} \times J$                                                                                                 |
| Area-specific resistance                | $R_{\text{as}}$       | $\frac{\Delta V(J)}{\Delta J}$                                                                                              |
| Positive electrode reactant utilization | $U_{\text{pos}}$      | $\frac{R_{\text{g}} \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{\text{i,pos}} \times q_{V,\text{pos,in}})}$ |
| Negative electrode reactant utilization | $U_{\text{neg}}$      | $\frac{R_{\text{g}} \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{\text{i,neg}} \times q_{V,\text{neg,in}})}$ |
| Degradation rate <sup>a)</sup>          | $\Delta Y / \Delta t$ | $\Delta Y / \Delta t$                                                                                                       |

<sup>a)</sup> The quantity  $Y$  chosen for calculating the degradation rate can be the cell or stack voltage, the power density or the ASR.

### A.5.4 Measurement of durability

The cell/stack assembly shall be at reference test conditions, in stable state before this test begins. The operating history of the cell/stack assembly at the point of initiation of this test shall be reported when known. At this point the specific TIPs are set and the test can start.

Evolution of the cell/stack voltage  $V_{\text{stack/cell}}$  of the current  $I$  and of the cell/stack temperature  $T_{\text{cell/stack}}$  shall be carefully recorded as a function of time during the entire duration of the test. A cut-off voltage may also be set (considering either fuel cell or electrolysis mode) that induces automatic termination of the test even if the foreseen duration time of operation,  $t_{\text{op}}$ , is not yet achieved. Alternatively, a value of voltage degradation (decrease in fuel cell mode and increase in electrolysis mode) can be defined to stop the test module automatically even if the foreseen operating time  $t_{\text{op}}$  is not achieved yet. Automatic cut-off criteria may also be chosen for the cell/stack temperature  $T_{\text{cell/stack}}$ .

## A.6 Current cycling durability test

### A.6.1 Test input parameters (TIPs)

In this test procedure both static and variable test input parameters (TIPs) are defined, see Table A.10 and Table A.11. Depending on whether the current cycles embrace just one operation mode (either fuel cell or electrolysis) or cross into both modes, the reactant flow rates and compositions are to be considered either static (in the former case) or variable TIPs (in the latter case). In fact, when switching from fuel cell mode to electrolysis mode, a distinct step is required (at OCV) where the changes in reactant compositions and flow rates are applied.

**Table A.10 – Test input parameters (TIPs) for current cycling durability test within a single operating mode (fuel cell or electrolysis)**

| Static TIPs                                                                                                                                                                                               |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Quantity                                                                                                                                                                                                  | Symbol           |
| Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,neg,in}$   |
| Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet                                                                                                                                              | $q_{V,pos,in}$   |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at negative electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,neg,in}$ |
| Volumetric flow rate of fluid component $i$ at positive electrode inlet                                                                                                                                   | $q_{V,i,pos,in}$ |
| Fluid pressure at negative electrode outlet <sup>a)</sup>                                                                                                                                                 | $p_{neg,out}$    |
| Fluid pressure at positive electrode outlet                                                                                                                                                               | $p_{pos,out}$    |
| <sup>a)</sup> When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP. |                  |

**Table A.11 – Test input parameters (TIPs) for current cycling durability test covering both operating modes (fuel cell and electrolysis)**

| Static TIPs                                                                                                                                                                                               |               | Variable TIPs                                                |                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------------------------------------------|---------------------|
| Quantity                                                                                                                                                                                                  | Symbol        | Quantity                                                     | Symbol              |
| Fluid pressure at negative electrode outlet <sup>a)</sup>                                                                                                                                                 | $p_{neg,out}$ | Total volumetric fluid flow rate at negative electrode inlet | $q_{V,pos,in}$      |
| Fluid pressure at positive electrode outlet                                                                                                                                                               | $p_{pos,out}$ | Total volumetric fluid flow rate at positive electrode inlet | $q_{V,i,pos,in}$    |
|                                                                                                                                                                                                           |               | Current ramp rate                                            | $\Delta J/\Delta t$ |
|                                                                                                                                                                                                           |               | Dwell time                                                   | $t_{dwell}$         |
| <sup>a)</sup> When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP. |               |                                                              |                     |

### A.6.2 Test output parameters (TOPs)

Table A.12 lists the test output parameters (TOPs) that are determined in the application of this test. The main output parameter of this test is the cell/stack assembly unit voltage response, but for compound reactants, also the molar outlet composition can be significantly dependant on operating current density, all other parameters being constant. This is particularly important in electrolysis mode.

**Table A.12 – Test output parameters (TOPs) for current cycling durability test**

| Quantity                                       | Symbol                    |
|------------------------------------------------|---------------------------|
| Cell/stack voltage                             | $V$                       |
| Inlet temperature of negative electrode fluid  | $T_{\text{neg,in}}$       |
| Inlet temperature of positive electrode fluid  | $T_{\text{pos,in}}$       |
| Outlet temperature of negative electrode fluid | $T_{\text{neg,out}}$      |
| Outlet temperature of positive electrode fluid | $T_{\text{pos,out}}$      |
| End plate temperature                          | $T_{\text{EP}}$           |
| Internal stack temperature                     | $T_{\text{stack,intern}}$ |
| Cell temperature                               | $T_{\text{cell}}$         |

### A.6.3 Derived quantities

Table A.13 lists the relevant quantities that can be derived or calculated from the test input parameters and/or test output parameters.

**Table A.13 – Derived quantities for current cycling durability test**

| Quantity                                | Symbol           | Formula                                                                                                            |
|-----------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Current density                         | $J$              | $\frac{I}{A_{\text{active}}}$                                                                                      |
| Electric power                          | $P_{\text{el}}$  | $V_{\text{stack}} \times I$                                                                                        |
| Positive electrode reactant utilization | $U_{\text{pos}}$ | $\frac{R_g \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{pos}} \times q_{V,\text{pos,in}})}$ |
| Negative electrode reactant utilization | $U_{\text{neg}}$ | $\frac{R_g \times T_0}{p_0} \times \frac{I}{n \times F \times \sum (x_{i,\text{neg}} \times q_{V,\text{neg,in}})}$ |

### A.6.4 Measurement of current cycling durability

Realistic current profiles have to be defined reflecting combined PEMFC/PEMWE operation, for example, electricity storage (power-to-gas-to-power or reversible operation).

At a relevant temperature, the composition and flow rates of inlet gases for each application, realistic currents  $I$ , plateau durations  $t_{\text{op}}$  and speed rates for switching from one current to the other  $\Delta I/\Delta t$  have to be defined based on the targeted application, while considering manufacturer recommendations. The number of cycles  $N_{\text{cycles}}$  to be tested has to be fixed. Fuel/air utilization should be specified for each tested current. The current  $|I|$  (either provided to or drawn from the cell/stack assembly) should be ramped to its set level in accordance with the chosen rate of current change  $\Delta I/\Delta t$ .

Let operation at the set current level last for  $t_{\text{op}}$ , then vary from the first to the second target current value with the chosen rate of current change  $\Delta I/\Delta t$ . When the first cycle is finished, repeat it  $N_{\text{cycles}} - 1$  times. When cycles last sufficiently long, EIS measurements can usefully be performed and are recommended between each full cycle.

The evolution of the cell/stack voltages  $V_{\text{stack/cell}}$  and of the cell/stack temperatures  $T_{\text{cell/stack}}$  should be carefully recorded as a function of time during the entire duration of the test. A cut-off voltage may also be set (considering either fuel cell or electrolysis mode) that induces automatic termination of the test, even if the foreseen duration  $t_{\text{op}}$  is not yet achieved. Alternatively, a value of voltage degradation (decrease in fuel cell mode and increase in

electrolysis mode) can be defined to stop the test automatically even if the foreseen number of cycles  $N_{\text{cycles}}$  is not yet achieved. Automatic cut-off criteria may also be chosen for  $T_{\text{cell/stack}}$ .

## A.7 Pressurized test

### A.7.1 Test input parameters (TIPs)

In this test procedure both static and variable test input parameters (TIPs) are defined, see Table A.14.

NOTE Only TIPs specific to pressure control are reported here. For the current-voltage characteristics measurements and constant load durability tests that can, in particular, be performed under pressure, please refer to the specific clauses.

**Table A.14 – Test input parameters (TIPs) for pressurized testing**

| Variable TIPs                                                                                                                                                                                             |                      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Quantity                                                                                                                                                                                                  | Symbol               |
| Fluid pressure at positive electrode inlet                                                                                                                                                                | $p_{\text{pos,in}}$  |
| Fluid pressure at negative electrode outlet <sup>a)</sup>                                                                                                                                                 | $p_{\text{neg,out}}$ |
| Fluid pressure at positive electrode outlet                                                                                                                                                               | $p_{\text{pos,out}}$ |
| <sup>a)</sup> When using backpressure control in fuel cell mode, the outlet pressure is regulated in order to have the inlet pressure set. In electrolysis mode, the outlet pressure constitutes the TIP. |                      |

### A.7.2 Test output parameters (TOPs)

Table A.15 lists the test output parameters (TOPs) that are determined in the application of this test.

NOTE Only TOPs specific to pressure control are reported here. For the current-voltage characteristics measurements and constant load durability tests that can, in particular, be performed under pressure, please refer to the specific clauses.

**Table A.15 – Test output parameters (TOPs) for pressurized testing**

| Quantity                              | Symbol             |
|---------------------------------------|--------------------|
| Dwell time at a given operating point | $t_{\text{dwell}}$ |

### A.7.3 Derived quantities

Table A.16 below lists the relevant quantities that can be derived or calculated from the test input parameters and/or test output parameters.

NOTE Only derived quantities specific to pressure control are reported here. For the current-voltage characteristics measurements and constant load durability that can, in particular, be performed under pressure, please refer to the specific clauses.

**Table A.16 – Derived quantities for pressurized test**

| Quantity                                                                                      | Symbol                      | Formula                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------|
| Pressure difference between negative electrode compartment and positive electrode compartment | $\Delta p_{\text{neg-pos}}$ | $p_{\text{neg,in}} - p_{\text{pos,in}}$ |

#### A.7.4 Measurement of pressurized test

The cell/stack assembly should be at reference conditions, in stable state before this test begins, and in particular at a fixed temperature. The operating history of the cell/stack assembly at the point of initiation of this test should be known and noted. At this point, the specific TIPs are set and the test running time can start to be counted.

The test starts at atmospheric pressure with fixed gas compositions and flow rates at the negative and positive electrodes, and at zero current (OCV). It can be done either in electrolysis mode or in fuel cell mode.

A realistic pressure ramp rate ( $\Delta p_{\text{cell,stack}}/\Delta t$ ) is chosen, depending on the installation.

The pressure increase can be done with two main means:

- either an increase of the inlet gas flow rates, which will modify the pressure of the cell/stack thanks to the internal pressure drop of the cell/stack and setup; or
- a modification of the pressure drops at the outlet of the cell/stack, thanks to valves; this second means allows to keep the flow rate, and thus the fuel utilization rate, fixed.

After a modification of the pressure, and before any electrochemical measurement, a dwell time is required for stabilization.

For each pressure step, any of the previous types of measurements, and in particular current-voltage characteristics and constant load durability tests can be performed following methods mentioned in previous clauses.

## **Annex B**

(normative)

### **Formulary**

$$P_{\text{el}} = V_{\text{cell/stack}} \times I \quad (\text{B.1})$$

where

$P_{\text{el}}$  is the electric power (W);  
 $V_{\text{cell/stack}}$  is the voltage of the cell/stack assembly unit (V);  
 $I$  is the current of the stack (A);

$$P_{\text{d}} = V_{\text{cell/stack}} \times J \quad (\text{B.2})$$

where

$P_{\text{d}}$  is the electric power density (W/cm<sup>2</sup>);  
 $V_{\text{cell/stack}}$  is the voltage of the cell/stack assembly unit (V);  
 $J$  is the current density of the stack (A/cm<sup>2</sup>).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-8-102:2019

## Bibliography

IEC 62282-8-101, *Fuel cell technologies – Part 8: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Test procedures for solid oxide single cell and stack performance including reversible operation*

IEC 62282-8-201, *Fuel cell technologies – Part 8-201: Energy storage systems using fuel cell modules in reverse mode – Power-to-power systems – Performance*

ISO/IEC Guide 98-1, *Uncertainty of measurement – Part 1: Introduction to the expression of uncertainty in measurement*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

ISO/IEC Guide 98-3-SP1, *Supplement 1 – Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) – Propagation of distributions using a Monte Carlo method*

ISO/TR 15916:2015, *Basic considerations for the safety of hydrogen systems*

The Fuel Cells Testing and Standardisation Network, *Fuel Cells Glossary*, G. Tsotridis, A. Podias, W. Winkler and M. Scagliotti, eds., EUR22295EN, June 2006

T David Griffith, Chapter 4 In *Basic Principles and Calculations in Process Technology*, Prentice Hall, New York, Boston, Indianapolis, San Francisco, Toronto, Montreal, London, Munich, Paris, Madrid, Cape Town, Sydney, Tokyo, Singapore, Mexico City (2016), pp 93-122.

Tsotridis G. and Pilenga A., *EU harmonised terminology for low-temperature water electrolysis for energy-storage applications*, EUR 29300 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-90387-8, doi:10.2760/138987, JRC112082

Malkow T., Pilenga A., Tsotridis G., De Marco G., *EU harmonised polarisation curve test method for low-temperature water electrolysis*, EUR 29182 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-81993-3, doi:10.2760/179509, JRC104045

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-8-102:2019

## SOMMAIRE

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                      | 47 |
| INTRODUCTION.....                                                                                       | 49 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                           | 51 |
| 2 Références normatives .....                                                                           | 51 |
| 3 Termes, définitions et symboles .....                                                                 | 51 |
| 3.1 Termes et définitions .....                                                                         | 51 |
| 3.2 Symboles .....                                                                                      | 57 |
| 3.3 Valeurs de température et pression normalisées (TPN) pour la température et la pression du gaz..... | 59 |
| 4 Considérations générales de sécurité .....                                                            | 59 |
| 5 Environnement d'essai .....                                                                           | 60 |
| 5.1 Généralités .....                                                                                   | 60 |
| 5.2 Entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible .....                                          | 60 |
| 5.3 Entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible séparée .....                                  | 61 |
| 5.4 Installation expérimentale .....                                                                    | 61 |
| 5.4.1 Généralités .....                                                                                 | 61 |
| 5.4.2 Équipement de contrôle du débit des fluides .....                                                 | 62 |
| 5.4.3 Équipement de contrôle de la charge/alimentation .....                                            | 62 |
| 5.4.4 Équipement de mesure et d'acquisition de données.....                                             | 62 |
| 5.4.5 Équipement de sécurité .....                                                                      | 63 |
| 5.4.6 Équipement de contrôle de la charge mécanique .....                                               | 63 |
| 5.4.7 Équipement de gestion thermique .....                                                             | 63 |
| 5.4.8 Équipement de contrôle de la pression des gaz .....                                               | 63 |
| 5.4.9 Équipement de contrôle du système d'essai .....                                                   | 63 |
| 5.5 Contrôle des paramètres et mesurage .....                                                           | 63 |
| 5.6 Méthodes de mesure des TIP et TOP et exactitude de réglage .....                                    | 64 |
| 6 Instruments et méthodes de mesure .....                                                               | 64 |
| 6.1 Incertitude des instruments .....                                                                   | 64 |
| 6.2 Instruments et méthodes de mesure recommandés .....                                                 | 65 |
| 6.2.1 Généralités .....                                                                                 | 65 |
| 6.2.2 Tension .....                                                                                     | 65 |
| 6.2.3 Courant .....                                                                                     | 65 |
| 6.2.4 Résistance interne (IR) .....                                                                     | 66 |
| 6.2.5 Débits du gaz d'électrode .....                                                                   | 66 |
| 6.2.6 Température du gaz d'électrode .....                                                              | 67 |
| 6.2.7 Température de la cellule/pile .....                                                              | 67 |
| 6.2.8 Pressions du gaz d'électrode .....                                                                | 67 |
| 6.2.9 Humidité du gaz d'électrode.....                                                                  | 67 |
| 6.2.10 Conditions ambiantes .....                                                                       | 68 |
| 6.3 Conditions d'essai de référence et recommandations du fabricant .....                               | 68 |
| 6.3.1 Conditions de démarrage et d'arrêt.....                                                           | 68 |
| 6.3.2 Plage des conditions d'essai.....                                                                 | 68 |
| 6.3.3 Stabilisation, conditions d'initialisation et état stable.....                                    | 69 |
| 6.4 Méthode d'acquisition de données .....                                                              | 69 |
| 7 Procédures d'essai et calcul des résultats .....                                                      | 69 |
| 7.1 Généralités .....                                                                                   | 69 |

|                      |                                                               |    |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|----|
| 7.2                  | Essai de caractéristiques courant-tension ( $I$ - $V$ ) ..... | 69 |
| 7.2.1                | Objectif .....                                                | 69 |
| 7.2.2                | Méthode d'essai .....                                         | 69 |
| 7.2.3                | Post-traitement des données .....                             | 70 |
| 7.3                  | Essai dans des conditions d'état stable .....                 | 70 |
| 7.3.1                | Objectif .....                                                | 70 |
| 7.3.2                | Méthodes d'essai .....                                        | 70 |
| 7.3.3                | Post-traitement des données .....                             | 71 |
| 7.4                  | Essai de durabilité .....                                     | 71 |
| 7.4.1                | Objectif .....                                                | 71 |
| 7.4.2                | Méthode d'essai .....                                         | 71 |
| 7.4.3                | Post-traitement des données .....                             | 71 |
| 7.5                  | Mesurage de la résistance interne (IR) .....                  | 71 |
| 7.5.1                | Objectif .....                                                | 71 |
| 7.5.2                | Méthodes d'essai .....                                        | 72 |
| 7.5.3                | Post-traitement des données .....                             | 72 |
| 7.6                  | Essai de durabilité à cycle de courant .....                  | 73 |
| 7.6.1                | Objectif .....                                                | 73 |
| 7.6.2                | Méthode d'essai .....                                         | 73 |
| 7.6.3                | Post-traitement des données .....                             | 73 |
| 7.7                  | Essai sous pression .....                                     | 73 |
| 7.7.1                | Objectif .....                                                | 73 |
| 7.7.2                | Méthode d'essai .....                                         | 74 |
| 7.7.3                | Post-traitement des données .....                             | 74 |
| 8                    | Rapport d'essai .....                                         | 74 |
| 8.1                  | Généralités .....                                             | 74 |
| 8.2                  | Éléments contenus dans le rapport .....                       | 74 |
| 8.3                  | Description des données relatives à l'entité d'essai .....    | 75 |
| 8.4                  | Description des conditions d'essai .....                      | 75 |
| 8.5                  | Description des données d'essai .....                         | 75 |
| 8.6                  | Évaluation de l'incertitude .....                             | 75 |
| Annexe A (normative) | Lignes directrices relatives à la procédure d'essai .....     | 76 |
| A.1                  | Objectif d'essai .....                                        | 76 |
| A.2                  | Montage d'essai .....                                         | 76 |
| A.3                  | Essai de caractéristiques courant-tension (7.2) .....         | 77 |
| A.3.1                | Paramètres d'entrée d'essai (TIP) .....                       | 77 |
| A.3.2                | Paramètres de sortie d'essai (TOP) .....                      | 77 |
| A.3.3                | Grandeurs dérivées .....                                      | 78 |
| A.4                  | Essai dans des conditions d'état stable (7.3) .....           | 78 |
| A.4.1                | Paramètres d'entrée d'essai (TIP) .....                       | 78 |
| A.4.2                | Paramètres de sortie d'essai (TOP) .....                      | 79 |
| A.4.3                | Grandeurs dérivées .....                                      | 80 |
| A.5                  | Essai de durabilité (7.4) .....                               | 80 |
| A.5.1                | Paramètres d'entrée d'essai (TIP) .....                       | 80 |
| A.5.2                | Paramètres de sortie d'essai (TOP) .....                      | 81 |
| A.5.3                | Grandeurs dérivées .....                                      | 81 |
| A.5.4                | Mesurage de la durabilité .....                               | 82 |
| A.6                  | Essai de durabilité à cycle de courant .....                  | 82 |
| A.6.1                | Paramètres d'entrée d'essai (TIP) .....                       | 82 |

|                      |                                                                                                                                                                     |    |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| A.6.2                | Paramètres de sortie d'essai (TOP) .....                                                                                                                            | 83 |
| A.6.3                | Grandeurs dérivées .....                                                                                                                                            | 84 |
| A.6.4                | Mesurage de la durabilité à cycle de courant .....                                                                                                                  | 84 |
| A.7                  | Essai sous pression .....                                                                                                                                           | 84 |
| A.7.1                | Paramètres d'entrée d'essai (TIP) .....                                                                                                                             | 84 |
| A.7.2                | Paramètres de sortie d'essai (TOP) .....                                                                                                                            | 85 |
| A.7.3                | Grandeurs dérivées .....                                                                                                                                            | 85 |
| A.7.4                | Mesurage d'un essai sous pression .....                                                                                                                             | 85 |
| Annexe B (normative) | Formulaire .....                                                                                                                                                    | 87 |
| Bibliographie        | .....                                                                                                                                                               | 88 |
| Figure 1             | – Schéma d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible .....                                                                                           | 61 |
| Figure 2             | – Schéma d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible séparée .....                                                                                   | 61 |
| Figure 3             | – Schéma d'un environnement d'essai complet d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM .....                                                                   | 62 |
| Figure 4             | – Schéma de l'impédance des cellules PEM .....                                                                                                                      | 66 |
| Tableau 1            | – Symboles .....                                                                                                                                                    | 57 |
| Tableau 2            | – Incertitude des instruments pour chaque grandeur à mesurer .....                                                                                                  | 65 |
| Tableau A.1          | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai de caractéristiques courant-tension .....                                                                         | 77 |
| Tableau A.2          | – Paramètres de sortie d'essai (TOP) pour un essai de caractéristiques courant-tension .....                                                                        | 78 |
| Tableau A.3          | – Grandeurs dérivées pour un essai de caractéristiques courant-tension .....                                                                                        | 78 |
| Tableau A.4          | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai dans des conditions d'état stable .....                                                                           | 79 |
| Tableau A.5          | – Paramètres de sortie d'essai (TIP) pour un essai dans des conditions d'état stable .....                                                                          | 79 |
| Tableau A.6          | – Grandeurs dérivées pour un essai dans des conditions d'état stable .....                                                                                          | 80 |
| Tableau A.7          | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai de durabilité .....                                                                                               | 80 |
| Tableau A.8          | – Paramètres de sortie d'essai (TOP) pour un essai de durabilité .....                                                                                              | 81 |
| Tableau A.9          | – Grandeurs dérivées pour un essai de durabilité à charge constante .....                                                                                           | 82 |
| Tableau A.10         | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai de durabilité à cycle de courant avec un seul mode de fonctionnement (pile à combustible ou électrolyse) .....    | 83 |
| Tableau A.11         | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai de durabilité à cycle de courant selon les deux modes de fonctionnement (pile à combustible et électrolyse) ..... | 83 |
| Tableau A.12         | – Paramètres de sortie d'essai (TOP) pour un essai de durabilité à cycle de courant .....                                                                           | 83 |
| Tableau A.13         | – Grandeurs dérivées pour un essai de durabilité à cycle de courant .....                                                                                           | 84 |
| Tableau A.14         | – Paramètres d'entrée d'essai (TIP) pour un essai sous pression .....                                                                                               | 85 |
| Tableau A.15         | – Paramètres de sortie d'essai (TOP) pour un essai sous pression .....                                                                                              | 85 |
| Tableau A.16         | – Grandeurs dérivées pour un essai sous pression .....                                                                                                              | 85 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

**Partie 8-102: Systèmes de stockage de l'énergie utilisant des modules à piles à combustible en mode inversé – Procédures d'essai pour la performance des cellules élémentaires et des piles à membrane échangeuse de protons, comprenant le fonctionnement réversible**

## AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62282-8-102 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

| FDIS         | Rapport de vote |
|--------------|-----------------|
| 105/763/FDIS | 105/776/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 internationale.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62282, publiées sous le titre général *Technologies des piles à combustible*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-8-102:2019

## INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 62282 décrit les méthodes d'essai applicables à une cellule élémentaire et une pile (désignées ci-après "cellule/pile") destinée à être utilisée dans des systèmes de stockage de l'énergie qui fonctionnent avec des piles à combustible à membrane échangeuse de protons (PEMFC – *proton exchange membrane fuel cells*) en association avec des électrolyseurs d'eau à membrane échangeuse de protons (PEMWE – *proton exchange membrane water electrolyzers*), ou qui utilisent directement des cellules à membrane échangeuse de protons (Re-PEM).

Le présent document est destiné à être utilisé pour les échanges de données des transactions commerciales entre les fabricants de cellules/piles et les développeurs de systèmes, ou pour l'acquisition de données relatives à une cellule ou une pile permettant d'estimer la performance d'un système qui se fonde sur cette cellule/pile. Les utilisateurs du présent document peuvent choisir les éléments d'essai à exécuter selon leurs objectifs à partir de ceux décrits dans le présent document.

Les PEMFC, PEMWE et Re-PEM se présentent sous une large plage de géométries et de tailles. En général, les périphériques comme les collecteurs de courant et les rampes d'alimentation en gaz sont uniques à chaque cellule ou pile et sont souvent incorporés dans une cellule ou une pile afin de former une entité intégrée. De plus, ils ont tendance à avoir un effet significatif sur les caractéristiques de génération de puissance de la cellule ou de la pile. Le présent document a donc comme sujet les "entités d'assemblage de cellules/piles", qui sont des entités contenant non seulement une cellule ou une pile, mais également des périphériques.

L'IEC 62282-8 (toutes les parties) a pour but le développement des méthodes d'essai de performance pour les systèmes de stockage de l'énergie et les systèmes tampons fondés sur des modules électrochimiques (qui combinent des piles à combustible et à électrolyse, en particulier des piles à combustible réversibles), en tenant compte des options de réélectrification et de production de substance (et de chaleur) pour l'intégration durable des sources d'énergie renouvelables.

L'IEC 62282-8 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Systèmes de stockage de l'énergie utilisant des modules à piles à combustible en mode inversé*:

- IEC 62282-8-101: *Procédures d'essai pour la performance des cellules élémentaires et des piles à oxyde solide, comprenant le fonctionnement réversible*
- IEC 62282-8-102: *Procédures d'essai pour la performance des cellules élémentaires et des piles à membrane échangeuse de protons, comprenant le fonctionnement réversible*
- IEC 62282-8-103 <sup>1</sup>: *Alkaline single cell and stack performance including reversible operation* (disponible en anglais seulement)
- IEC 62282-8-201: *Procédures d'essai pour la performance des systèmes électriques à électriques*
- IEC 62282-8-202<sup>2</sup>: *Power-to-power systems – Safety* (disponible en anglais seulement)
- IEC 62282-8-300 (all parts) <sup>3</sup>: *Power-to-substance systems* (disponible en anglais seulement)

---

<sup>1</sup> À l'étude.

<sup>2</sup> À l'étude.

<sup>3</sup> À l'étude.

L'IEC 62282-8-101, l'IEC 62282-8-102 et l'IEC 62282-8-201, constituant une priorité dictée par les besoins émergents des industries et par les possibilités de développement techniques, ont été initiées conjointement et en premier lieu. Ces parties sont présentées ensemble afin de souligner la nécessité d'une approche intégrée relative à l'application du système (c'est-à-dire une solution pour le stockage de l'énergie) et ses composants fondamentaux (c'est-à-dire les piles à combustible fonctionnant en mode inversé ou par inversion).

L'IEC 62282-8-103, l'IEC 62282-8-202 et l'IEC 62282-8-300 (toutes les parties) sont proposées et laissées comme amorce à une étape ultérieure.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-8-102:2019

## TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

### Partie 8-102: Systèmes de stockage de l'énergie utilisant des modules à piles à combustible en mode inversé – Procédures d'essai pour la performance des cellules élémentaires et des piles à membrane échangeuse de protons, comprenant le fonctionnement réversible

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62282, traite des entités d'assemblage de cellules/piles à membrane échangeuse de protons (PEM – *proton exchange membrane*), des systèmes d'essai, des instruments et méthodes de mesure, ainsi que des méthodes d'essai destinées à vérifier la performance des cellules et piles à membrane échangeuse de protons en mode pile à combustible, électrolyse et/ou réversible.

#### 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-485:—4, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 485: Technologies des piles à combustible*

IEC TS 62282-7-1:2017, *Fuel cell technologies – Part 7-1: Test methods – Single cell performance tests for polymer electrolyte fuel cells (PEFC)* (disponible en anglais seulement)

#### 3 Termes, définitions et symboles

##### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-485, ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

##### 3.1.1

##### **surface d'électrode active**

surface d'électrode géométrique perpendiculaire à la circulation du courant

Note 1 à l'article: Il s'agit habituellement de la plus petite des deux surfaces de l'électrode positive ou négative.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-02-08, modifié – "électrode" ajoutée au terme, le terme "surface efficace" a été supprimé, et les notes à l'article ont été remplacées par une nouvelle note à l'article.]

4 En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC FDIS 60050-485:2019.

### 3.1.2

#### **résistance spécifique à la surface**

##### **ASR**

résistivité interne par rapport à la surface d'électrode active, y compris la variation de potentiel par suite d'une réaction électrochimique

Note 1 à l'article: Le terme abrégé "ASR" est dérivé du terme anglais développé correspondant "area specific resistance".

### 3.1.3

#### **catalyseur**

substance qui accélère (augmente le taux d') une réaction sans être elle-même consommée

Note 1 à l'article: Le catalyseur réduit l'énergie d'activation de la réaction et permet une augmentation du taux de réaction.

### 3.1.4

#### **membrane revêtue d'un catalyseur**

##### **CCM**

<dans une PEMFC (3.1.24)> membrane polymère dont les surfaces sont revêtues d'une couche catalytique (3.1.5) pour former la zone de réaction de l'électrode (3.1.8)

Note 1 à l'article: Voir aussi assemblage membrane-électrode (MEA) (03/01/2017).

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "CCM" est dérivé du terme anglais développé correspondant "catalyst coated membrane".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-04-03]

### 3.1.5

#### **couche catalytique**

région poreuse superficielle adjacente à chaque côté de la membrane contenant le catalyseur (3.1.3), ayant généralement une conductivité ionique et électronique

Note 1 à l'article: La couche catalytique est composée de la région spatiale dans laquelle peuvent se produire les réactions électrochimiques.

### 3.1.6

#### **collecteur de courant**

matériau conducteur dans une cellule élémentaire à combustible (3.1.13) qui collecte les électrons du côté électrode négative (3.1.20) ou qui les conduit vers le côté électrode positive (3.1.25)

### 3.1.7

#### **densité de courant**

courant par surface active de l'entité (IEV 485-02-08)

Note 1 à l'article: La densité de courant s'exprime en A/m<sup>2</sup> ou en A/cm<sup>2</sup>.

### 3.1.8

#### **électrode**

conducteur (ou semi-conducteur) électronique par lequel un courant électrique entre ou sort de la cellule électrochimique par suite d'une réaction électrochimique

Note 1 à l'article: Une électrode peut être soit une électrode positive (3.1.25), soit une électrode négative (3.1.20).

### 3.1.9

#### **électrolyte**

substance liquide ou solide contenant des ions mobiles qui la rendent ioniquement conductrice

Note 1 à l'article: L'électrolyte est la caractéristique distinctive principale des différentes technologies des piles à combustible (par exemple un liquide, un polymère, du sel fondu, un oxyde solide) et elle détermine la plage de températures de fonctionnement utile.

### 3.1.10

#### **plaque d'extrémité**

composant situé aux extrémités de la pile dans la direction du courant, servant à transmettre la compression exigée aux piles à combustible

Note 1 à l'article: La plaque d'extrémité peut comprendre des orifices, des conduites et des collecteurs pour l'alimentation en fluide (réactifs, liquide de refroidissement) de la pile.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-06-06, modifié – Les termes admis ont été supprimés, "pile à combustible" a été remplacé par "pile dans la direction du courant" dans la définition, et la deuxième phrase de la Note 1 à l'article a été supprimée.]

### 3.1.11

#### **plaque d'écoulement**

plaque conductrice d'un point de vue électronique qui comporte des canaux pour l'écoulement de combustible (3.1.12) ou d'un oxydant (3.1.22) en mode pile à combustible, et pour l'écoulement d'eau et de gaz en mode électrolyse et qui comporte un contact électrique avec une électrode (3.1.8)

Note 1 à l'article: Le matériau de plaque conductrice peut être du métal, un matériau tel que du graphite, ou un polymère conducteur qui peut être un composite rempli de carbone.

### 3.1.12

#### **combustible**

hydrogène ou gaz contenant de l'hydrogène qui réagit au niveau de l'électrode négative (3.1.20) en mode pile à combustible (3.1.13)

### 3.1.13

#### **pile à combustible**

dispositif électrochimique qui convertit l'énergie chimique d'un combustible (3.1.12) et d'un oxydant (3.1.22) en énergie électrique (puissance continue), en chaleur et en produits de réaction

Note 1 à l'article: Le combustible et l'oxydant sont généralement stockés en dehors de la pile à combustible et transférés dans celle-ci lorsqu'ils sont consommés.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-01]

### 3.1.14

#### **électrode de diffusion du gaz**

##### **GDE**

type d'électrode spécifiquement conçue pour des réactifs ou produits gazeux ou les deux

Note 1 à l'article: Une électrode de diffusion du gaz comporte généralement une ou plusieurs couches poreuses, comme la couche de diffusion du gaz (3.1.15) et la couche catalytique (3.1.5).

Note 2 à l'article: Les électrodes de diffusion du gaz peuvent être des électrodes négatives et des électrodes positives.

Note 3 à l'article: Le terme abrégé "GDE" est dérivé du terme anglais développé correspondant "gas diffusion electrode".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-02-02, modifié – Le terme abrégé "GDE" a été ajouté, et "anodes" et "cathodes" ont été remplacés par "électrodes négatives" et "électrodes positives" dans la Note 2 à l'article.]

**3.1.15****couche de diffusion du gaz****GDL**

substrat poreux placé entre la couche catalytique (3.1.5) et la plaque d'écoulement (3.1.11) pour assurer le contact électrique et permettre l'accès des réactifs à la couche catalytique et le retrait des produits de réaction

Note 1 à l'article: La couche de diffusion du gaz est un composant d'une électrode de diffusion du gaz (3.1.14).

Note 2 à l'article: La couche de diffusion du gaz est également appelée "couche de transport poreuse" (PTL – porous transport layer).

Note 3 à l'article: Le terme abrégé "GDL" est dérivé du terme anglais développé correspondant "gas diffusion layer".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-04-05, modifié – "Plaque bipolaire" a été remplacé par "plaque d'écoulement" dans la définition, et la Note 2 à l'article a été ajoutée.]

**3.1.16****résistance interne**

résistance ohmique à l'intérieur d'une pile à combustible (3.1.13) mesurée entre les collecteurs de courant (3.1.6), due à des résistances électroniques et ioniques des différents composants (électrodes, électrolyte, plaques d'écoulement et collecteurs de courant)

Note 1 à l'article: Le terme ohmique fait référence au fait que la relation entre la chute de tension et le courant est linéaire et obéit à la loi d'Ohm.

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-15-04]

**3.1.17****assemblage membrane-électrode****MEA**

composant d'une PEMFC (3.1.24) comprenant une membrane d'électrolyte avec des électrodes de diffusion de gaz (3.1.15) de chaque côté ou composant d'un PEMWE (3.1.26) comprenant une membrane d'électrolyte avec des couches catalytiques (3.1.5) de chaque côté.

Note 1 à l'article: Le terme abrégé "MEA" est dérivé du terme anglais développé correspondant "membrane electrode assembly".

[SOURCE: IEC TS 62282-7-1:2017, 3.19, modifié – "ou composant d'un PEMWE...de chaque côté" a été ajouté.]

**3.1.18****tension de pile minimale**

tension de pile à combustible la plus basse admise spécifiée par le fabricant

**3.1.19****tension de pile maximale**

tension d'électrolyseur la plus élevée spécifiée par le fabricant

**3.1.20****électrode négative**

électrode (3.1.8) au niveau de laquelle l'hydrogène gazeux est consommé ou produit

Note 1 à l'article: Elle est aussi appelée électrode à hydrogène. En mode pile à combustible, elle est appelée anode lorsque l'hydrogène est oxydé. En mode électrolyse, elle est appelée cathode lorsque l'eau est réduite, produisant de l'hydrogène.

Note 2 à l'article: En mode pile à combustible, le gaz de l'électrode négative est généralement de l'hydrogène ou un mélange comprenant de l'hydrogène comme composant principal mélangé à de la vapeur d'eau et/ou à un gaz inerte.

**3.1.21****tension en circuit ouvert****OCV**

tension aux bornes d'une pile à combustible (3.1.13) en présence de combustible (3.1.12) et d'un oxydant (3.1.22), et en l'absence de courant extérieur

Note 1 à l'article: La tension en circuit ouvert est exprimée en V.

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "OCV" est dérivé du terme anglais développé correspondant "open circuit voltage".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-13-02, modifié – Le terme "tension à vide" a été supprimé.]

**3.1.22****oxydant**

oxygène ou gaz contenant de l'oxygène (par exemple, l'air) qui réagit au niveau de l'électrode positive (3.1.25) en mode pile à combustible

**3.1.23****électrolyte polymère**

matériau polymère contenant des ions mobiles qui le rendent ioniquement conducteur

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-03-01, modifié – Dans la définition, remplacement de "substance liquide ou solide" par "matériau polymère".]

**3.1.24****pile à combustible à membrane échangeuse de protons****PEMFC**

pile à combustible (3.1.13) qui utilise un polymère avec capacité d'échange ionique (protons) servant d'électrolyte (3.1.9)

Note 1 à l'article: L'abréviation "PEMFC" est dérivée du terme anglais développé correspondant "proton exchange membrane fuel cell".

[SOURCE: IEC 60050-485:—, 485-08-08, modifié – Le terme admis " pile à combustible à polymère solide" a été supprimé, et le terme "pile à combustible à électrolyte polymère" a été supprimé.]

**3.1.25****électrode positive**

électrode (3.1.8) au niveau de laquelle l'oxygène est consommé ou produit

Note 1 à l'article: Elle peut aussi être appelée électrode à oxygène. En mode pile à combustible, elle est appelée cathode. La cathode réduit l'oxygène, ce qui produit de l'eau. En mode électrolyse, elle est appelée anode dans laquelle l'eau contribue à la formation d'oxygène et de protons.

**3.1.26****électrolyseur d'eau à membrane échangeuse de protons****PEMWE**

électrolyseur qui utilise un polymère avec capacité d'échange ionique (protons) servant d'électrolyte (3.1.9)

Note 1 à l'article: Le terme abrégé "PEMWE" est dérivé du terme anglais développé correspondant "proton exchange membrane water electrolyser".

**3.1.27****densité de puissance**

rapport de la puissance électrique et de la surface d'électrode active (3.1.1) des électrodes d'une entité d'assemblage de cellules/piles

### 3.1.28

#### **densité de courant assigné**

densité de courant maximale spécifiée par le fabricant, à laquelle l'assemblage de cellules/piles (3.1.32) a été conçu pour un fonctionnement continu

### 3.1.29

#### **utilisation d'un réactif**

rapport du débit de substance converti à travers une électrode donnée d'une entité d'assemblage de cellules/piles en un débit de substance d'entrée de la même électrode

Note 1 à l'article: Un réactif peut être utilisé de trois manières:

- utilisation avec du combustible (hydrogène) (électrode négative en mode PEMFC);
- utilisation avec de l'oxygène (électrode positive en mode PEMFC);
- conversion en eau (électrode positive en mode PEMFC).

Note 2 à l'article: En mode PEMFC, l'utilisation efficace d'un réactif peut également être calculée en tant que rapport du courant de sortie réel de l'entité d'assemblage de cellules/piles en courant faradique théorique.

### 3.1.30

#### **pile réversible à membrane échangeuse de protons**

##### **RPEMC**

##### **Re-PEM**

pile constituée de trois éléments fonctionnels: électrode négative (3.1.20), électrolyte à membrane échangeuse de protons et électrode positive (3.1.25)

Note 1 à l'article: Les RPEMC peuvent être utilisées en mode pile à combustible (PEMFC) ou en mode électrolyse (PEMWE).

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "RPEMC" est dérivé du terme anglais développé correspondant "reversible proton exchange membrane cell".

Note 3 à l'article: Le terme abrégé "Re-PEM" est dérivé du terme anglais développé correspondant "reversible proton exchange membrane".

### 3.1.31

#### **état stable**

état d'une entité d'assemblage de cellules/piles suffisamment stable pour que tout paramètre de régulation et la tension ou le courant de sortie/entrée de l'entité restent dans les limites de tolérance de leur plage de variation

### 3.1.32

#### **pile**

assemblage de cellules élémentaires, de séparateurs, de plaques de refroidissement, de plaques d'extrémité, de collecteurs et d'une structure de support, utilisé comme pile à combustible (PEMFC) et/ou électrolyseur d'eau (PEMWE)

### 3.1.33

#### **paramètre d'entrée d'essai**

##### **TIP**

paramètres dont les valeurs peuvent être réglées afin de définir les conditions d'essai du système d'essai, incluant les conditions de fonctionnement de l'objet d'essai

Note 1 à l'article: Les TIP doivent être contrôlables et mesurables. Les valeurs des TIP sont connues avant la réalisation de l'essai. Les TIP peuvent être statiques ou variables. Les TIP statiques doivent rester constants tandis que les TIP variables diffèrent lors de l'essai.

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "TIP" est dérivé du terme anglais développé correspondant "test input parameter".

**3.1.34****paramètre de sortie d'essai****TOP**

paramètres qui indiquent la réponse du système/objet d'essai par suite de la variation d'un ou de plusieurs TIP

Note 1 à l'article: Les valeurs des TOP sont inconnues avant la réalisation de l'essai et sont mesurées pendant l'essai. Les TOP doivent être mesurables.

Note 2 à l'article: Le terme abrégé "TOP" est dérivée du terme anglais développé correspondant "test output parameter".

**3.1.35****temps de tenue**

temps entre les modifications apportées au réglage des conditions de fonctionnement

**3.2 Symboles**

Le Tableau 1 présente les symboles et unités utilisés dans le présent document.

**Tableau 1 – Symboles**

| Symbole                           | Définition                                                                       | Unité             |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| $a$                               | Limite d'erreur définie par la spécification de l'instrument                     | -                 |
| $A_{\text{active}}$               | Surface d'électrode active de l'électrode ou des électrodes de cellule/pile      | cm <sup>2</sup>   |
| $F$                               | Constante de Faraday (96485,3)                                                   | A·s/mol           |
| $F_{\text{compr}}$                | Force de compression appliquée sur la cellule/pile                               | N                 |
| $I$                               | Courant de pile                                                                  | A                 |
| $J$                               | Densité de courant de pile                                                       | A/cm <sup>2</sup> |
| $k$                               | Facteur d'élargissement                                                          |                   |
| $n$                               | Nombre d'électrons transférés                                                    | -                 |
| $N$                               | Nombre de piles d'une connexion série                                            | -                 |
| $p$                               | Pression                                                                         | kPa               |
| $p_{\text{neg,in}}$               | Pression du fluide à l'entrée de l'électrode négative                            | kPa               |
| $p_{\text{pos,in}}$               | Pression du fluide à l'entrée de l'électrode négative                            | kPa               |
| $p_{\text{neg,out}}$              | Pression du fluide à la sortie de l'électrode négative                           | kPa               |
| $p_{\text{pos,out}}$              | Pression du fluide à la sortie de l'électrode négative                           | kPa               |
| $P$                               | Puissance                                                                        | W                 |
| $P_{\text{d}}$                    | Densité de puissance électrique                                                  | W/cm <sup>2</sup> |
| $P_{\text{el}}$                   | Puissance électrique                                                             | W                 |
| $q_V$                             | Débit volumétrique                                                               | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i}$                         | Débit volumétrique de composant de fluide $i$ (STP <sup>b</sup> )                | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{neg}}$                | Débit volumétrique de fluide de l'électrode négative (STP <sup>b</sup> )         | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{pos}}$                | Débit volumétrique de fluide de l'électrode positive (STP <sup>b</sup> )         | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{neg,in}}$             | Débit volumétrique total de fluide à l'entrée de l'électrode négative            | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{pos,in}}$             | Débit volumétrique total de fluide à l'entrée de l'électrode positive            | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i,\text{neg,in}}$           | Débit volumétrique du composant de fluide $i$ à l'entrée de l'électrode négative | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,i,\text{pos,in}}$           | Débit volumétrique du composant de fluide $i$ à l'entrée de l'électrode positive | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{V,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ | Débit volumétrique de l'hydrogène à la sortie de l'électrode négative            | m <sup>3</sup> /s |
| $q_{M,\text{H}_2,\text{neg,out}}$ | Débit molaire d'hydrogène à la sortie de l'électrode négative                    | mol/s             |

| Symbole                                                                                                                                                                                        | Définition                                                                                                       | Unité                      |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| $R_{as}$                                                                                                                                                                                       | Résistance spécifique à la surface                                                                               | $\Omega \cdot \text{cm}^2$ |
| $R_{int}$                                                                                                                                                                                      | Résistance interne                                                                                               | $\Omega$                   |
| $R_g$                                                                                                                                                                                          | Constante des gaz parfaits (8,314 5)                                                                             | J/(mol·K)                  |
| $t_{acq}$                                                                                                                                                                                      | Temps d'acquisition de données                                                                                   | s                          |
| $t_{op}$                                                                                                                                                                                       | Temps de fonctionnement                                                                                          | s                          |
| $t_0$                                                                                                                                                                                          | Début de mesure                                                                                                  | s                          |
| $t_1$                                                                                                                                                                                          | Fin de mesure                                                                                                    | s                          |
| $t_{dwell}$                                                                                                                                                                                    | Temps de tenue à un point de fonctionnement donné                                                                | s                          |
| $t_{eq}$                                                                                                                                                                                       | Temps de mise en équilibre à un point de fonctionnement donné                                                    | s                          |
| $t_{acq}$                                                                                                                                                                                      | Temps d'acquisition à un point de fonctionnement donné                                                           | s                          |
| $T$                                                                                                                                                                                            | Température                                                                                                      | °C                         |
| $T_{cell}$                                                                                                                                                                                     | Température de la cellule à membrane échangeuse de protons                                                       | °C                         |
| $T_{EP}$                                                                                                                                                                                       | Température de la plaque d'extrémité de la pile                                                                  | °C                         |
| $T_{neg,in}$                                                                                                                                                                                   | Température du fluide d'électrode négative à l'entrée de la cellule/pile                                         | °C                         |
| $T_{pos,in}$                                                                                                                                                                                   | Température du fluide d'électrode positive à l'entrée de la cellule/pile                                         | °C                         |
| $T_{neg,out}$                                                                                                                                                                                  | Température du fluide d'électrode négative à la sortie de la cellule/pile                                        | °C                         |
| $T_{pos,out}$                                                                                                                                                                                  | Température du fluide d'électrode positive à la sortie de la cellule/pile                                        | °C                         |
| $T_{stack}$                                                                                                                                                                                    | Température de la pile à membrane échangeuse de protons                                                          | °C                         |
| $T_{stack,intern}$                                                                                                                                                                             | Température interne de la pile                                                                                   | °C                         |
| $T_{TR,in}$                                                                                                                                                                                    | Température d'entrée du fluide caloporteur                                                                       | °C                         |
| $T_{TR,out}$                                                                                                                                                                                   | Température de sortie du fluide caloporteur                                                                      | °C                         |
| $U_{neg}$                                                                                                                                                                                      | Utilisation de réactif au niveau de l'électrode négative (utilisation de combustible en mode pile à combustible) | -                          |
| $U_{pos}$                                                                                                                                                                                      | Utilisation de réactif au niveau de l'électrode positive (utilisation d'oxydant en mode pile à combustible)      | -                          |
| $V_{cell/stack}$                                                                                                                                                                               | Tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles                                                               | V                          |
| $V_{cell,i}$                                                                                                                                                                                   | Tension du nombre de cellules individuelles $i$                                                                  | V                          |
| $V_{av}$                                                                                                                                                                                       | Tension moyenne de toutes les cellules de la pile                                                                | V                          |
| $x$                                                                                                                                                                                            | Composition                                                                                                      |                            |
| $x_i$                                                                                                                                                                                          | Fraction molaire du composant $i$                                                                                |                            |
| $\Delta p_{neg-pos}$                                                                                                                                                                           | Différence de pression entre le compartiment de l'électrode négative et le compartiment de l'électrode positive  | kPa                        |
| $\Delta P_d$                                                                                                                                                                                   | Variation de la densité de puissance                                                                             | W/cm <sup>2</sup>          |
| $\Delta R_{as}$                                                                                                                                                                                | Variation de la résistance spécifique à la surface                                                               | $\Omega \cdot \text{cm}^2$ |
| $\Delta V$                                                                                                                                                                                     | Variation de tension                                                                                             | V                          |
| $\Delta V_{Cl}$                                                                                                                                                                                | Variation instantanée de la tension des cellules en cas de coupure du courant                                    | V                          |
| $\Delta Y/\Delta t$                                                                                                                                                                            | Vitesse de dégradation <sup>a</sup>                                                                              |                            |
| <sup>a</sup> La grandeur $Y$ choisie pour le calcul de la vitesse de dégradation peut être la tension de la cellule ou de la pile, la densité de puissance ou l'ASR.<br><sup>b</sup> Voir 3.3. |                                                                                                                  |                            |

### 3.3 Valeurs de température et pression normalisées (TPN) pour la température et la pression du gaz

Les conditions de référence du gaz sont spécifiées comme suit:

- $T_0 = 273,15 \text{ K}$ ;
- $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ .

## 4 Considérations générales de sécurité

Une entité d'assemblage de cellules/piles PEM en fonctionnement utilise ou produit des gaz combustibles oxydants et réducteurs. Généralement, ces gaz sont stockés dans des conteneurs à haute pression. L'entité d'assemblage de cellules/piles PEM peut elle-même fonctionner à une pression supérieure à la pression atmosphérique.

Le personnel d'essai est responsable de l'obtention et du suivi de tous les codes de sécurité applicables et des pratiques d'ingénierie reconnues relatives à leurs systèmes d'essai, installations, combustibles (avec une attention particulière accordée aux gaz comprimés) et aux produits d'échappement. Les personnes en charge des essais sur l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM doivent être formées et expérimentées dans le fonctionnement des systèmes d'essai et en particulier dans les procédures de sécurité.

Des matériaux compatibles avec l'utilisation et le stockage des gaz réactants doivent être utilisés lors des essais. Les normes et codes de sécurité locaux relatifs au travail avec de l'hydrogène doivent être respectés.

Néanmoins, un certain nombre de lignes directrices empiriques de bonne pratique peuvent être spécifiées lors de la réalisation des essais expérimentaux pour aider à identifier les situations potentiellement dangereuses. Les conditions de fonctionnement de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM doivent être sous haute surveillance, afin de prévenir les problèmes relatifs à la sécurité au moyen d'un système d'arrêt d'urgence approprié.

- Capteurs de gaz: Il est recommandé d'installer des capteurs de gaz à proximité immédiate du poste d'essai (en particulier pour l' $\text{H}_2$ ) qui sont raccordés à un système d'arrêt d'urgence automatique qui interrompt l'alimentation en combustible de ce poste en cas de détection de fuite de gaz dangereux.
- Alimentation d'urgence en gaz de protection: En cas d'arrêt d'urgence, il est recommandé d'utiliser une ligne contenant un gaz réducteur inerte (c'est-à-dire de l'azote) pour l'évacuation du côté de l'électrode négative de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM. Cette disposition permet l'expulsion des réactifs inflammables du système.
- L'hydrogène d'échappement doit être traité de manière adaptée. Pour les débits légers d'hydrogène (liés à l'espace confiné du site de l'essai), il peut être suffisant de diluer le gaz d'échappement de l'électrode négative avec de l'air ou du gaz inerte avant de ventiler. En cas d'utilisation d'une pile volumineuse, il est conseillé d'utiliser un système de postcombustion (catalytique) avant de ventiler.
- L'oxygène produit en mode électrolyse doit être traité de manière adaptée. Il doit être ventilé vers l'extérieur afin d'éviter toute accumulation d'air enrichi en oxygène, particulièrement dans les espaces confinés.
- Pour les piles volumineuses fonctionnant en mode pile à combustible, le gaz d'échappement de l'électrode positive doit être de l'air appauvri en oxygène. Il doit donc être traité de manière adaptée.
- Contrôle de la tension de cellules/piles: Une basse tension en circuit ouvert (OCV) peut indiquer une fuite de gaz de l'assemblage de cellules/piles. Lors du fonctionnement d'essai (en circuit fermé), il est recommandé de contrôler la tension en circuit fermé des cellules/piles et de procéder à une ouverture automatique du circuit dans le cas où la tension mesurée des cellules/piles ne relève pas de la fenêtre de fonctionnement prédéfinie.

- Les capteurs de pression peuvent également faciliter la régulation des surpressions dans l'entité d'assemblage de cellules/piles et éviter toute rupture d'étanchéité.
- Lors du fonctionnement en mode électrolyse de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM, il convient d'accorder une attention particulière au traitement approprié de l'hydrogène et de l'oxygène produits. La concentration de l'hydrogène et de l'oxygène produits doit être mesurée afin d'éviter la concentration du mélange d'hydrogène et d'oxygène dans la plage d'explosion.
- Dans tous les cas, il convient d'effectuer une évaluation des risques adaptée tenant compte du lieu de l'essai et des conditions de fonctionnement et de prendre des mesures appropriées de réduction des risques.

Il ne s'agit en aucun cas d'une liste exhaustive, ni même suffisante, de fonctionnement en toute sécurité lors des essais. L'ISO/TR 15916 recommande des "considérations fondamentales pour la sécurité des systèmes à l'hydrogène", cependant les questions relatives à la sécurité doivent être obligatoirement conçues selon les exigences légales locales.

## 5 Environnement d'essai

### 5.1 Généralités

L'environnement d'essai est constitué de l'objet d'essai (une entité d'assemblage de cellules/piles PEM) installé dans l'installation expérimentale. L'entité d'assemblage de cellules/piles PEM est constituée d'une cellule ou d'une pile, d'une alimentation en fluide, d'amenées de courant et d'autres périphériques exigés pour les essais de production ou de stockage d'énergie. L'environnement d'essai doit comprendre un ou plusieurs points de mesure de la température et de la tension, et un ensemble de points d'amenée de courant. Tous ces éléments doivent être spécifiés par le fabricant.

Si les composants d'une entité d'assemblage de cellules/piles autres qu'une cellule/pile ne sont pas spécifiés par le fabricant, sauf caractère exclusif, les éléments suivants doivent être décrits dans le rapport d'essai:

- les composants à soumettre à l'essai;
- le circuit et le sens d'écoulement des fluides;
- les emplacements de mesure de la température, d'application de la charge, de mesure de la tension et d'extraction de courant/alimentation en courant;
- l'amplitude de la charge mécanique;
- la configuration de l'entité d'assemblage et sa méthode d'assemblage.

### 5.2 Entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible

La Figure 1 représente une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible, c'est-à-dire de nombreux assemblages membrane-électrode raccordés électriquement en série et/ou parallèle qui sont intégrés entre deux plaques d'extrémité. Les électrodes de l'assemblage de cellules/piles PEM réversible sont l'électrode négative et l'électrode positive respectivement.

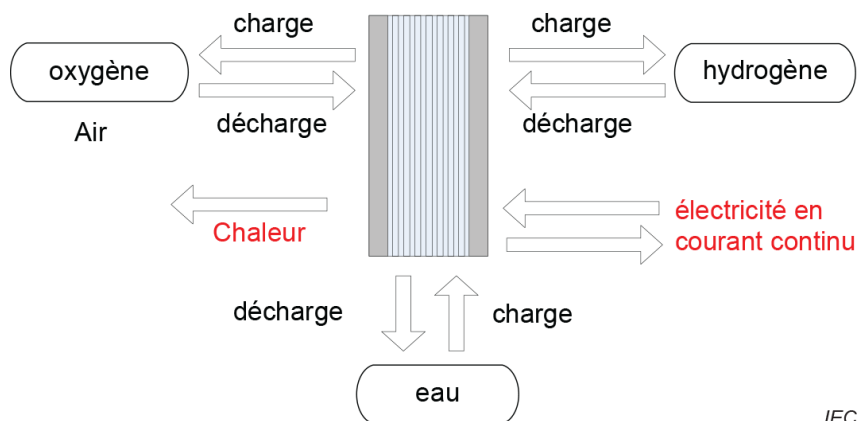


Figure 1 – Schéma d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible

### 5.3 Entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible séparée

La Figure 2 représente le schéma d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible séparée, constituée d'une PEMFC et d'un PEMWE raccordés par des réservoirs à hydrogène et oxygène, et un réservoir d'eau.

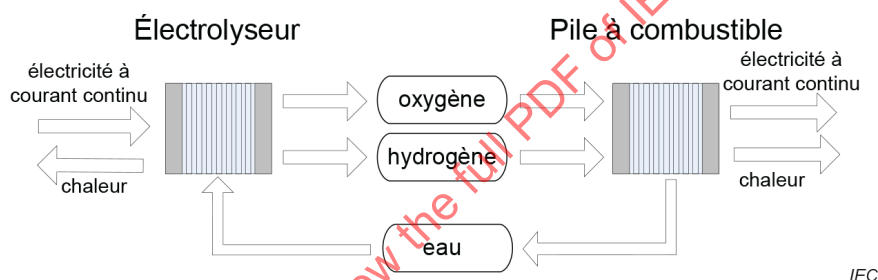


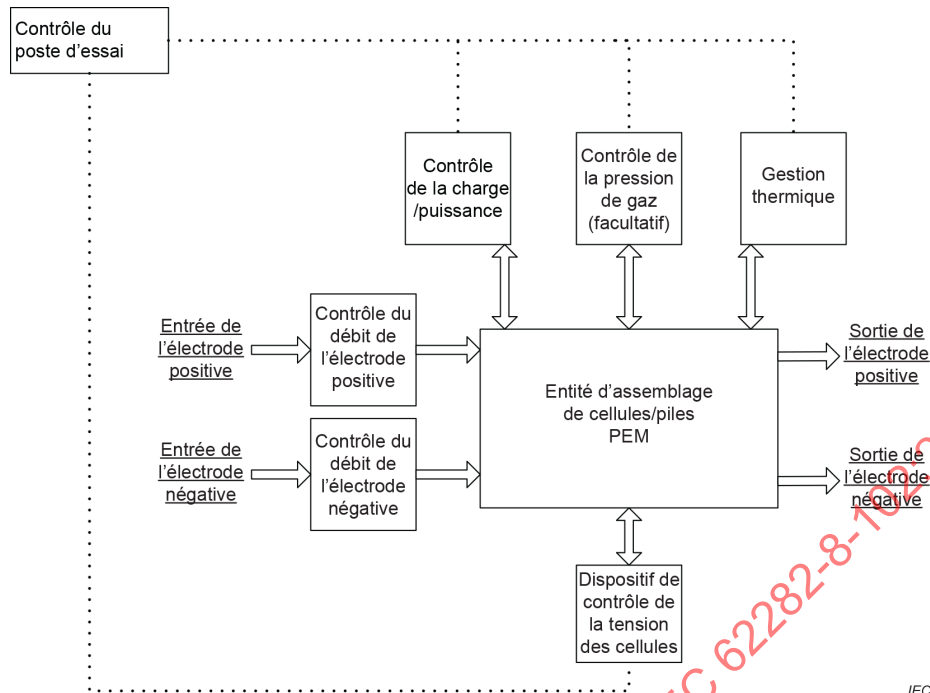
Figure 2 – Schéma d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM réversible séparée

## 5.4 Installation expérimentale

### 5.4.1 Généralités

La Figure 3 représente un environnement d'essai complet comportant l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM (objet d'essai) et l'équipement de contrôle et d'essai correspondant, divisé en sous-systèmes différents. L'objet d'essai est exposé aux entrées d'essai ou aux conditions de fonctionnement et fournit des sorties ou des résultats d'essai.

Le mode de fonctionnement peut être un fonctionnement en régime permanent ou un fonctionnement dynamique.



**Figure 3 – Schéma d'un environnement d'essai complet d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM**

#### 5.4.2 Équipement de contrôle du débit des fluides

L'équipement de contrôle du débit des fluides contrôle le débit, la composition et la température des fluides fournis à l'entité d'assemblage de cellules/piles. Les fluides comprennent les gaz d'électrode positive et d'électrode négative (PEMFC) et l'eau désionisée (PEMWE).

#### 5.4.3 Équipement de contrôle de la charge/alimentation

Le sous-système de contrôle de la charge/alimentation contrôle le courant d'entrée/sortie ou la tension d'entrée/sortie de l'entité d'assemblage de cellules/piles.

#### 5.4.4 Équipement de mesure et d'acquisition de données

L'équipement de mesure et d'acquisition de données obtient et enregistre:

- la température, le courant et la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles, ainsi que les tensions de cellules individuelles;
- les débits, la composition et la température du fluide d'entrée;

et accessoirement:

- les conditions d'environnement (température ambiante, humidité relative et pression atmosphérique)
- la charge mécanique appliquée à la cellule;
- la pression des gaz (à l'entrée et/ou la sortie);
- le débit, la composition et la température des gaz de sortie;
- le débit, la composition et la température du ou des fluides caloporteurs;
- l'impédance de l'entité d'assemblage de cellules/piles.

Les données doivent être enregistrées à des fréquences d'échantillonnage adaptées.

#### 5.4.5 Équipement de sécurité

L'équipement de sécurité doit comprendre des détecteurs, des actionneurs et un système d'alarme prévenant du dysfonctionnement du système d'essai sur la base de paramètres et de critères prédéfinis. S'il détecte un défaut grave, il doit alors automatiquement établir un état de sécurité dans le système d'essai. Pour des raisons de sécurité, les gaz d'électrode doivent être purgés avec un gaz inerte. Pour la protection de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM, le gaz inerte peut, le cas échéant, contenir également des quantités supplémentaires d'oxygène/hydrogène en dehors de leur limite supérieure d'explosivité (LSE)/limite inférieure d'explosivité (LIE) respective.

#### 5.4.6 Équipement de contrôle de la charge mécanique

L'équipement facultatif de contrôle de la charge mécanique régule la charge mécanique appliquée afin d'augmenter le contact entre les composants de l'entité d'assemblage de cellules/piles. L'équipement doit être suffisamment résistant afin d'appliquer la charge mécanique exigée dans les conditions d'essai et de maintenir la charge pendant un fonctionnement de longue durée.

#### 5.4.7 Équipement de gestion thermique

L'équipement de gestion thermique contrôle la température de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM. Il transfère la chaleur de/vers l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM (PEMFC/PEMWE) par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur.

#### 5.4.8 Équipement de contrôle de la pression des gaz

L'équipement facultatif de contrôle de la pression des gaz régule la pression des gaz d'électrode.

#### 5.4.9 Équipement de contrôle du système d'essai

L'équipement de contrôle du système d'essai assure un contrôle intégré de chaque dispositif de contrôle et chaque dispositif d'acquisition de données.

### 5.5 Contrôle des paramètres et mesurage

Pour les fluides à l'entrée et/ou sortie des cellules/piles, les paramètres pertinents sont:

- la température,  $T$ ;
- le débit (volume),  $q_V$ ;
- la pression,  $p$ ;
- la composition,  $x$ .

Les paramètres de l'interface électrique sont:

- le courant de la cellule/pile (ou charge de la pile),  $I$ ;
- la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles,  $V_{\text{cell/stack}}$ ;
- la tension des cellules individuelles,  $V_{\text{cell},i}$ .

Les paramètres de l'interface thermique sont:

- la température d'entrée du fluide caloporteur,  $T_{\text{TR},\text{in}}$ ;
- la température de sortie du fluide caloporteur,  $T_{\text{TR},\text{out}}$ ;
- la température interne de la cellule ou de la pile,  $T_{\text{cell}}$  ou  $T_{\text{stack}}$ .

Le paramètre de l'interface mécanique est:

- la force de compression de la cellule ou de la pile,  $F_{\text{compr}}$ .

En théorie, la position de réglage/contrôle du dispositif de mesure (capteur) des paramètres d'entrée/sortie est la plus proche possible des limites entre l'objet d'essai et l'installation expérimentale ou dans toute la mesure du possible, des limites de l'objet d'essai.

## 5.6 Méthodes de mesure des TIP et TOP et exactitude de réglage

Le processus de détermination de la fidélité, de l'exactitude et de l'incertitude de mesure des TIP et TOP dépasse le domaine d'application du présent document. Des informations détaillées peuvent être consultées dans la série du Guide ISO/IEC 98 pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM – *Guide to the expression of uncertainty in measurement*).

- La fidélité est l'étroitesse de l'accord entre des mesurages indépendants d'une grandeur dans des conditions identiques. Elle constitue une mesure du degré de bonne réalisation possible d'un mesurage sans référence à une valeur théorique ou vraie et dépend uniquement de la distribution des erreurs aléatoires.
- L'exactitude est l'étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et la valeur vraie. L'erreur est la différence entre un mesurage et la valeur vraie de la grandeur mesurée.
- L'incertitude est la composante d'une valeur consignée qui caractérise la plage des valeurs dans laquelle il est indiqué que la valeur vraie se situe. Une estimation de l'incertitude doit corriger l'erreur due à tous les effets possibles (erreur à la fois systématique et aléatoire) et par conséquent constitue généralement le moyen le plus approprié d'expression de l'exactitude des résultats.

Les définitions susmentionnées indiquent clairement que le moyen le plus approprié d'expression des valeurs des TOP est l'incertitude des valeurs mesurées, tandis que pour les TIP, l'exactitude de réglage (généralement spécifique aux instruments) doit être consignée dans un rapport.

## 6 Instruments et méthodes de mesure

### 6.1 Incertitude des instruments

Les paramètres de mesure répertoriés au Tableau 2 doivent être enregistrés et archivés à une fréquence d'échantillonnage suffisamment rapide pour assurer l'enregistrement de toutes les modifications pertinentes des paramètres pour des analyses de données ultérieures. Il est recommandé que la fréquence d'échantillonnage soit supérieure ou égale à 1 Hz.

L'incertitude élargie de chaque instrument de mesure (facteur d'élargissement  $k = 2$ , voir GUM) au moment de l'étalonnage, ou l'incertitude estimée à partir de la classe d'instrument doit satisfaire au minimum aux exigences indiquées dans le Tableau 2.

**Tableau 2 – Incertitude des instruments pour chaque grandeur à mesurer**

| Symbole                                                                                                                                                                                                              | Nombre                     | Incertitude des instruments                                                                                                |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $I$                                                                                                                                                                                                                  | Courant                    | $\pm 1$ % par rapport au courant assigné                                                                                   |
| $V$                                                                                                                                                                                                                  | Voltage                    | $\pm 0,5$ % relatif à l'OCV (en mode pile à combustible) ou à la tension maximale de la cellule/pile (en mode électrolyse) |
| $T$                                                                                                                                                                                                                  | Température                | $\pm 1$ K                                                                                                                  |
| $q_{V^{neg/pos,in/out}}$                                                                                                                                                                                             | Débit volumétrique         | $\pm 2$ % du débit volumétrique assigné                                                                                    |
| $x_i$                                                                                                                                                                                                                | Fraction molaire           | $\pm 2$ mol %                                                                                                              |
| $x_{O_2}$                                                                                                                                                                                                            | Fraction molaire d'oxygène | $\pm 0,3$ mol % par rapport à la concentration en $O_2$ (équilibre en $N_2$ )                                              |
| $p_{neg/pos,in/out}$                                                                                                                                                                                                 | Pression                   | $\pm 2$ % de la valeur maximale attendue                                                                                   |
| NOTE Les incertitudes quant au courant et à la tension se rapportent à leurs éléments respectifs en courant continu et ne fournissent pas de valeurs adaptées à ces grandeurs en matière de mesurage de l'impédance. |                            |                                                                                                                            |

Chaque instrument de mesure doit être vérifié quant à son dernier étalonnage, l'incertitude dans les conditions d'étalonnage (ou estimée depuis la classe d'instrument), et sa dépendance aux conditions environnementales afin d'estimer son incertitude. La méthode ainsi que le cycle d'étalonnage et de remplacement doivent être conçus afin de vérifier que l'incertitude de mesure n'est pas plus grande.

## 6.2 Instruments et méthodes de mesure recommandés

### 6.2.1 Généralités

Les instruments de mesure doivent être choisis conformément à la plage des valeurs à mesurer. Tous les dispositifs de mesure doivent être étalonnés selon les instructions du fabricant ou les étalons nationaux ou internationaux appropriés.

### 6.2.2 Tension

Un voltmètre doit être raccordé aux plaques d'écoulement ou aux collecteurs de courant positifs et négatifs, réduisant le plus possible l'influence des résistances de contact électriques. Les résistances de contact électriques entre les connexions du voltmètre, les plaques d'écoulement positives ou négatives ou les bornes de sortie des collecteurs de courant positifs et négatifs doivent être mesurées et enregistrées, lorsqu'elles ne sont pas négligeables.

La tension peut également être mesurée en utilisant les caractéristiques d'une source d'alimentation potentiostatique/galvanostatique (en mode électrolyse) ou d'une charge électronique (en mode pile à combustible).

### 6.2.3 Courant

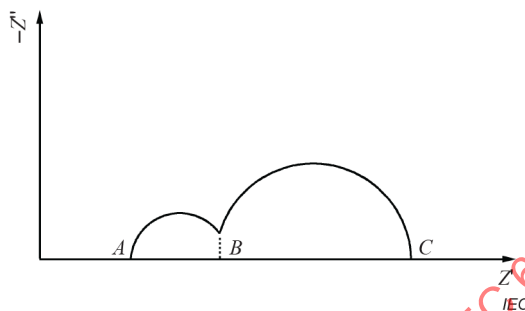
Le circuit conducteur de la cellule doit comporter un dispositif de mesure du courant. Le dispositif de mesure du courant peut être constitué d'un ampèremètre à faible impédance ou d'une résistance shunt étalonnée qui développe une tension parfaitement connue proportionnelle à la circulation du courant.

Le courant peut également être mesuré en utilisant les caractéristiques d'une source d'alimentation potentiostatique/galvanostatique (en mode électrolyse) ou d'une charge électronique (en mode pile à combustible).

#### 6.2.4 Résistance interne (IR)

La méthode d'interruption du courant et la méthode par spectroscopie de l'impédance électrochimique (EIS – *electrochemical impedance spectroscopy*) constituent les méthodes recommandées de mesure de la résistance interne (IR – *internal resistance*).

La Figure 4 représente un schéma de l'impédance des cellules PEM (partie imaginaire de l'impédance par rapport à la partie réelle de l'impédance, les deux parties étant conjuguées). L'intersection de l'impédance mesurée des cellules PEM avec l'axe de l'impédance réelle, généralement comprise entre 1 kHz et 20 kHz, identifie le point *A*. L'impédance mesurée ou interpolée au point *A* représente l'IR, constituée d'une impédance purement résistive.



##### Légende

*A*: Impédance d'extrémité basse fréquence

*C*: Impédance d'arc basse fréquence

*A-B*: Impédance d'arc haute fréquence

*B-C*: Impédance d'arc basse fréquence

*Z'*: Partie réelle de l'impédance

*Z''*: Partie imaginaire de l'impédance

**Figure 4 – Schéma de l'impédance des cellules PEM**

Au moment de déterminer une résistance interne, le choix d'une fréquence appropriée doit faire l'objet d'une attention particulière afin de vérifier que l'impédance ne comporte aucune composante imaginaire.

L'utilisation d'un signal à courant alternatif externe parallèlement à la charge doit faire l'objet d'une attention particulière afin d'éviter toute perturbation.

Les conducteurs positif/négatif de ces instruments de mesure doivent être raccordés aux bornes de sortie des collecteurs de courant positif et négatif, respectivement.

Les instruments généralement utilisés pour mesurer la résistance interne associent potentiostat/galvanostat et analyseur de fréquence.

#### 6.2.5 Débits du gaz d'électrode

Les débits du gaz d'électrode doivent être mesurés au moyen d'un débitmètre volumique, massique ou à turbine. Lorsque la pratique ne permet pas d'appliquer ce type de méthode, il est recommandé de mesurer le débit à l'aide d'une tuyère, d'orifices ou d'un débitmètre Venturi. En mode pile à combustible, un débitmètre doit être situé en amont de l'humidificateur des gaz fournis. En mode électrolyse, un débitmètre doit être situé en aval du déshumidificateur des dérivés du gaz.

Lorsque le débitmètre exige une compensation de la pression, un accès de mesure de la pression statique doit être situé immédiatement en amont du débitmètre à corriger.

Lorsque le débitmètre exige une compensation de la température, le capteur dédié à ce type de correction doit être situé immédiatement en amont du débitmètre.

#### **6.2.6 Température du gaz d'électrode**

Le capteur recommandé utilisé pour le mesurage de la température directe est un couple thermoélectrique, un thermomètre à résistance avec un transducteur ou une thermistance.

Le capteur de température doit être situé immédiatement en aval de l'entité d'assemblage de cellules/piles. Le placement d'un autre capteur immédiatement en aval de l'unité d'assemblage de cellules/piles est recommandé.

#### **6.2.7 Température de la cellule/pile**

Le capteur recommandé utilisé pour le mesurage de la température directe est un couple thermoélectrique, un thermomètre à résistance avec un transducteur ou une thermistance.

Pour mesurer la température de la cellule, un capteur de température doit être placé le plus près possible du centre de la surface active des électrodes. En théorie, le capteur doit se situer au centre des plaques d'écoulement positive et négative (voir 5.5 et l'Annexe A pour de plus amples informations).

Pour mesurer la température de la pile, les capteurs de température peuvent être placés au niveau des sorties d'électrode et/ou de la sortie du liquide de refroidissement le cas échéant.

#### **6.2.8 Pressions du gaz d'électrode**

Les transducteurs de pression étalonnés constituent la méthode préférentielle de mesure des pressions du gaz d'électrode. Les manomètres étalonnés, manomètres à piston, tubes de Bourdon ou autres manomètres élastiques constituent d'autres méthodes acceptables.

Les accès de mesure de pression statique doivent être situés immédiatement en amont ou en aval de l'entité d'assemblage cellules/piles. Les pressions du gaz d'électrode peuvent être contrôlées soit en amont de la cellule (mode pression d'entrée), soit en aval de la cellule (mode contre-pression).

La tuyauterie de raccordement doit être vérifiée afin de déterminer qu'elle ne présente pas de fuite dans les conditions de fonctionnement préalablement aux essais de performance. La présence d'eau liquide dans la tuyauterie doit être évitée.

En cas de variations de pression, un dispositif amortisseur approprié doit être installé dans une position efficace.

Les pressions doivent être mesurées comme des pressions statiques en tenant compte de l'effet de la vitesse et en le supprimant.

#### **6.2.9 Humidité du gaz d'électrode**

Pour mesurer l'humidité du gaz d'électrode, un hygromètre à miroir refroidi, en oxyde d'aluminium, résistant à la polymérisation en masse ou à capacité, peut être utilisé pour obtenir des valeurs d'humidité selon les températures du combustible et de l'oxydant.

L'humidité doit être exprimée comme température du point de rosée ou comme humidité relative en pourcent calculée à la température de la pile à combustible.

Un accès de mesure de l'humidité doit se situer en amont de l'entité d'assemblage cellules/piles, ou le capteur d'humidité peut être contenu dans le gaz réactant avant le début de l'essai. Lorsque l'oxydant utilisé est l'air ambiant ou un air synthétique, le point de rosée doit être mesuré et enregistré.

### **6.2.10 Conditions ambiantes**

Il est recommandé de mesurer et d'enregistrer la température, la pression et l'humidité ambiantes.

L'utilisation de couples thermoélectriques avec un transducteur ou d'un thermomètre à résistance avec un transducteur est recommandé pour le mesurage direct de la température ambiante.

L'utilisation d'un baromètre sans mercure est recommandée pour le mesurage direct de la pression ambiante.

L'utilisation d'un hygromètre est recommandée pour le mesurage direct de l'humidité ambiante.

## **6.3 Conditions d'essai de référence et recommandations du fabricant**

### **6.3.1 Conditions de démarrage et d'arrêt**

Les conditions de démarrage et les conditions d'arrêt doivent être fondées sur celles recommandées par le fabricant ou sur les résultats des essais préliminaires.

### **6.3.2 Plage des conditions d'essai**

Les conditions d'essai de référence et la plage d'essai typique recommandées par le fabricant de l'entité d'assemblage de cellules/piles doivent être examinées selon les paramètres suivants afin de les déterminer:

- a) température de l'entité d'assemblage de cellules/piles;
- b) répartition admissible de la température de l'entité d'assemblage de cellules/piles (pour plusieurs points de mesure);
- c) débit du fluide de l'électrode négative;
- d) composition du fluide de l'électrode négative;
- e) pression du fluide de l'électrode négative;
- f) débit du fluide de l'électrode positive;
- g) composition du fluide de l'électrode positive;
- h) pression du fluide de l'électrode positive;
- i) utilisation de combustible au niveau de l'électrode négative (utilisation de combustible en mode pile à combustible)
- j) utilisation d'oxydant (mode pile à combustible);
- k) courant ou densité de courant;
- l) tension minimale de l'entité d'assemblage de cellules/piles (mode pile à combustible);
- m) courant maximal de l'entité d'assemblage de cellules/piles (dans le cadre d'une utilisation donnée d'hydrogène en mode pile à combustible); un dommage dû à une dégradation excessive est possible au-delà de cette valeur; et
- n) charge mécanique.

### 6.3.3 Stabilisation, conditions d'initialisation et état stable

Après le démarrage, le fabricant peut recommander une période de stabilisation ou d'initialisation avant que l'entité d'assemblage de cellules/piles ne soit prête à la caractérisation. En variante, cette recommandation peut s'effectuer sur la base d'essais préliminaires, afin d'assurer que la dérive de sortie au moment de la mesure, causée par la stabilisation en cours ou l'initialisation de l'entité d'assemblage de cellules/piles, est négligeable.

Après avoir initialisé l'entité d'assemblage de cellules/piles, le niveau de tolérance doit être déterminé en fonction de la variation du courant ou de la tension de sortie de cette entité, et les critères d'acceptation résultants pour un état stable doivent être définis.

### 6.4 Méthode d'acquisition de données

Des essais préliminaires doivent être réalisés tout en tenant compte de la variation de chaque paramètre d'essai et de la fréquence d'échantillonnage de chaque instrument de mesure, afin de déterminer l'intervalle d'échantillonnage et le nombre d'échantillonnages et de mesures. L'intervalle d'échantillonnage (par exemple, 1 s) doit être suffisamment court pour observer la variation d'un paramètre de mesure unique avec une résolution temporelle suffisante. Le nombre d'échantillonnages et de répétitions pour un mesurage unique doit être déterminé de sorte que la période de mesure totale soit suffisamment plus longue que le cycle de variation dominant de chaque paramètre d'essai.

## 7 Procédures d'essai et calcul des résultats

### 7.1 Généralités

Du fait de la fonctionnalité intrinsèque d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM, les procédures d'essai suivantes peuvent traiter différents modes de fonctionnement: mode pile à combustible (PEMFC), mode électrolyse (PEMWE) et mode combiné ou réversible (Re-PEM). Chacun de ces cas étudie la performance et la durabilité, et peut être adapté à un objectif d'essai spécifique, reflétant une application typique par exemple, comme l'écèlement des pointes de puissance. Dans le cadre du présent document, l'objectif est d'harmoniser dans toute la mesure du possible les procédures d'essai suivantes avec les exigences des systèmes de stockage de l'énergie et des systèmes tampons (voir l'IEC 62282-8-201). Les procédures d'essai déjà décrites dans l'IEC TS 62282-7-1 et directement applicables aux entités d'assemblage de cellules/piles PEM en mode réversible ne sont pas répétées dans le présent document.

### 7.2 Essai de caractéristiques courant-tension ( $I$ - $V$ )

#### 7.2.1 Objectif

L'objectif de cet essai est de caractériser la réponse d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM fonctionnant à différentes densités de courant en mode pile à combustible ou électrolyse. L'essai a pour but de mesurer la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM en fonction de la densité de courant (caractéristiques courant-tension ou courbe  $I$ - $V$ ). À partir de la courbe  $I$ - $V$  issue de cet essai, la résistance spécifique à la surface (ASR) peut être calculée.

#### 7.2.2 Méthode d'essai

L'action principale de l'essai consiste à déterminer la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles à des réglages spécifiques du courant. La durée de l'essai dépend de la méthode de mesure (nombre d'étapes, vitesse croissante/décroissante du courant) et de l'obtention d'un courant ou d'une tension spécifique. L'entité doit être utilisée jusqu'à ce que l'état stable soit atteint dans des conditions de circuit ouvert (mode pile à combustible), et les caractéristiques courant-tension peuvent ensuite être mesurées.

L'essai doit être effectué en modifiant le courant progressivement et en enregistrant la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles. Les mesurages doivent être effectués lorsque l'entité d'assemblage de cellules/piles atteint l'état stable à chaque étape. Les mesurages sont effectués à chaque étape des intervalles d'échantillonnage.

En variante, la tension peut être contrôlée et le courant enregistré. Dans les deux cas, au lieu d'un mesurage progressif, un balayage du paramètre de contrôle peut être effectué à vitesse constante. Lorsque le courant fait l'objet d'un balayage, la vitesse de balayage doit être déterminée de sorte que la largeur maximale de l'hystérésis du paramètre enregistré ne dépasse pas la variation de tension à l'état stable.

### 7.2.3 Post-traitement des données

Le post-traitement des données brutes consiste à calculer la moyenne des valeurs des réponses à partir de toutes les données échantillonnées lors du temps d'acquisition de chaque étape ( $t_{acq}$ ). Par ailleurs, les résultats suivants doivent être calculés et présentés.

La puissance électrique  $P_{el}$  et/ou la densité de puissance  $P_d$  doivent être calculées comme résultat de cet essai, conformément à l'Annexe B.

Le calcul relatif à l'utilisation du combustible doit être effectué conformément à l'IEC 62282-7-1.

Les résultats doivent être représentés sous forme de tension de cellules PEM, densité de puissance et température(s) de cellules PEM par rapport à la densité de courant. De plus, l'utilisation de combustible (mode pile à combustible) et/ou l'évolution de l'hydrogène (mode électrolyse), et/ou l'utilisation d'oxydant (mode pile à combustion), et/ou l'évolution de l'oxygène (mode électrolyse) peuvent être représentées. En général, les tracés consignés doivent être représentatifs de l'application visée/objectif d'essai.

Tous les paramètres d'entrée d'essai (TIP), paramètres de sortie d'essai (TOP) et grandeurs dérivées appropriés pour cet essai sont indiqués à l'Article A.3.

## 7.3 Essai dans des conditions d'état stable

### 7.3.1 Objectif

L'objectif de cet essai est de vérifier la sortie de la cellule dans des conditions de courant constant, tous les paramètres d'entrée d'essai étant réglés sur leurs valeurs spécifiques. Cet essai peut être également effectué dans des conditions de tension constante.

### 7.3.2 Méthodes d'essai

Il existe deux méthodes analogues de réalisation de cet essai.

#### a) Méthode à courant constant

Régler le courant à un niveau correspondant à la densité de courant assigné et le maintenir jusqu'à ce qu'il soit stable, tel que défini par le fabricant ou jusqu'à ce que la tension de la cellule/pile soit stabilisée à  $\pm 5$  mV. Ensuite, procéder à l'essai pendant une durée spécifiée fondée sur l'objectif de l'essai.

Enregistrer la tension de la cellule/pile.

#### b) Méthode à tension constante

Régler la tension de la cellule/pile à un niveau correspondant à la valeur souhaitée et la maintenir jusqu'à ce qu'elle soit stable, tel que défini par le fabricant ou jusqu'à ce que le courant de la cellule/pile soit stabilisé à  $\pm 2$  %. Ensuite, procéder à l'essai pendant une durée spécifiée fondée sur l'objectif de l'essai.

Enregistrer le courant de la cellule/pile.

### 7.3.3 Post-traitement des données

La puissance électrique produite (mode pile à combustible)/consommée (mode électrolyse) dans les conditions normales d'essai ( $P_{el}$ ) est calculée à partir des résultats d'essai, conformément à l'Annexe B.

Tous les paramètres d'entrée d'essai (TIP), paramètres de sortie d'essai (TOP) et grandeurs dérivées appropriés pour cet essai sont indiqués à l'Article A.4.

## 7.4 Essai de durabilité

### 7.4.1 Objectif

L'objectif de cet essai est de caractériser la réponse d'une entité d'assemblage de cellules/piles PEM dans des conditions constantes [courant constant ou utilisation de réactif (hydrogène ou oxygène) en mode pile à combustible ou eau en mode électrolyse]. L'essai a pour but de mesurer l'endurance de longue durée de l'entité d'assemblage de cellules/piles dans des conditions de fonctionnement données. La vitesse de dégradation peut être calculée à partir du profil de tension sur la durée résultant de cet essai.

### 7.4.2 Méthode d'essai

L'action principale de l'essai consiste à déterminer la tension de l'entité d'assemblage de cellules/piles dans des conditions spécifiques (courant ou utilisation de réactif). L'essai doit être effectué en utilisant l'entité d'assemblage de cellules/piles dans des conditions de réglage spécifiques, soit pendant une durée spécifique, soit jusqu'à l'obtention d'une tension spécifique.

### 7.4.3 Post-traitement des données

Un graphique représentant l'évolution des tensions de l'entité d'assemblage de cellules/piles ( $V_{cell/stack}$ ,  $V_{cell,i}$ ) en fonction de la durée doit être consigné dans un rapport. Il est recommandé de fournir également un graphique avec l'évolution temporelle des températures des entités ( $T_{cell}$  or  $T_{stack}$ ).

Pour un essai d'endurance de longue durée, la vitesse de dégradation est consignée comme la modification de la résistance spécifique à la surface ( $\Delta R_{as}$ ), densité de puissance ( $\Delta P_d$ ) et tension ( $\Delta V_{cell/stack}$ ) pendant une durée donnée ( $t_1 - t_0$ ) qui doit être consignée dans un rapport. Par exemple, les cent premières heures sont généralement ignorées parce que le fonctionnement de l'entité d'assemblage de cellules/piles est de type transitoire et que la vitesse de dégradation peut être très élevée au cours de cette durée. Ces vitesses de dégradation sont exprimées en  $m\Omega \cdot cm^2$ ,  $mW/cm^2$  et  $mV/kh$  ( $\mu V/h$ ) respectivement. Elles peuvent en plus être exprimées en pourcent de la valeur initiale pour chacun de ces paramètres. Il est nécessaire de fournir au moins ces trois représentations interdépendantes de la dégradation afin d'assurer une représentation complète de la durabilité de l'entité d'assemblage de cellules/piles.

Tous les paramètres d'entrée d'essai (TIP), paramètres de sortie d'essai (TOP) et grandeurs dérivées appropriés pour cet essai sont indiqués à l'Article A.5.

## 7.5 Mesurage de la résistance interne (IR)

### 7.5.1 Objectif

L'objectif de cet essai est de déterminer la résistance interne,  $R_{int}$ , de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM à différentes densités de courant afin de faciliter la correction de la résistance interne des mesurages potentiels. Lorsque les mesurages de la résistance interne sont réalisés parallèlement aux mesurages de la courbe de polarisation, la technique de mesure ne doit pas perturber de manière significative le fonctionnement de l'entité d'assemblage de cellules/piles PEM. Lorsque le mesurage perturbe de manière significative le