

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric energy storage (EES) systems –
Part 4-2: Guidance on environmental issues – Assessment of the environmental
impact of battery failure in an electrochemical based storage system**

**Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) –
Partie 4-2: Recommandations relatives aux problèmes environnementaux –
Évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de batterie dans un
système de stockage d'énergie électrochimique**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2025 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 Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
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

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Electric energy storage (EES) systems –
Part 4-2: Guidance on environmental issues – Assessment of the environmental
impact of battery failure in an electrochemical based storage system**

**Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) –
Partie 4-2: Recommandations relatives aux problèmes environnementaux –
Évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de batterie dans un
système de stockage d'énergie électrochimique**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.020.30, 27.010

ISBN 978-2-8327-0147-8

**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.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms, definitions and abbreviated terms	6
3.1 Terms and definitions	6
3.2 Abbreviated terms	8
4 General	8
5 Failure of the electrochemical accumulation system in a BESS resulting in environmental issues	8
5.1 General.....	8
5.2 View of the subsystem structure in a BESS and the battery-related failure site	9
5.3 Classification of BESS types	9
5.4 Failure of batteries in the electrochemical accumulation subsystem of a BESS.....	10
6 Guidelines for assessing the environmental impact of a failure of the battery of the electrochemical accumulation subsystem of the BESS.....	11
6.1 General.....	11
6.2 Root causes of battery and flow battery failures resulting in impact on the environment.....	11
6.2.1 General	11
6.2.2 Root causes resulting in battery and flow battery failures	12
6.2.3 Environmental impacts upon disassembly and disposal of a failed battery	14
6.3 Reporting the assessment.....	14
Annex A (informative) Summary of typical properties of commercially available electrochemical energy storage systems for BESS installations	16
Annex B (informative) Potential environmental impacts related to the type of battery in the BESS.....	22
B.1 General.....	22
B.2 Cells with non-aqueous electrolyte – C-A type	22
B.3 Cells with aqueous electrolyte – C-B type	22
B.4 Cells with solid electrolyte and operating at temperatures above 250 °C – C type.....	23
B.5 Cells with aqueous but recirculating electrolyte or flow cells – C-D type.....	23
B.6 Cells with any other electrochemical couple, electrolyte and energy storage concept or combinations thereof – C-Z type	23
B.7 Environmental impacts upon disassembly and disposal of a failed battery	23
Annex C (informative) Selected BESS application scenarios	24
Annex D (informative) Description of batteries used in BESS	25
D.1 General.....	25
D.2 Cells with non-aqueous electrolyte – C-A type	25
D.3 Cells with aqueous electrolyte – C-B type	26
D.4 Cells with solid electrolyte operating at temperatures above 250 °C – C-C type	26
D.5 Cells with aqueous but recirculating electrolyte or flow cells – C-D type.....	27
D.6 Cells with any other electrochemical couple, electrolyte and energy storage concept or combinations thereof – C-Z type	27

Bibliography	28
Figure 1 – Example of a BESS structure.....	9
Figure 2 – Failure sites in the electrochemical accumulation subsystem within the scope of this document (highlighted in grey).....	10
Figure 3 – Proximate root causes leading to a battery or flow battery failure in the BESS with associated environmental impacts.....	12
Figure C.1 – BESS application scenarios.....	24
Table 1 – Classification of BESS types.....	10
Table 2 – Excerpt of a possible assessment report describing failures of a specific battery and the resulting environmental impacts	15
Table A.1 – Summary list of typical properties of commercially available electrochemical energy storage systems in BESS installations – Part 1.....	17

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTRICAL ENERGY STORAGE (EES) SYSTEMS –

Part 4-2: Guidance on environmental issues – Assessment of the environmental impact of battery failure in an electrochemical based storage system

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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62933-4-2 has been prepared by IEC technical committee 120: Electrical Energy Storage (EES) Systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
120/387/FDIS	120/403/RVD

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

The language used for the development of this International Standard is English.

A list of all parts in the IEC 62933 series, published under the general title *Electrical energy storage (EES) systems*, can be found on the IEC website.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

ELECTRICAL ENERGY STORAGE (EES) SYSTEMS –

Part 4-2: Guidance on environmental issues – Assessment of the environmental impact of battery failure in an electrochemical based storage system

1 Scope

This part of IEC 62933 defines the requirements for evaluating and reporting the negative impact on the environment caused by the failure of a cell, flow cell, battery or flow battery in the accumulation subsystem of a battery energy storage system (BESS).

The batteries within this scope used in a BESS are classified according to the type of their electrolyte. These electrolyte types are aqueous, non-aqueous or solid.

The environmental impacts directly caused by the failure of other components of the BESS are not within the scope of this document.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

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

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

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

3.1.1

cell

basic functional unit, consisting of an assembly of electrodes, electrolyte, container, terminals and usually separators, that is a source of electric energy obtained by direct conversion of chemical energy

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-01, modified – the Note has been deleted.]

3.1.2

flow cell

secondary cell characterized by the spatial separation of the electrodes and the movement of the energy storage fluids

[SOURCE: IEC 62932-1:2020, 3.1.14, modified – the Note has been deleted.]

3.1.3**flow battery**

two or more flow cells electrically connected including all components for use in an electrochemical energy storage system

3.1.4**battery**

one or more cells fitted with devices necessary for use, for example case, terminals, marking and protective devices

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-04]

3.1.5**battery system**

assembly of batteries or flow batteries installed on racks or in cabinets with associated electrical, electromechanical, environmental control components and ready to operate

3.1.6**battery management system****BMS**

electronic system associated with a battery which has functions to control current in case of overcharge, overcurrent, overdischarge and overheating and which monitors and/or manages the battery's state, calculates secondary data, reports that data and/or controls its environment to influence the battery's safety, performance and/or service life

[SOURCE: IEC 62619:2022, 3.12, modified – the Notes have been deleted.]

3.1.7**failure**

loss of ability of the cell, flow cell, battery or flow battery to perform as required

Note 1 to entry: This failure results in a fault of the accumulation subsystem and by derivation, of the BESS.

[SOURCE IEC 60050-192:2015, 192-03-01, modified – replaced "item" with "the cell, flow cell, battery or flow battery", notes have been deleted and added new Note 1.]

3.1.8**failure cause**

set of circumstances that leads to failure

Note 1 to entry: A failure cause can originate during specification, design, manufacture, transportation, installation, operation or maintenance of an item

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-11]

3.1.9**environment**

natural and man-made surroundings in which an EES system is installed, operates and interacts, including buildings and facilities, air, water, land, natural resources, flora, fauna (including human inhabitants) of those surroundings

[SOURCE: IEC 60050-904:2014, 904-01-01, modified – expansion of the scope to include man-made surroundings, dynamic interactions, and specific EES system contexts.]

3.1.10**system integrator**

entity that specializes in planning, coordinating, building, implementing and testing of systems

3.1.11

manufacturer

entity that produces the specified item and owns the manufacturing process by which it was created

3.2 Abbreviated terms

BESS	battery energy storage system
BMS	battery management system
EES	electrical energy storage
HVAC	heating, ventilation and air conditioning
LFP	lithium iron phosphate
LTO	lithium titanium oxide
MSDS	material safety data sheet
NCA	nickel cobalt aluminium oxide
NMC	nickel manganese cobalt oxide
PCS	power conversion system
POC	point of connection
SDS	safety data sheet
SOC	state of charge
SOH	state of health
VRLA	valve regulated lead acid

4 General

The environmental impact of a battery failure depends on the battery type, design and structures. This document provides guidance and requirements on how to identify the potential impacts on the environment when the battery of an electrochemical energy accumulation system fails.

The operation, under conditions licensed by the local authorities, of the BESS including its batteries and flow batteries, is considered to occur without any negative environmental impact.

5 Failure of the electrochemical accumulation system in a BESS resulting in environmental issues

5.1 General

A failure is defined in this document as a loss of ability of the cell, flow cell, battery or flow battery in the electrochemical accumulation subsystem to perform as required. This failure results in a fault of the accumulation subsystem and, by derivation, can result also in a failure of the BESS with possibly environmental issues.

For the present document, those failure-inducing causes are considered if the subsequent failure(s) of the cell, flow cell, battery or flow battery in the electrochemical accumulation subsystem negatively impact(s) the environment surrounding the BESS.

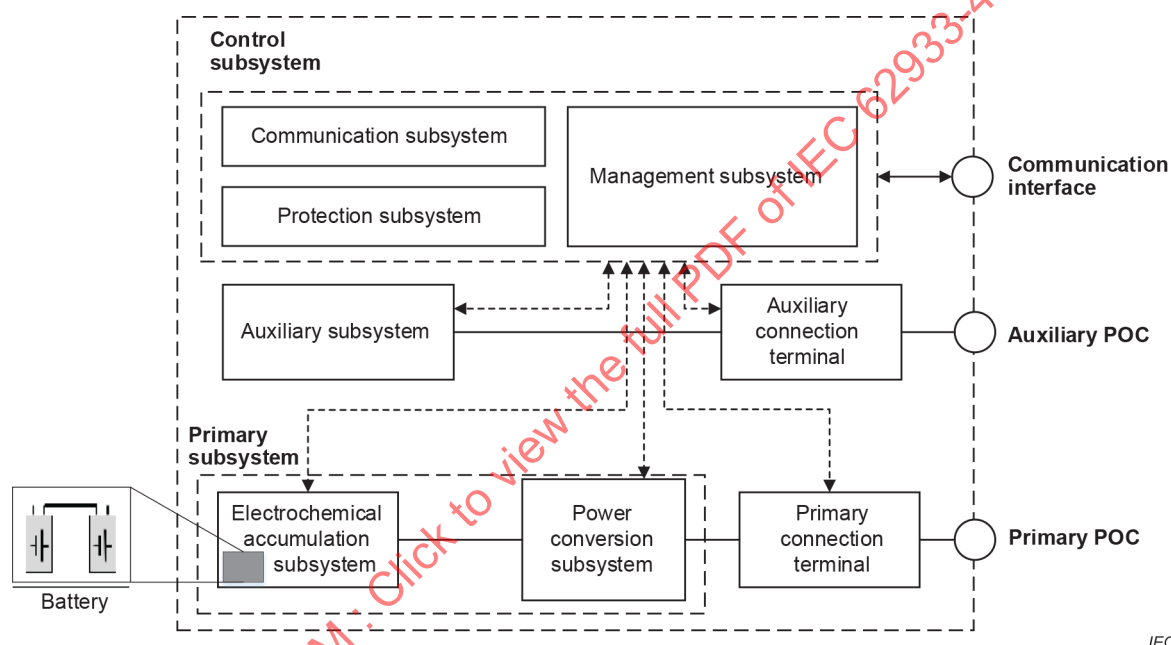
The failure causes to be considered in this document are the result of:

- 1) electrochemical accumulation subsystem internal causes such as a fault developing due to weakness of materials or of an assembly or divergent chemical or electrochemical reactions; or
- 2) electrochemical accumulation subsystem external causes such as a fault developing due to a failure of ancillary equipment, unfavourable environmental conditions or loss of essential parameters, data and functions needed for safe operation.

Failures of other subsystems of the BESS are not assessed within this document for their direct negative impact on the environment.

5.2 View of the subsystem structure in a BESS and the battery-related failure site

The typical subsystems architecture of a BESS is shown in Figure 1 with the location of the battery highlighted



IEC

NOTE The location of the electrochemical accumulation subsystem and its battery are highlighted in the dark grey box.

Figure 1 – Example of a BESS structure

5.3 Classification of BESS types

The BESS types are categorized in Table 1, according to IEC 62933-5-2, into five types based on the specific features of the installed electrochemical storage system, i.e. the installed battery type and its electrolyte.

Table 1 – Classification of BESS types

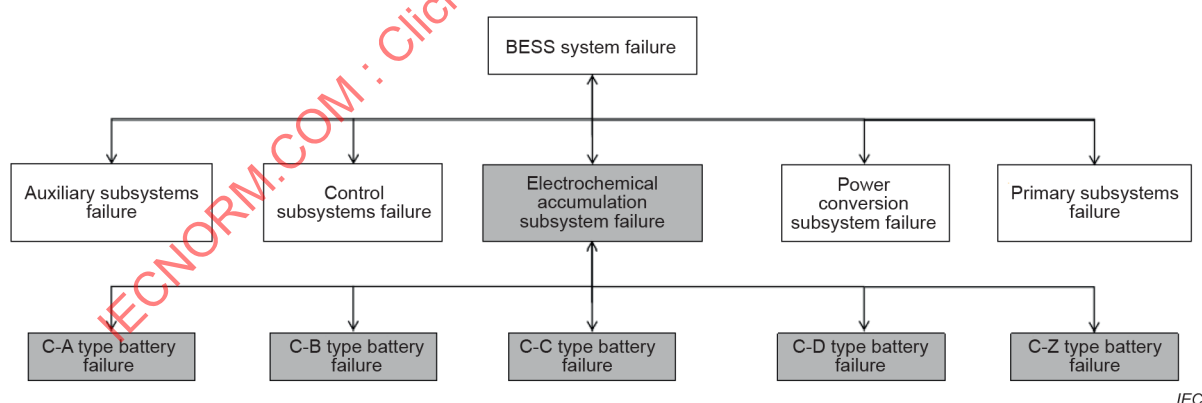
BESS type designation	Distinguishing design features
C-A	Cell with non-aqueous electrolyte (e.g., Li-ion)
C-B	Cell with aqueous electrolyte (e.g., Pb acid, NiMH)
C-C	Cell with solid electrolyte and operating above 250 °C or defined as HT (high temperature) cell (e.g., NaS, NaNiCl)
C-D	Cell with aqueous but recirculating electrolyte or defined as flow cell (e.g., V5+/V2+)
C-Z	Cell with any other electrochemical couple, electrolyte and energy storage concept or combinations thereof (e.g., Li metal with solid electrolyte, electrochemical double layer capacitors)

The classification of the battery types used in a BESS and listed in Table 1 is subject to evolutions as advances in battery technology bring changes in electrolytes and cell designs.

The attributes of a BESS type designation, based on the installed battery and reported in the environmental impact assessment document, are only informative in nature. They do not release the system integrator and battery manufacturer carrying out the environmental impact assessment of a battery failure according to this document, from considering all features of the battery or flow battery of the BESS at hand.

5.4 Failure of batteries in the electrochemical accumulation subsystem of a BESS

The failure sites in the electrochemical accumulation subsystem in this document are highlighted in Figure 2.



IEC

Figure 2 – Failure sites in the electrochemical accumulation subsystem within the scope of this document (highlighted in grey)

6 Guidelines for assessing the environmental impact of a failure of the battery of the electrochemical accumulation subsystem of the BESS

6.1 General

Batteries and flow batteries are equipment containing reactive metals and chemicals and are also sources of uninterrupted flows of electrical energy. These components and effects can be released into the environment in an uncontrolled fashion when the battery or flow battery in the accumulation subsystem fails.

The system integrator of the BESS, therefore, carries out, in collaboration with the electrochemical accumulation subsystem, a systematic assessment of when and how wear-out, ageing, deterioration, damage, non-compliance, environmental factors, flawed operation(s) or outright failure(s) of a constituent of the BESS result in failures of the electrochemical accumulation subsystem with a subsequent impact on the environment.

To ensure a structured assessment of the failures, an overview of the cell designs is presented in Annex D. This is followed in Annex B by an overview of the environmental impacts resulting, upon a failure, from the battery and flow battery materials, their reactions and associated disruptive electric effects.

In 6.2 a structured set of root causes of such failures is presented. These root causes reflect the multiple origins of a failure of the battery or flow battery in a BESS and are applicable to the designs C-A to C-Z, respectively.

6.2 Root causes of battery and flow battery failures resulting in impact on the environment

6.2.1 General

Internal and external causes that can result in a failure of the cell, flow cell, battery or flow battery and possibly have an impact on the environment, are reviewed and enumerated below.

Potential failures are systematically listed below, which are further the result of root causes depicted in Figure 3.

- Performance degradation
 - inability to deliver rated energy (cause 1)
 - inability to accept rated energy (cause 2)
- System degradation
 - failed structural integrity (cause 3)
 - failed system integrity (cause 4)
- Subsystems degradation
 - failed accessory components (cause 5)
 - failed control subsystem (cause 8)
 - failed auxiliary subsystem (cause 9)
- Unexpected inputs from the POC/interface
 - failed environmental controls (cause 6)
 - failed electric integrity (cause 7)
- Unexpected external environment impacts to the system
 - environmental impacts (cause 10)

A schematic view of key proximate (immediate) root causes leading to failures is shown in Figure 3.

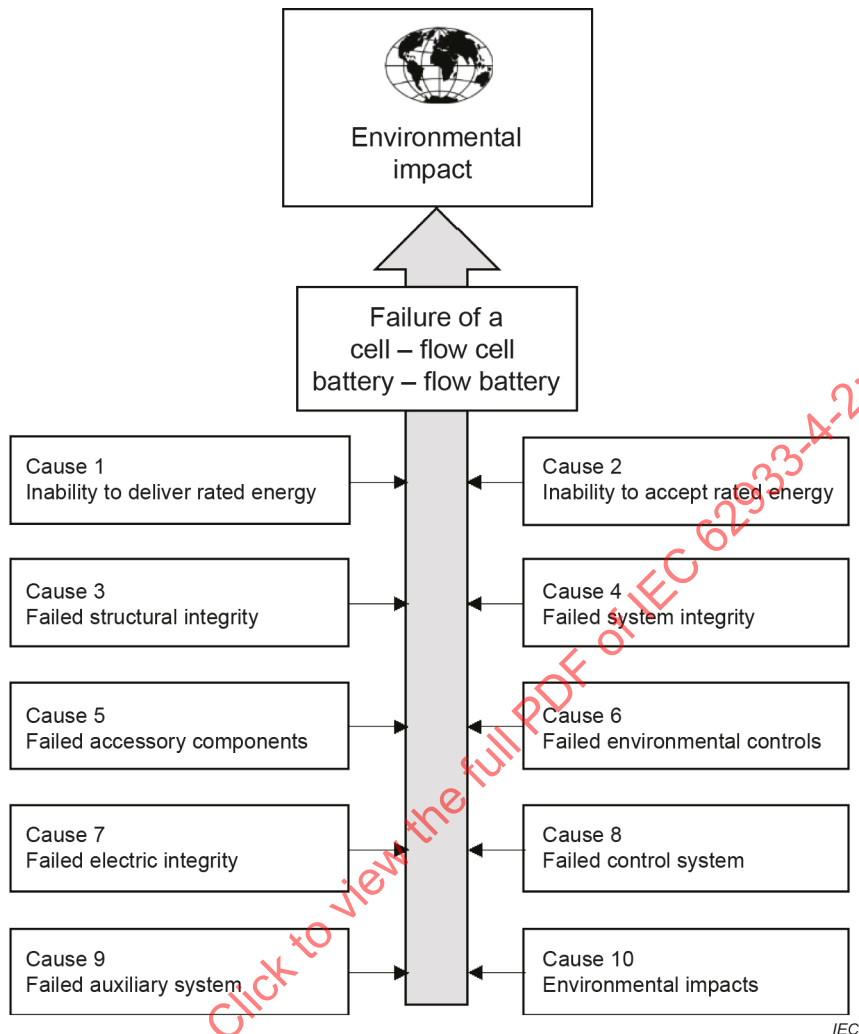


Figure 3 – Proximate root causes leading to a battery or flow battery failure in the BESS with associated environmental impacts

6.2.2 Root causes resulting in battery and flow battery failures

6.2.2.1 General

The assessment of the failures and their environmental impacts shall be carried out on the battery and its layout by the system integrator in collaboration with the battery or flow battery manufacturer. Local regulations can apply and can designate any other entity to perform the assessment.

This assessment shall be made available, in an appropriate format and detail, to the interested parties such as the BESS operator, licensing authorities, environmental protection agencies or other relevant entities for follow-up actions as needed. Local regulations can apply.

The assessment activity starts from the relevant proximate, i.e. close-by root cause(s), and details their resulting impacts on the cells, flow cell, battery and flow battery.

These impacts can lead to their failure resulting in a fault of the BESS.

The failure causes of the cell, flow cell, battery, or flow battery are evaluated with due diligence for their potential impact on the environment, as relevant.

Due diligence is defined as the degree of care that is to be reasonably expected or that is legally required for the task.

This evaluation is done in a detailed and exhaustive description and quantification of the impacts and damage patterns so that concrete mitigation actions can be planned and undertaken by the addressee.

The planning of failure prevention measures or environmental impact mitigation activities is not within the scope of this document, but its logical consequences are worth considering.

To guide this assessment, key proximate root causes of these failures are listed below.

6.2.2.2 Performance degradation

- [Cause 1]: Cell, flow cell, battery, or flow battery deterioration that results in an inability to deliver the rated energy at the rated BESS operating conditions, for example, inactivation or decomposition of active mass, increased internal resistance, obstruction in energy storage fluid circuits.
- [Cause 2]: Cell, flow cell, battery, or flow battery deterioration that results in an inability to accept the rated energy at the rated BESS operating conditions, for example, increased internal resistance, formation of barrier layers, fractures in the solid electrolyte ceramic.

6.2.2.3 System degradation

- [Cause 3]: Failure of the structural integrity:
[Cause 3a]: failure of the structural integrity of the cell or battery for example, cell case-to-cover weld failures, breach of liquid or gas barriers, corroded current collectors;
[Cause 3b]: Failure of the structural integrity of the flow cell and flow battery, for example, rupture of electrolyte circuits, collapse of flow cell assembly, loss of fluid level controls, electrolyte tank head space disruptive gas venting.
- [Cause 4]: Failure of the system integrity of the battery system, for example, collapse of racks or cabinets, decreased dielectric strength of assemblies, lack of preventive maintenance and repair, accidental liquid, vapor or gas venting.

6.2.2.4 Subsystem degradation

- [Cause 5]: Failure of the accessory components of the battery system, for example, BMS, safety valves, gas monitors, pumps, level indicators, heaters.

6.2.2.5 Control system degradation

- [Cause 6]: Failure of the environmental controls of the battery or flow battery for example, loss of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) functions, impeded air exchange, loss of heating or cooling fluids.
- [Cause 7]: Failure of the electrical integrity of the battery or flow battery, for example, damaged cabling, degraded control signals, non-reacting or blown fuses, breakdown of the electrical insulation.
- [Cause 8]: Failure of the control and energy management system of the battery or flow battery, for example, loss of SOC status information, loss of data communication to and from the battery, loss of battery management data files.
- [Cause 9]: Failure of the auxiliary systems of the battery or flow battery for example, breached access control, inoperative fire protection systems, remote site surveillance.

6.2.2.6 Environmental conditions degradation

- [Cause 10]: Environmental impacts on the battery or flow battery, for example, excessive wind loads, flooding of the BESS site, lightning strikes, ground movements, biological phenomena.

6.2.3 Environmental impacts upon disassembly and disposal of a failed battery

The disposal and disassembly of failed batteries or flow batteries of the BESS requires particular attention so as not to increase the likelihood that new or additional environmental damages occur.

All batteries contain hazardous materials that require special consideration when a failed battery or flow battery is dismantled and its components are readied for disposal or recycling.

Whereas batteries with cells of the C-B type have well established processes for safe dismantling, disposal and recycling operations, more recent cell designs such as, for example, the C-A type, currently lack such robust and proven methodologies.

It is therefore recommended that BESS operators keep abreast of the necessary methodologies governing battery dismantling, disposal and make them part of the on-site operating instructions. Local regulations can apply.

MSDSs and SDSs can provide pertinent guidance for such activities.

6.3 Reporting the assessment

Depending on the present or targeted location of the BESS, the assessment report is adjusted according to the local regulation(s) applicable in this matter.

An example of the assessment report is shown below in Table 2.

If the format, layout and data granularity required by the addressee of the assessment are not available, the assessment report shall provide:

- 1) the description of the battery or flow battery and type designation (C-A to C-Z);
- 2) the rated battery capacity expressed in ampere-hours and associated discharge duration in hours, i.e. watt hours of energy content;
- 3) the total weight of the installed cells of the battery or the total volume of electrolyte of the flow battery;
- 4) the name and address of the cell or flow battery manufacturer or supplier;
- 5) the address of the site where the BESS is to be or is installed;
- 6) the listing of individual proximate root causes in accordance with 6.2.1 as relevant, and resulting in the failure of the cell, battery, flow cell or flow battery at hand;
- 7) the description of the impact of the root cause on the cell, battery, flow cell or flow battery at hand and causing its failure;
- 8) the description of the identified negative impact on the environment caused by the failure of the cell, battery, flow cell or flow battery at hand;
- 9) any quantitative values, as available, of the damage levels useful for a subsequent environmental impact-mitigation planning;
- 10) any relevant MSDSs and SDSs relevant for the concerned battery system;
- 11) date, name and address of the assessment entity.

Table 2 – Excerpt of a possible assessment report describing failures of a specific battery and the resulting environmental impacts

Failure and environmental impact description				
Causes	Proximate root cause	Impact on cell-battery Flow cell Flow battery	Identified negative environmental impact	Quantitative levels of resulting damages (as available)
3a	Cell case weld failure	Leakage of electrolyte	Ground short arcing Fire Danger of electrocution when DC voltage > 30V	Release of 110 mg HF equivalent mass per damaged cell IDLH of HF: 30 ppm Combustion value: 16 MJ.kg ⁻¹ cell weight
5	Loss of BMS functionality	Exothermic event developing in the cell string within 48 h	Fire Toxic electrolyte pyrolysis vapours Fire extinguishing water contamination with referenced substances	Release of 110 mg HF equivalent mass per damaged cell IDLH of HF: 30 ppm Cell combustion value: 16 MJ.kg ⁻¹ cell weight Water soluble solids: LiPF ₆ 12 g/cell NaPO ₄ 4 g/cell LiPO ₄ 55 g/cell LiOH 2 g/cell

A thorough assessment of the environmental impact caused by the failure of the battery system can result in documents containing sensitive information. The concerned information shall be properly designated by the assessor and handled accordingly by the addressee as agreed.

Annex A (informative)

Summary of typical properties of commercially available electrochemical energy storage systems for BESS installations

The data presented in Table A.1 give an informative overview of key typical properties of mainstream batteries used in BESS installations. Other electrochemical systems or design variants exist that might be, less frequently, also used or planned in such installations.

The values presented are intended to give the planners and users of such systems a summarized and comparable view of aspects and features that can be relevant when they are reviewing the assessment of the environmental impacts of a failure of the electrochemical storage system, i.e. the battery or flow battery of the BESS.

These data are not intended to replace the relevant values the system integrator and battery manufacturer of the actual battery system will use for the actual battery in the concerned BESS installation.

The data presented are subjected to changes as battery technology and referred standards evolve.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

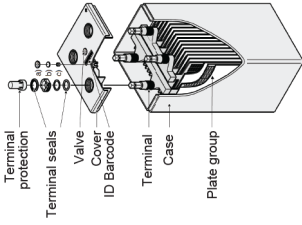
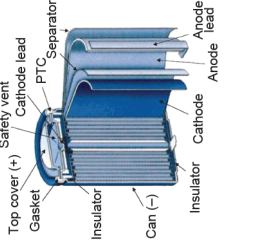
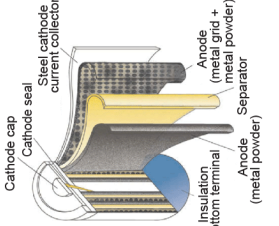
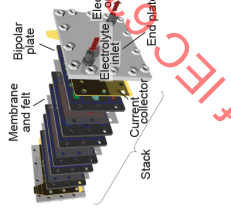
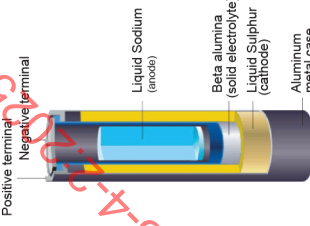
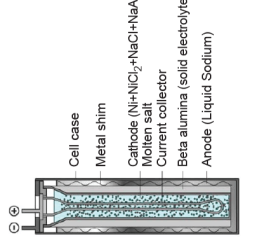
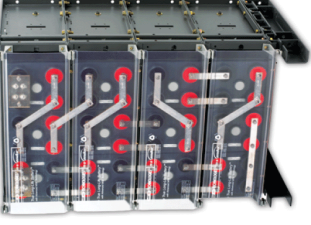
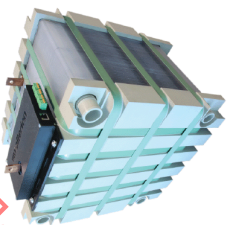
Table A.1 – Summary list of typical properties of commercially available electrochemical energy storage systems in BESS installations – Part 1

Property	Lead-acid	Lithium-ion	Nickel metal hydride	Redox flow	Sodium sulphur	Sodium nickel chloride
Type designation	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Electrochemical active species and reaction	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightleftharpoons 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Li}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2 + \text{Li}_x\text{C}_6 \rightleftharpoons \text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2 + \text{C}_6$ or $\text{Li}^+ + \text{FePO}_4 + \text{LiC}_6 \rightleftharpoons \text{LiFePO}_4 + \text{C}_6 + \text{Li}^+$	$2\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{M} \rightleftharpoons 2\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{M}$ (M=LaCeTiNi)	$\text{VO}_2^+ + \text{V}^{2+} + 2\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{VO}_2^{2+} + \text{V}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	$2\text{Na} + x\text{S} \rightleftharpoons \text{Na}_2\text{S}_x$	$2\text{NaCl} + \text{Ni} \rightleftharpoons 2\text{Na} + \text{NiCl}_2$
Secondary electrochemical reaction	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	None	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	None	None
Cell design for BESS application	Prismatic cells VRLA design	Cylindrical cells Spirally wound Prismatic cells Stacked or wound plates	Cylindrical cells Spirally wound	Prismatic bipolar flow cell stacks	Cylindrical cells	Prismatic cells
Nominal single cell voltage	2,0 V	LiMn_2O_4 3,8 V $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ 3,7 V LiFePO_4 3,2 V	1,2 V	1,00 V to 1,55 V	2,075 V	2,6 V
Typical BESS cell capacity	100 Ah to 1 500 Ah	3 Ah to 100 Ah	2 Ah to 12 Ah	Energy storage fluid volume dependent	≈ 725 Ah	≈ 38 Ah
Typical cell operating temperature in a BESS	25 °C to 40 °C	25 °C to 35 °C	25 °C to 40 °C	10 °C to 50 °C	300 °C to 360 °C	265 °C to 330 °C

Property	Lead-acid	Lithium-ion	Nickel metal hydride	Redox flow	Sodium sulphur	Sodium nickel chloride
Type designation	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Electrolyte and other ancillary components	H ₂ SO ₄ 40 % w/w in H ₂ O	Ethylene carbonate (EC) Dimethyl carbonate (DMC) Diethyl carbonate (DEC) LiClO ₄ LiPF ₆	KOH 28 % w/w in H ₂ O LiOH NaOH	Vanadium chlorides and sulfates in H ₂ O H ₂ SO ₄ 25 % w/w HCl 10 % w/w	β-Al ₂ O ₃ – solid Na – molten Sulfur – molten	β-Al ₂ O ₃ – solid NaAlCl ₄ – molten (catholyte)
Weight per Ah at 5 h rate of bare BESS type single cell	≈ 82 g.Ah ⁻¹	NMC/NCA ≈ 14 g.Ah ⁻¹ to ≈ 16 g.Ah ⁻¹ LFP ≈ 30 g.Ah ⁻¹	≈ 20 g.Ah ⁻¹	≈ 25 g to 40 g energy fluid per Ah	≈ 7,3 g.Ah ⁻¹	≈ 18 g.Ah ⁻¹
Electrolyte quantity per Ah and cell	≈ 15 g.Ah ⁻¹	≈ 2 g.Ah ⁻¹ to ≈ 5 g.Ah ⁻¹	≈ 3 g.Ah ⁻¹ ≈ 5 g.Ah ⁻¹	n.a.	≈ 0,76 g.Ah ⁻¹	≈ 3,2 g.Ah ⁻¹
Electrolyte status	Liquid absorbed Immobilized	Liquid absorbed Immobilized	Liquid absorbed Immobilized	Liquid	Solid	Solid
Flammable content	H ₂	Organic Electrolyte	H ₂	Carbon-plastic matrix	Na metal free elemental sulfur	Na metal
Current collector material	Pb and Pb alloy	Al and Cu	Ni-plated steel	Carbon felt Graphite felt Carbon-plastic composites	Al Carbon felt	Ni Carbon felt
Separator	AGM glass mat	PE – PP	PP – Polyamide	Ion exchange membrane	Integrated in solid electrolyte	Integrated in solid electrolyte

Property	Lead-acid	Lithium-ion	Nickel metal hydride	Redox flow	Sodium sulphur	Sodium nickel chloride
Type designation	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Gas emission in operation	H ₂	None	None H ₂ when excessive internal pressure	H ₂	None	None
Overpressure safety valve	Yes – resealable	Yes – Scored burst disc Pouch excluded	Yes – resealable	Yes – resealable	None	None
Internal operating pressure	< 200 hPa	< 200 hPa pouch < 30 000 hPa cylindrical	< 600 hPa	< 2 000 hPa	None	None
State-of-charge SoC detection method	I-V-time-ΣAh	V-time	V-time	Reference cell	ΣAh-voltage	ΣAh-OCV
Charge method	CC-CV	CC-CV	CC-CV	CC-CV	CP	CC-CV
Sensitivity toward overcharge and consequences	Yes H ₂ emission Thermal runaway	Yes Li plating Thermal runaway Electrolyte fire	Yes Cell overheating O ₂ emission Thermal runaway	Yes H ₂ emission CO ₂ emission	Yes Fracture of β-Al ₂ O ₃ electrolyte barrier	Yes when OCF > 1,5 cell overheating
Sensitivity toward overdischarge	Yes Internal shorts	Yes Internal shorts Thermal runaway Fire	Yes H ₂ emission Excessive internal pressure	Yes Irreversible cell degradation	Yes Fracture of β-Al ₂ O ₃ electrolyte barrier	Yes Irreversible cell degradation
Single cell or flow cell container material	ABS, PP, PVC, PSU	Ni-plated steel, Al, Pouch film	Ni-plated steel	PE, PP, PVC, EPDM	Al	Ni-plated steel
Case-to-cover seal	Glue seal Hot-plate seal	Crimp seal TiG weld Laser weld	Crimp seal	EPDM gasket PE/PP weld	TiG weld	Laser weld
Cell container and cover burning classification	HB(x) to V-0	Pouch film only HB(x) to V-0	n.a	n.a.	n.a.	n.a.

Property	Lead-acid	Lithium-ion	Nickel metal hydride	Redox flow	Sodium sulphur	Sodium nickel chloride
Type designation	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Flow cell burning classification	n.a.	n.a.	n.a.	HB(x) to V-0	n.a.	n.a.
Typical range of internal resistances in mΩ of a BESS type single cell or flow cell	0,1 mΩ to 1,0 mΩ	0,5 mΩ to 1,5 mΩ	20 mΩ to 100 mΩ	0,1 mΩ to 1,0 mΩ	≈ 1,5 mΩ	5,0 mΩ to 15,0 mΩ
Typical range of instantaneous short-circuit currents in A of a BESS type single cell or flow cell	2 000 A to 15 000 A	up to 5 000 A per cell	70 A	up to 5 000 A per cell	≈ 2 000 A	≈ 250 A per cell
Critical need for battery management system on cell or module level	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Critical need for thermal management	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Relevant cell or flow cell performance standard	IEC 60896-21 IEC 60896-22	IEC 62620	IEC 62675 IEC 63115-1	IEC 62932-1 IEC 62932-2-1	IEC 62984-1 IEC 62984-3	IEC 62984-1 IEC 62984-3
Relevant battery installation safety standard	IEC 62485-2 IEC 62485-3	IEC 62485-5 IEC 62619 IEC 63056	IEC 63115-2	IEC 62932-2	IEC 62984-2	IEC 62984-2
Relevant battery standards for BESS duty	IEC 61427-1 IEC 61427-2	IEC 61427-2	IEC 61427-1 IEC 61427-2	n.a.	n.a.	IEC 62933 series

Property	Lead-acid	Lithium-ion	Nickel metal hydride	Redox flow	Sodium sulphur	Sodium nickel chloride
Type designation	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Examples of a single cell design						
Examples of a module design						

Annex B

(informative)

Potential environmental impacts related to the type of battery in the BESS

B.1 General

Batteries and flow batteries contain reactive metals and materials which are, beside disruptive electric effects, the key factors and causes resulting in an impact on the environment when the cell, battery, flow cell or flow battery of the BESS fails.

Material safety data (MSDS) and safety data (SDS) sheets provided by the battery manufacturer can provide additional information about material used in the battery and related safety precautions to be taken.

IEC 62933-5-2 provides guidance for safety requirements for electrochemical-based energy storage systems.

The failure events described for cell types C-A to C-Z in Clause B.2 to Clause B.6 are of a generic nature.

More specific descriptions of the environmental impacts will result from compliance with the requirements in 6.2.

B.2 Cells with non-aqueous electrolyte – C-A type

The major impact from their failures would result from the release of toxic and flammable materials, liquids and gases, and the potential of fire and explosions arising from their combustion and deflagration.

Typical vented vapours and gases from these batteries can include carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), hydrogen (H₂), hydrogen fluoride (HF) and a number of different hydrocarbons compounds. Additional gases, aerosols, vapours and suspended particulate matter can be released, if a fire develops, from the batteries and other components and materials within the BESS.

B.3 Cells with aqueous electrolyte – C-B type

The major impact from their failures would result from leakages of electrolyte with associated corrosion of auxiliary battery components, potential ground short currents and arcing as well as exposures to aqueous solution of sulphuric acid (H₂SO₄) or potassium hydroxide (KOH).

Thermal runaway conditions can develop in VRLA-type lead acid cells due to internal shorts, excessive ambient temperatures or a failure in the battery charging system.

Cells can emit, under abnormal operating conditions, excessive quantities of hydrogen (H₂) which can overwhelm the planned ventilation capability of the installation and cause gas explosions.

B.4 Cells with solid electrolyte and operating at temperatures above 250 °C – C-C type

The major impact from their failures would result from a loss of their structural integrity and onset of secondary chemical reactions when the active mass comes in contact with air, humidity and liquid water.

Such impact can occur when the cells and the welded seals fail mechanically, for example, when being crushed by a collapse of the BESS or building structures. With cells in the Na-S version, exothermic chemical reactions, chemical fires and toxic and flammable gas such as hydrogen sulphide (H_2S), sulphur dioxide (SO_2) and hydrogen (H_2) evolution can occur when exposed sodium (Na), sulphur (S) or sodium polysulfides (NaS_x) react with air or water. Cells in the Na- NiCl_2 version contain sodium (Na) as the key reactive material which causes chemical fires and flammable hydrogen (H_2) in contact with air and water.

B.5 Cells with aqueous but recirculating electrolyte or flow cells – C-D type

The major impact from their failures would result from the loss of containment of large volumes of electrolyte and with active materials in solution.

Depending upon the particular flow battery technology used, these systems can also produce flammable hydrogen (H_2) and toxic gases such as chlorine (Cl_2) or bromine (Br_2) during abnormal events.

This battery type operates with large quantities ($>> 1 \text{ m}^3$) of corrosive, acid and toxic electrolytes whose composition depends upon the particular chemistry of the flow battery technology used. A leaking of these electrolytes can result in a massive release of them into the environment if the bunding and spill containment system is overwhelmed.

B.6 Cells with any other electrochemical couple, electrolyte and energy storage concept or combinations thereof – C-Z type

The mayor impact from their failure will depend on the particular combination of the used electrochemical couple, the electrolyte(s), cell designs and energy storage concepts and has to be evaluated on a case-by-case mode.

B.7 Environmental impacts upon disassembly and disposal of a failed battery

The disposal and disassembly of failed batteries or flow batteries of the BESS requires particular attention so as not to increase the likelihood that new or additional environmental damages occurs.

All batteries contain hazardous materials that require special consideration when a failed battery or flow battery is dismantled and its components are readied for disposal or recycling.

Whereas batteries with cells of the C-B type have well established processes for safe dismantling, disposal and recycling operations, more recent cell designs such as, for example, of the C-A type, lack such robust and proven methodologies.

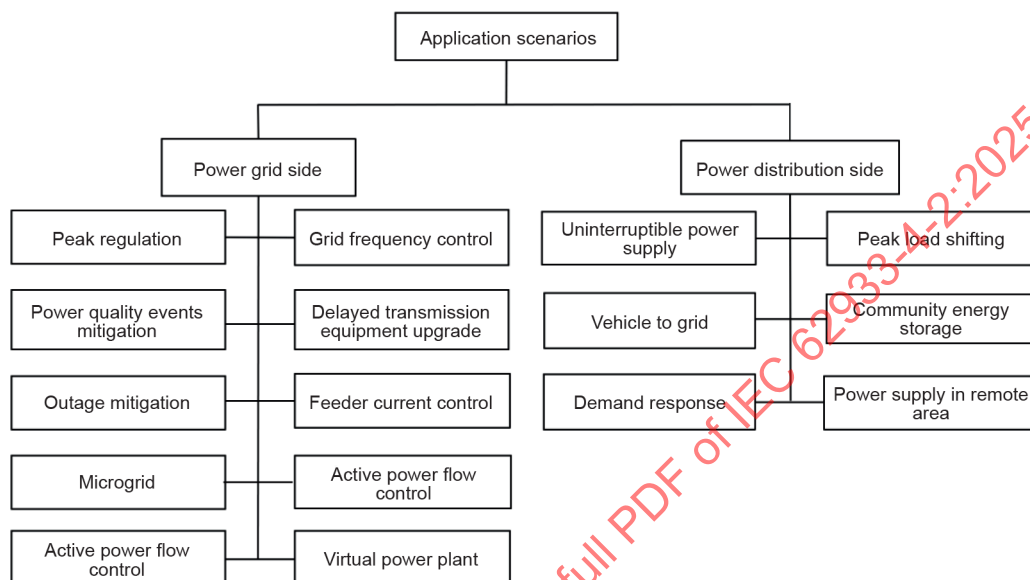
It is therefore recommended that BESS operators keep abreast of the needed methodologies governing battery dismantling, disposal and make them part of the on-site operating instructions. Local regulations can apply.

MSDSs and SDSs can provide pertinent guidance for such activities.

Annex C (informative)

Selected BESS application scenarios

BESS is becoming a vital part for energy management in power generation, distribution and consumption systems. Selected scenarios where BESSs are applied are shown in Figure C.1.



IEC

Figure C.1 – BESS application scenarios

Annex D (informative)

Description of batteries used in BESS

D.1 General

The key and system-relevant components of the involved cells, batteries, flow cells and flow batteries are described for cell type C-A to C-Z in Clause D.2 to Clause D.6 with an emphasis on outlining features which can govern the specific failure effects.

In Table A.1 of Annex A further typical properties of commercially available batteries for BESS installations are listed so as to provide a summarized and comparable view of aspects and features which can be relevant when the assessment of the impact of failures is evaluated. Selected BESS application scenarios are listed in Figure C.1 of Annex A.

These descriptions are for information only and will evolve as novel cell and flow cells designs, structures, materials, components and supervision concepts are implemented.

The entity carrying out the environmental impact assessment ensures that the involved cell, flow cell, battery and flow battery technology and design are well understood and documented and are taken into consideration when failure consequences are evaluated.

D.2 Cells with non-aqueous electrolyte – C-A type

The cells are characterized by the use of an electrolyte containing neither water nor other sources of reactive protons so as to avoid secondary and irreversible chemical reactions.

Lithium-ion cells are the key representatives of this type of electrochemical energy storage method. The lithium is present as mixed metallic oxide or metal phosphate, intercalated in graphite and as ions in the organic electrolyte formed typically of ethylene- and or dimethyl-carbonate.

The cells have a nominal voltage between 3,2 V and 3,8 V per cell and operate at room temperature. They are customarily designated according to their active material composition, for example as LFP, LTO, NCA and NMC cells.

The safe operation of the cells requires active state-of-charge (SOC) and state-of-health (SOH) monitoring and controlling with a battery management system (BMS).

The BMS is tasked, beside other functions such as data communication, with the prevention of unstable conditions in the cells which can lead to excessive internal temperatures, thermal runaways, electrolyte decomposition and venting.

Such venting can result in a fire within the battery and the BESS.

IEC 62485-5 and IEC 62619 provide for guidance for the safe installation and operation of such batteries.

D.3 Cells with aqueous electrolyte – C-B type

The cells are characterized by the use of an acid or alkaline aqueous electrolyte.

Lead-acid cells are used extensively in traditional energy storage installations. The lead is present as metallic lead and lead dioxide and with an electrolyte formed of an aqueous solution containing up to 40 % sulphuric acid.

The cells have a nominal voltage of 2 V and operate at room temperature. The predominant cell design is of the valve regulated lead acid (VRLA) type with immobilized electrolyte and an internal oxygen-gas recombination cycle.

The safe operation of the cells requires the removal of hydrogen emitted from the cells with ventilation and adequate safeguards against ground shorts and arc flashes.

IEC 62485-2 provides guidance for safe operation of installations with such batteries.

Nickel-metal hydride or NiMH cells are used in the form of intermediary assemblies of multiple cylindrical single cells or modules.

The active material is nickel-based and hydrogen, which is stored in an alloy containing rare earth metals. The electrolyte is an aqueous solution containing up to 30 % of potassium and lithium hydroxide.

The cells have a nominal voltage of 1,2 V and operate at room temperature. The predominant cell design is of the cylindrical, spirally wound type in steel cans and with immobilized electrolyte. The cells operate in a fully sealed condition and are equipped with a burst disc. No gas is emitted during normal operation.

The safe operation of these cells requires the adequate removal of heat generated during charge to prevent thermal runaway.

IEC 63115-2 provides guidance for safe operation of installations with such batteries.

D.4 Cells with solid electrolyte operating at temperatures above 250 °C – C-C type

These cells are characterized by the use of an electrolyte in the form of a ceramic body in sodium-ion conducting β -alumina that requires operation at elevated temperatures in order to achieve a low internal resistance.

Two cell designs are currently in energy storage service with one version based on a sodium-sulphur and the other one based on a sodium-nickel chloride electrochemical couple. The electrolyte is a ceramic body of sodium-ion conducting β -alumina.

Sodium sulphur cells are used as cylindrical cells connected in series and in parallel and assembled in heat-insulated containers with associated resistance heaters and controls.

The cells have a nominal voltage of 2,1 V, contain sodium and sodium polysulfide active masses and operate at temperatures between 300 °C and 360 °C.

The cells operate in fully sealed conditions with no emissions to the atmosphere.

The safe operation of these cells requires proper prevention of mechanical and thermal shocks so that the structural integrity of the ceramic electrolyte is not impaired.

IEC 62984-2 provides guidance for the safe operation of installations with such batteries.

Sodium-nickel chloride cells are another variant of high temperature cells using a sodium-ion conducting β -alumina electrolyte but operating at slightly lower temperatures of 265 °C to 330 °C.

The prismatic cells, with a nominal voltage of 2,6 V and with sodium and sodium aluminium chlorides and nickel and nickel chlorides active masses, are housed in heat-insulated containers with associated resistance heaters and controls.

The cells operate in a fully sealed condition with no emissions to the atmosphere.

The safe operation of these cells requires proper prevention of mechanical and thermal shocks so that the structural integrity of the ceramic electrolyte is not impaired.

IEC 62984-2 provides guidance for the safe operation of installations with such batteries.

D.5 Cells with aqueous but recirculating electrolyte or flow cells – C-D type

These cells are characterized by the use of very large volumes of fluids (greater than 1 m³) that recirculate, separated by membranes, through the anodic and cathodic compartments of the flow cells and the external storage tanks. These fluids act as electrolytes and also contain the dissolved electrochemically active substances.

The cells have a nominal voltage of up to 1,5 V with vanadium ions (V^{3+}/V^{5+}) at different valences currently the most commonly used electrochemically-active species.

The electrolyte is an aqueous solution of 25 % sulphuric or hydrochloric acid and operates at up to 50 °C.

During operation, hydrogen and harmful vapours and gases such as elemental bromine, chlorine and hydrochloric acid can be produced in the flow cell and carried into the head space of the respective electrolyte tanks.

The safe operation of these flow batteries requires proper prevention of electrolyte spillage caused by structural failures in the fluid circuits and controlled removal of hydrogen gas from the head space of the storage tanks.

IEC 62932-2 provides guidance for the safe operation of installations with such batteries.

D.6 Cells with any other electrochemical couple, electrolyte and energy storage concept or combinations thereof – C-Z type

In addition to the predominant battery types C-A to C-D used in BESS, novel electrochemical couples or combinations thereof can find entry into such BESS.

When such novel couples or combinations of battery types are used in a BESS, then the environmental impact assessment of the battery type(s) and ancillary energy storage devices present are expected to be carried out.

Bibliography

IEC 60050-192:2015, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 192: Dependability*

IEC 60050-482:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 482: Primary and secondary cells and batteries*

IEC 60050-904:2014, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 904: Environmental standardization for electrical and electronic products and systems*

IEC 60896-21:2004, *Stationary lead-acid batteries – Part 21: Valve regulated types – Methods of test*

IEC 60896-22:2004, *Stationary lead-acid batteries – Part 22: Valve regulated types – Requirements*

IEC 61427-1:2013, *Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test – Part 1: Photovoltaic off-grid application*

IEC 61427-2:2015, *Secondary cells and batteries for renewable energy storage – General requirements and methods of test – Part 2: On-grid applications*

IEC 62485-2:2010, *Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 2: Stationary batteries*

IEC 62485-3:2014, *Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 3: Traction batteries*

IEC 62485-5:2020, *Safety requirements for secondary batteries and battery installations – Part 5: Safe operation of stationary lithium ion batteries*

IEC 62619:2022, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for secondary lithium cells and batteries, for use in industrial applications*

IEC 62620:2014, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Secondary lithium cells and batteries for use in industrial applications*

IEC 62675:2014, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Sealed nickel-metal hydride prismatic rechargeable single cells*

IEC 62932-1:2020, *Flow battery energy systems for stationary applications – Part 1: Terminology and general aspects*

IEC 62932-2:2020, *Flow battery energy systems for stationary applications – Part 2-2: Safety requirements*

IEC 62932-2-1:2020, *Flow battery energy systems for stationary applications – Part 2-1: Performance general requirements and test methods*

IEC 62933 (all parts), *Electrical energy storage (EES) systems*

IEC 62933-1:2024, *Electrical energy storage (EES) systems – Part 1: Vocabulary*

IEC TS 62933-4-1:2017, *Electrical energy storage (EES) systems – Part 4-1: Guidance on environmental issues – General specification*

IEC 62933-5-2:2020, *Electrical energy storage (EES) systems – Part 5-2: Safety requirements for grid-integrated EES systems – Electrochemical-based systems*

IEC 62984-1:2020, *High-temperature secondary batteries – Part 1: General requirements*

IEC 62984-2:2020, *High-temperature secondary batteries – Part 2: Safety requirements and tests*

IEC 62984-3:2020, *High-temperature secondary batteries – Part 3: Sodium-based batteries – Performance requirements and tests*

IEC 63056:2020, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for secondary lithium cells and batteries for use in electrical energy storage systems*

IEC 63115-1:2020, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Sealed nickel-metal hydride cells and batteries for use in industrial applications – Part 1: Performance*

IEC 63115-2:2021, *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Sealed nickel-metal hydride cells and batteries for use in industrial applications – Part 2: Safety*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	32
1 Domaine d'application.....	34
2 Références normatives	34
3 Termes, définitions et abréviations.....	34
3.1 Termes et définitions	34
3.2 Abréviations.....	36
4 Généralités.....	36
5 Défaillance du système d'accumulation électrochimique d'un BESS entraînant des problèmes environnementaux	37
5.1 Généralités	37
5.2 Vue d'ensemble de la structure en sous-systèmes d'un BESS et de la zone de défaillance liée à la batterie	37
5.3 Classification des types de BESS	38
5.4 Défaillance de batteries dans le sous-système d'accumulation électrochimique d'un BESS	39
6 Lignes directrices pour l'évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de la batterie du sous-système d'accumulation électrochimique du BESS	39
6.1 Généralités	39
6.2 Causes premières des défaillances de batteries et de batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte qui ont un impact sur l'environnement.....	40
6.2.1 Généralités	40
6.2.2 Causes premières entraînant des défaillances de batteries et de batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte.....	41
6.2.3 Impacts environnementaux lors du démontage et de l'élimination d'une batterie défaillante	43
6.3 Rapport d'évaluation	44
Annexe A (informative) Récapitulatif des propriétés types des systèmes de stockage d'énergie électrochimique disponibles sur le marché pour les installations BESS	46
Annexe B (informative) Impacts environnementaux potentiels liés au type de batterie dans le BESS.....	53
B.1 Généralités	53
B.2 Éléments à électrolyte non aqueux – Type C-A	53
B.3 Éléments à électrolyte aqueux – Type C-B.....	53
B.4 Éléments à électrolyte solide fonctionnant à des températures supérieures à 250 °C – Type C-C	54
B.5 Éléments à recirculation d'électrolyte aqueux ou éléments d'accumulateurs à circulation d'électrolyte – Type C-D	54
B.6 Éléments présentant tout autre couple électrochimique, électrolyte et concept de stockage d'énergie ou combinaisons de ces critères – Type C-Z.....	54
B.7 Impacts environnementaux lors du démontage et de l'élimination d'une batterie défaillante	54
Annexe C (informative) Sélection de scénarios d'application de BESS	56
Annexe D (informative) Description des batteries utilisées dans un BESS	57
D.1 Généralités	57
D.2 Éléments à électrolyte non aqueux – Type C-A	57
D.3 Éléments à électrolyte aqueux – Type C-B.....	58
D.4 Éléments à électrolyte solide fonctionnant à des températures supérieures à 250 ° – Type C-C	58

D.5	Éléments à recirculation d'électrolyte aqueux ou éléments d'accumulateurs à circulation d'électrolyte – Type C-D	59
D.6	Éléments présentant tout autre couple électrochimique, électrolyte et concept de stockage d'énergie ou combinaisons de ces critères – Type C-Z.....	60
Bibliographie		61
Figure 1 – Exemple de structure d'un BESS		38
Figure 2 – Zones de défaillance du sous-système d'accumulation électrochimique relevant du domaine d'application du présent document (zones en gris).....		39
Figure 3 – Causes premières immédiates entraînant une défaillance de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans le BESS, et impacts environnementaux associés		41
Figure C.1 – Scénarios d'application de BESS.....		56
Tableau 1 – Classification des types de BESS.....		38
Tableau 2 – Extrait d'un rapport d'évaluation possible décrivant les défaillances d'une batterie spécifique et les impacts environnementaux engendrés		45
Tableau A.1 – Liste récapitulative des propriétés types des systèmes de stockage d'énergie électrochimique disponibles sur le marché pour les installations BESS – Partie 1		47

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (EES) –

**Partie 4-2: Recommandations relatives
aux problèmes environnementaux –
Évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance
de batterie dans un système de stockage d'énergie électrochimique**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de brevet revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62933-4-2 a été établie par le comité d'études 120 de l'IEC: Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES). Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
120/387/FDIS	120/403/RVD

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62933, publiées sous le titre général *Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES)*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

SYSTÈMES DE STOCKAGE DE L'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE (EES) –

Partie 4-2: Recommandations relatives aux problèmes environnementaux – Évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de batterie dans un système de stockage d'énergie électrochimique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62933 définit les exigences relatives à l'évaluation et à l'élaboration de rapports concernant l'impact négatif sur l'environnement de la défaillance d'un élément, d'un élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, d'une batterie ou d'une batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans le sous-système d'accumulation du système de stockage de l'énergie sur batterie (BESS).

Les batteries qui relèvent du présent domaine d'application et qui sont utilisées dans un BESS sont classées par type d'électrolyte: aqueux, non aqueux ou solide.

Les impacts environnementaux en lien direct avec la défaillance d'autres composants du BESS ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions 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 <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1.1

élément

unité fonctionnelle de base, consistant en un assemblage d'électrodes, d'électrolyte, de conteneur, de bornes et généralement de séparateurs, qui est une source d'énergie électrique obtenue par transformation directe d'énergie chimique

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-01, modifiée – La Note a été supprimée.]

3.1.2

élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte

élément d'accumulateur caractérisé par la séparation spatiale des électrodes et le mouvement des fluides de stockage d'énergie

[SOURCE: IEC 62932-1:2020, 3.1.14 modifiée – La Note a été supprimée.]

3.1.3

batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte

plusieurs éléments d'accumulateurs à circulation d'électrolyte raccordés électriquement, y compris tous les composants permettant une utilisation dans un système de stockage d'énergie électrochimique

3.1.4

batterie

un ou plusieurs éléments équipés des dispositifs nécessaires pour l'emploi, par exemple boîtier, bornes, marquage et dispositifs de protection

[SOURCE: IEC 60050-482:2004, 482-01-04]

3.1.5

système de batterie

assemblage de batteries ou de batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte montées sur des étagères ou dans des armoires, équipé des composants électriques, électromécaniques et de contrôle environnemental associés, et qui est opérationnel

3.1.6

système de gestion de batterie

BMS

système électronique associé à une batterie capable de contrôler le courant en cas de surcharge, de surintensité, de décharge excessive et de surchauffe et qui surveille et/ou gère son état, calcule les données secondaires, signale ces données et/ou contrôle son environnement afin d'influencer la sécurité, les performances et/ou la durée de vie en service de la batterie

Note 1 à l'article: L'abréviation "BMS" est dérivée du terme anglais développé correspondant "battery management system".

[SOURCE: IEC 62619:2022, 3.12 modifiée – Les Notes ont été supprimées.]

3.1.7

défaillance

perte de l'aptitude de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte à fonctionner de la manière exigée

Note 1 à l'article: Cette défaillance provoque une panne du sous-système d'accumulation et par voie de conséquence du BESS.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-01, modifiée – "d'une entité" a été remplacé par "de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte", "tel que requis" a été remplacé par "de la manière exigée", les notes ont été supprimées et une nouvelle Note 1 a été ajoutée.]

3.1.8

cause de défaillance

ensemble de circonstances qui entraîne une défaillance

Note 1 à l'article: La cause d'une défaillance peut trouver son origine pendant la spécification, la conception, la fabrication, le transport, l'installation, l'exploitation ou la maintenance d'une entité.

[SOURCE: IEC 60050-192:2015, 192-03-11]

3.1.9

environnement

milieux naturel et artificiel dans lesquels un système EES est installé, fonctionne et interagit, comprenant les bâtiments et les installations, l'air, l'eau, le sol, les ressources naturelles, la flore et la faune (y compris les êtres humains) de ces milieux

[SOURCE: IEC 60050-904:2014, 904-01-01, modifiée – élargissement du domaine d'application pour inclure les milieux artificiels, les interactions dynamiques, et les contextes spécifiques au système EES.]

3.1.10

intégrateur système

entité spécialisée dans la planification, la coordination, l'élaboration, la mise en œuvre et les essais des systèmes

3.1.11

fabricant

entité qui produit l'élément spécifié et qui détient le processus de fabrication dont celui-ci est issu

3.2 Abréviations

BESS (Battery Energy Storage System)	Système de stockage de l'énergie sur batterie
BMS (Battery Management System)	Système de gestion de batterie
EES (Electrical Energy Storage)	Stockage de l'énergie électrique
HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning)	Chauffage, ventilation et climatisation
LFP	Lithium-fer-phosphate
LTO (Lithium Titanium Oxide)	Oxyde de titanate de lithium
MSDS (Material Safety Data Sheet)	Fiche de données de sécurité des matériaux
NCA (Nickel Cobalt Aluminium oxide)	Oxyde de nickel-cobalt-aluminium
NMC (Nickel Manganese Cobalt oxide)	Oxyde de nickel-manganèse-cobalt
PCS (Power Conversion System)	Système de conversion de puissance
POC (Point Of Connection)	Point de connexion
SDS (Safety Data Sheet)	Fiche de données de sécurité
SOC (State Of Charge)	État de charge
SOH (State Of Health)	État de santé
VRLA (Valve Regulated Lead Acid)	Batterie étanche à soupapes

4 Généralités

L'impact environnemental d'une défaillance de batterie varie selon le type, la conception et les structures de la batterie. Le présent document fournit des recommandations et des exigences relatives à la méthode d'identification des impacts potentiels sur l'environnement en cas de défaillance de la batterie dans un système d'accumulation d'énergie électrochimique.

Il est considéré que le fonctionnement du BESS, y compris ses batteries et ses batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte, dans des conditions autorisées par les autorités locales, n'a aucun impact négatif sur l'environnement.

5 Défaillance du système d'accumulation électrochimique d'un BESS entraînant des problèmes environnementaux

5.1 Généralités

Une défaillance est définie dans le présent document comme une perte de l'aptitude de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte du sous-système d'accumulation électrochimique à fonctionner de la manière exigée. Cette défaillance provoque une panne du sous-système d'accumulation et peut par voie de conséquence également entraîner une défaillance du BESS avec d'éventuels problèmes environnementaux.

Dans le cadre du présent document, les causes à l'origine de telles défaillances sont prises en considération si la ou les défaillances ultérieures de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte du sous-système d'accumulation électrochimique nuisent à l'environnement immédiat du BESS.

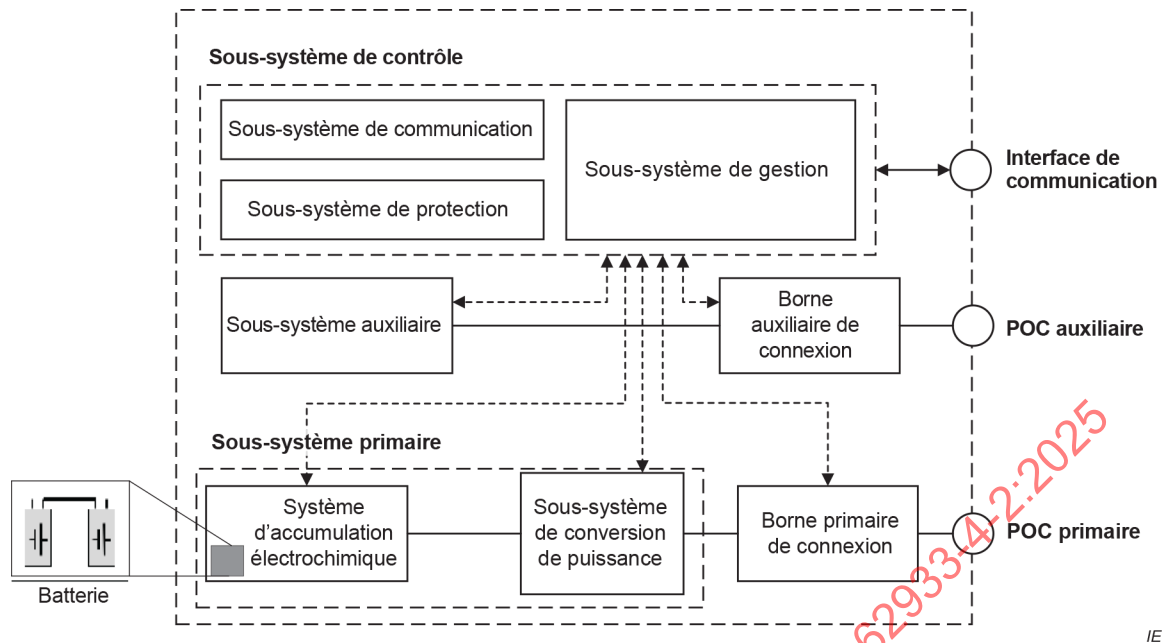
Les causes de défaillances à prendre en considération dans le présent document sont attribuables à:

- 1) des causes internes au sous-système d'accumulation électrochimique telles qu'une panne survenue par suite d'une faiblesse de matériaux ou d'un assemblage, ou de réactions chimiques ou électrochimiques divergentes; ou
- 2) des causes externes au sous-système d'accumulation électrochimique telles qu'une panne survenue par suite d'une défaillance d'un équipement auxiliaire, de conditions d'environnement défavorables ou de la perte de paramètres, données et fonctions essentiels, nécessaires à la sécurité de fonctionnement.

L'impact négatif direct sur l'environnement des défaillances des autres sous-systèmes du BESS n'est pas évalué dans le présent document.

5.2 Vue d'ensemble de la structure en sous-systèmes d'un BESS et de la zone de défaillance liée à la batterie

La Figure 1 représente l'architecture type organisée en sous-systèmes d'un BESS et met en évidence l'emplacement de la batterie.



NOTE L'emplacement du sous-système d'accumulation électrochimique et de sa batterie est mis en évidence par les zones en gris foncé.

Figure 1 – Exemple de structure d'un BESS

5.3 Classification des types de BESS

Dans le Tableau 1 et conformément à l'IEC 62933-5-2, les BESS sont classés en cinq types en fonction des caractéristiques spécifiques du système électrochimique de stockage installé, c'est-à-dire le type de batterie installé et son électrolyte.

Tableau 1 – Classification des types de BESS

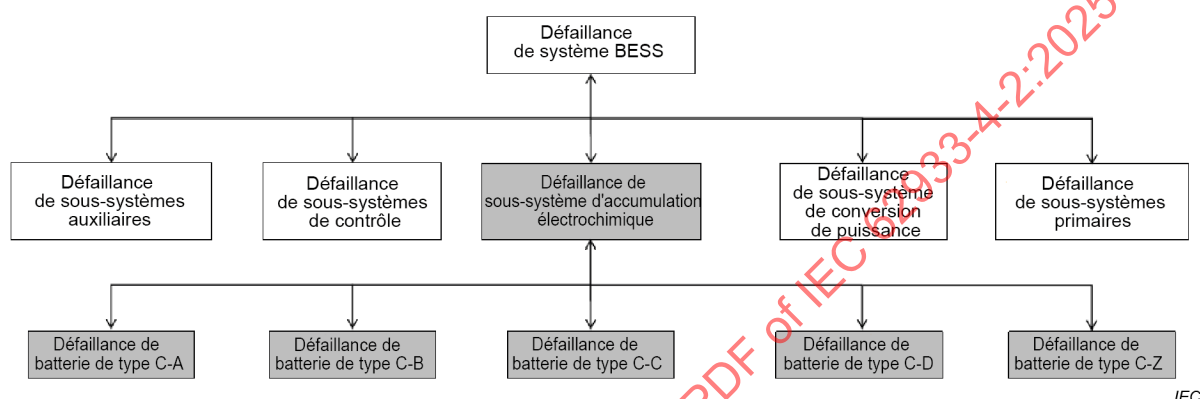
Désignation du type de BESS	Caractéristiques de conception distinctives
C-A	Élément à électrolyte non aqueux (par exemple, Li-ion)
C-B	Élément à électrolyte aqueux (par exemple, Pb acide, NiMH)
C-C	Élément à électrolyte solide fonctionnant au-dessus de 250 °C ou défini comme un élément HT (haute température) (par exemple, NaS, NaNiCl)
C-D	Élément à recirculation d'électrolyte aqueux ou défini comme un élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte (par exemple, V5+/V2+)
C-Z	Élément présentant tout autre couple électrochimique, électrolyte et concept de stockage d'énergie ou une combinaison de ces critères (par exemple, métal de lithium à électrolyte solide et supercondensateurs à double couche)

La classification des types de batteries utilisés dans un BESS et répertoriés dans le Tableau 1 est susceptible d'évoluer à mesure que les progrès technologiques en matière de batteries donnent lieu à des modifications au niveau de la conception des électrolytes et des éléments.

Les attributs de désignation du type de BESS, qui dépendent de la batterie installée et du contenu du document d'évaluation de l'impact environnemental, ont uniquement un caractère informatif. Ils ne dispensent pas l'intégrateur système et le fabricant de la batterie qui réalise l'évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de batterie conformément au présent document, de prendre en compte toutes les caractéristiques de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte du BESS étudié.

5.4 Défaillance de batteries dans le sous-système d'accumulation électrochimique d'un BESS

La Figure 2 met en évidence les zones de défaillance du sous-système d'accumulation électrochimique traité dans le présent document.



IEC

Figure 2 – Zones de défaillance du sous-système d'accumulation électrochimique relevant du domaine d'application du présent document (zones en gris)

6 Lignes directrices pour l'évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de la batterie du sous-système d'accumulation électrochimique du BESS

6.1 Généralités

Les batteries et les batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte sont des équipements qui contiennent des métaux et des produits chimiques réactifs, et constituent également des sources de flux ininterrompus d'énergie électrique. Ces composants et ces effets peuvent être rejetés dans l'environnement de manière non maîtrisée en cas de défaillance de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans le sous-système d'accumulation.

L'intégrateur système du BESS effectue donc, en collaboration avec le fournisseur du sous-système d'accumulation électrochimique, une évaluation systématique du moment où et de la manière dont l'usure, le vieillissement, la détérioration, l'endommagement, la non-conformité, les facteurs environnementaux, le ou les dysfonctionnements ou la ou les défaillances totales d'un composant du BESS entraînent des défaillances du sous-système d'accumulation électrochimique, qui ont un impact ultérieur sur l'environnement.

L'Annexe D fournit une vue d'ensemble des conceptions d'éléments pour réaliser une évaluation structurée des défaillances. L'Annexe B fournit également une vue d'ensemble des impacts environnementaux engendrés par suite d'une défaillance, par les matériaux de la batterie et de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de leurs réactions et des effets électriques perturbateurs connexes.

Le 6.2 fournit un ensemble structuré des causes premières de telles défaillances. Ces causes premières reflètent les nombreuses origines d'une défaillance de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans un BESS et s'appliquent aux conceptions de types C-A à C-Z, respectivement.

6.2 Causes premières des défaillances de batteries et de batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte qui ont un impact sur l'environnement

6.2.1 Généralités

Les causes internes et externes qui peuvent entraîner une défaillance de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte, et éventuellement avoir un impact sur l'environnement sont examinées et énumérées ci-dessous.

Les défaillances potentielles, qui résultent des causes premières représentées à la Figure 3, sont répertoriées ci-dessous de manière systématique.

- Dégradation des performances
 - inaptitude à fournir l'énergie assignée (cause 1)
 - inaptitude à recevoir l'énergie assignée (cause 2)
- Dégradation du système
 - défaillance de l'intégrité structurelle (cause 3)
 - défaillance de l'intégrité du système (cause 4)
- Dégradation des sous-systèmes
 - défaillance des composants accessoires (cause 5)
 - défaillance du sous-système de contrôle (cause 8)
 - défaillance du sous-système auxiliaire (cause 9)
- Entrées inattendues en provenance du POC/de l'interface
 - défaillance des contrôles environnementaux (cause 6)
 - défaillance de l'intégrité électrique (cause 7)
- Impacts environnementaux externes inattendus pour le système
 - impacts environnementaux (cause 10)

La Figure 3 représente une vue schématique des causes premières (immédiates) majeures qui entraînent des défaillances.

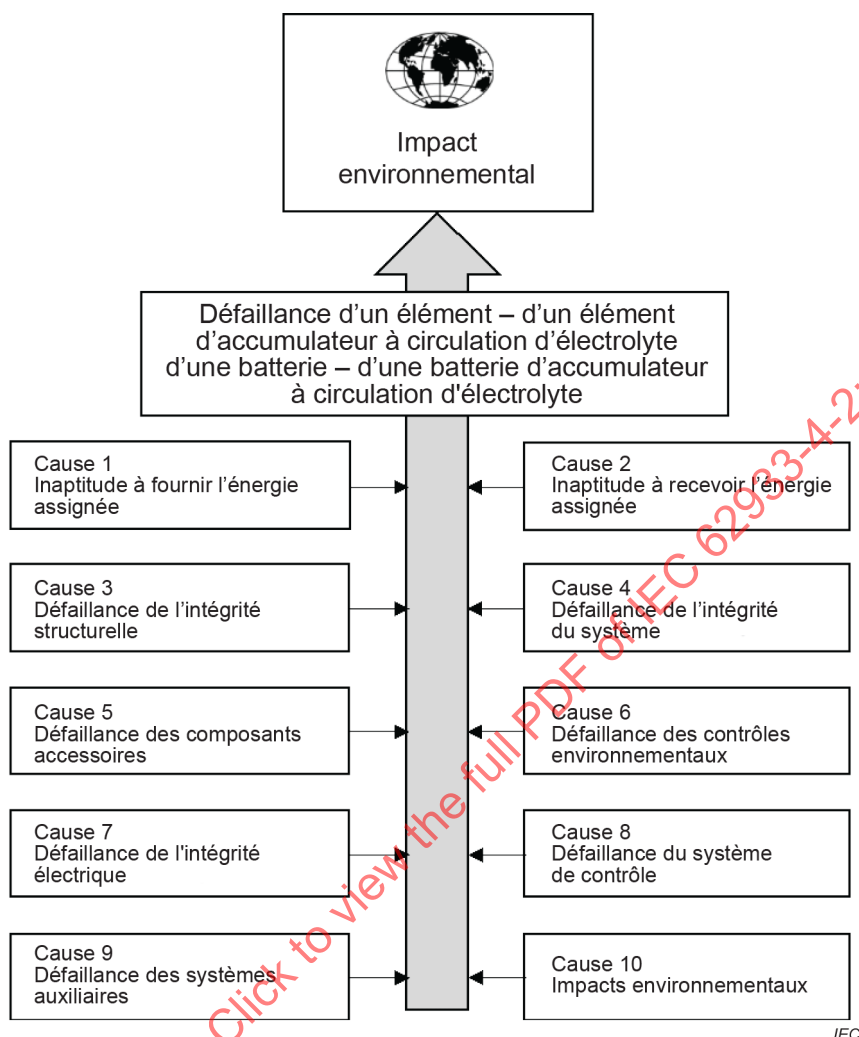


Figure 3 – Causes premières immédiates entraînant une défaillance de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans le BESS, et impacts environnementaux associés

6.2.2 Causes premières entraînant des défaillances de batteries et de batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte

6.2.2.1 Généralités

L'intégrateur système doit soumettre la batterie et sa configuration à une évaluation des défaillances et de leurs impacts environnementaux, en collaboration avec le fabricant de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte. Des réglementations locales peuvent s'appliquer et désigner une autre entité pour procéder à cette évaluation.

Cette évaluation doit être mise à la disposition des parties intéressées, telles que l'exploitant du BESS, les autorités compétentes pour l'octroi des licences, les agences de protection de l'environnement ou d'autres entités compétentes, sous un format et avec un niveau de détail adéquats, afin qu'elles engagent les mesures de suivi nécessaires. Des réglementations locales peuvent s'appliquer.

Le processus d'évaluation commence par la cause immédiate pertinente, à savoir la ou les causes premières immédiates, et décrit les impacts engendrés sur les éléments, l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, la batterie et la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte.

Ces impacts peuvent entraîner la défaillance de ces composants et par voie de conséquence une panne du BESS.

L'impact potentiel sur l'environnement des causes de défaillances de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte est évalué avec toute la diligence raisonnable, le cas échéant.

La diligence raisonnable se définit par le degré de soin auquel on doit raisonnablement s'attendre ou qui est exigé par la loi pour la tâche concernée.

Cette évaluation est effectuée par une description et une quantification détaillées et exhaustives des impacts et des modèles de dommages pour permettre au destinataire de pouvoir planifier et engager des mesures d'atténuation concrètes.

La planification des mesures de prévention des défaillances ou des activités d'atténuation des impacts environnementaux ne relève pas du domaine d'application du présent document, mais ses conséquences logiques méritent d'être prises en considération.

Les causes premières immédiates majeures de ces défaillances sont énumérées ci-dessous pour guider cette évaluation.

6.2.2.2 Dégradation des performances

- [Cause 1]: Détérioration de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte qui entraîne une inaptitude à fournir l'énergie assignée dans les conditions assignées de fonctionnement du BESS; par exemple, inactivation ou décomposition de la masse active, augmentation de la résistance interne, obstruction des circuits de fluide de stockage d'énergie.
- [Cause 2]: Détérioration de l'élément, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte qui entraîne une inaptitude à recevoir l'énergie assignée dans les conditions assignées de fonctionnement du BESS; par exemple, augmentation de la résistance interne, formation de couches barrières, rupture de l'électrolyte solide en céramique.

6.2.2.3 Dégradation du système

- [Cause 3]: Défaillance de l'intégrité structurelle:
 - [Cause 3a]: Défaillance de l'intégrité structurelle de l'élément ou de la batterie; par exemple, défaillance des soudures de l'élément entre le boîtier et le couvercle, rupture des barrières liquides ou gazeuses, corrosion des collecteurs de courant;
 - [Cause 3b]: Défaillance de l'intégrité structurelle de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple, rupture des circuits d'électrolyte, effondrement de l'assemblage d'éléments d'accumulateurs à circulation d'électrolyte, perte des contrôles de niveau de fluide, échappement de gaz perturbateurs dans l'espace de tête de la cuve d'électrolyte.
- [Cause 4]: Défaillance de l'intégrité du système de batterie; par exemple, effondrement des étagères ou des armoires, diminution de la tenue diélectrique des assemblages, absence d'entretien préventif et de réparations, échappement accidentel de liquide, de vapeur ou de gaz.

6.2.2.4 Dégradation des sous-systèmes

- [Cause 5]: Défaillance des composants accessoires du système de batterie; par exemple, BMS, soupapes de sécurité, moniteurs de gaz, pompes, indicateurs de niveau, appareils de chauffage.

6.2.2.5 Dégradation du système de contrôle

- [Cause 6]: Défaillance des contrôles environnementaux de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple perte des fonctions de chauffage, ventilation et climatisation (HVAC), blocage de l'échange d'air, perte de fluides de chauffage ou de refroidissement.
- [Cause 7]: Défaillance de l'intégrité électrique de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple, endommagement du câblage, dégradation des signaux de commande, dysfonctionnement des fusibles, fusibles grillés, claquage de l'isolation électrique.
- [Cause 8]: Défaillance du système de contrôle et de gestion de l'énergie de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple, perte d'informations sur l'état de charge, perte de communication des données en provenance et à destination de la batterie, perte de fichiers de données sur la gestion de la batterie.
- [Cause 9]: Défaillance des systèmes auxiliaires de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple, violation du contrôle d'accès, dysfonctionnement des systèmes de protection contre l'incendie, télésurveillance du site.

6.2.2.6 Dégradation des conditions d'environnement

- [Cause 10]: Impacts environnementaux sur la batterie ou la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte; par exemple, sollicitations dues au vent excessives, inondation du site du BESS, foudre, mouvements de terrain, phénomènes biologiques.

6.2.3 Impacts environnementaux lors du démontage et de l'élimination d'une batterie défaillante

L'élimination et le démontage des batteries ou des batteries d'accumulateurs à circulation d'électrolyte défaillantes du BESS exigent une attention particulière afin de ne pas accroître la probabilité que des dommages environnementaux nouveaux ou supplémentaires surviennent.

Toutes les batteries contiennent des matières dangereuses qui exigent une attention particulière lorsqu'une batterie ou une batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte défaillante est démantelée et que ses composants sont préparés en vue d'être éliminés ou recyclés.

Tandis que les batteries à éléments de type C-B bénéficient de processus bien établis pour assurer la sécurité des manœuvres de démantèlement, d'élimination et de recyclage, les conceptions d'éléments plus récentes comme le type C-A ne bénéficient pas encore de méthodologies aussi solides et éprouvées.

Il est donc recommandé aux exploitants de BESS de se tenir au fait des méthodologies nécessaires qui régissent le démantèlement et l'élimination des batteries, et de les intégrer dans les instructions de fonctionnement sur site. Des réglementations locales peuvent s'appliquer.

Les MSDS et les SDS peuvent fournir des recommandations pertinentes pour de telles activités.

6.3 Rapport d'évaluation

Selon l'emplacement actuel ou prévu du BESS, le rapport d'évaluation est adapté conformément à la ou aux réglementations locales en vigueur applicables.

Le Tableau 2 ci-dessous fournit un exemple de rapport d'évaluation.

Si le format, la présentation et le niveau de détail des données exigés par le destinataire de l'évaluation ne sont pas disponibles, le rapport d'évaluation doit fournir les informations suivantes:

- 1) la description de la batterie ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte et la désignation du type (C-A à C-Z);
- 2) la capacité assignée de la batterie exprimée en ampère-heures et la durée de décharge associée en heures, à savoir les wattheures de contenu énergétique;
- 3) le poids total des éléments installés dans la batterie ou le volume total d'électrolyte dans la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte;
- 4) le nom et l'adresse du fabricant ou fournisseur de l'élément ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte;
- 5) l'adresse du site où le BESS doit être installé ou est installé;
- 6) la liste des causes premières immédiates conformément à 6.2.1, le cas échéant, qui entraînent la défaillance de l'élément, de la batterie, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte étudié;
- 7) la description de l'impact qu'a la cause première sur l'élément, la batterie, l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte ou la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte étudié et qui entraîne leur défaillance;
- 8) la description de l'impact négatif identifié sur l'environnement de la défaillance de l'élément, de la batterie, de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte ou de la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte étudié;
- 9) toutes les valeurs quantitatives, le cas échéant, des niveaux de dommages utiles pour une planification ultérieure des mesures d'atténuation des impacts environnementaux;
- 10) toutes les MSDS et SDS pertinentes pour le système de batterie concerné;
- 11) la date, le nom et l'adresse de l'entité chargée de l'évaluation.

Tableau 2 – Extrait d'un rapport d'évaluation possible décrivant les défaillances d'une batterie spécifique et les impacts environnementaux engendrés

Description de la défaillance et de l'impact environnemental				
Causes	Cause première immédiate	Impact sur l'élément/la batterie/l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte/la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte	Impact négatif identifié sur l'environnement	Niveaux quantitatifs des dommages engendrés (le cas échéant)
3a	Défaillance des soudures de l'élément au niveau du boîtier	Fuite de l'électrolyte	Arcs électriques provoqués par les courants de fuite à la terre Incendie Danger d'électrocution lorsque la tension continue est > 30 V	Rejet d'une masse équivalente à 110 mg de HF par élément endommagé IDLH du HF: 30 ppm Valeur de combustion: 16 MJ.kg ⁻¹ poids de l'élément
5	Perte de fonctionnalité du BMS	Événement exothermique qui se répand dans la chaîne d'éléments sur une période 48 h	Incendie Vapeurs toxiques de pyrolyse d'électrolyte Contamination des eaux d'extinction d'incendie par les substances mentionnées	Rejet d'une masse équivalente à 110 mg de HF par élément endommagé IDLH du HF: 30 ppm Valeur de combustion de l'élément: 16 MJ.kg ⁻¹ poids de l'élément Solides solubles dans l'eau: LiPF ₆ 12 g/élément NaPO ₄ 4 g/élément LiPO ₄ 55 g/élément LiOH 2 g/élément

Une évaluation approfondie de l'impact environnemental d'une défaillance du système de batterie peut aboutir à l'élaboration de documents qui contiennent des informations sensibles. Les informations concernées doivent être correctement désignées par l'entité chargée de l'évaluation et traitées en conséquence par le destinataire, conformément à l'accord établi.

Annexe A (informative)

Récapitulatif des propriétés types des systèmes de stockage d'énergie électrochimique disponibles sur le marché pour les installations BESS

Les données du Tableau A.1 fournissent une vue d'ensemble à titre informatif des propriétés types majeures des batteries généralistes utilisées dans les installations BESS. Il existe d'autres systèmes électrochimiques ou variantes de conception qui peuvent également, mais moins fréquemment, être utilisés ou prévus dans de telles installations.

Les valeurs indiquées sont destinées à fournir aux planificateurs et aux utilisateurs de tels systèmes une vue d'ensemble synthétisée et comparable des aspects et des caractéristiques qui peuvent être pertinents lorsqu'ils examinent l'évaluation des impacts environnementaux d'une défaillance du système électrochimique de stockage, à savoir la batterie ou la batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte du BESS.

Ces données ne sont pas destinées à remplacer les valeurs pertinentes qu'utilisent l'intégrateur système et le fabricant de la batterie du système de batterie pour la batterie effectivement utilisée dans l'installation BESS concernée.

Les données fournies sont susceptibles de varier au fur et à mesure des progrès technologiques en matière de batteries et de l'évolution des normes de référence.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62933-4-2:2025

Tableau A.1 – Liste récapitulative des propriétés types des systèmes de stockage d'énergie électrochimique disponibles sur le marché pour les installations BESS – Partie 1

Propriété	Plomb-acide	Lithium-ion	Nickel-métal hydrure	Accumulateur à circulation d'électrolyte redox	Sodium-soufre	Sodium-chlorure de nickel
Désignation du type	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Espèces électrochimiquement actives et réaction	$\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ $\rightleftharpoons$ $2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Li}_{1-x}\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2 + \text{Li}_A\text{C}_6$ $\rightleftharpoons$ $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2 + \text{C}_6$ ou $\text{Li}^+ + \text{FePO}_4 + \text{LiC}_6$ $\rightleftharpoons$ $\text{LiFePO}_4 + \text{C}_6 + \text{Li}^+$	$2\text{NiOOH} + \text{H}_2\text{M}$ (M=LaCeTiNi) $\rightleftharpoons$ $2\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{M}$	$\text{VO}_2^+ + \text{V}^{2+} + 2\text{H}^+$ $\rightleftharpoons$ $\text{VO}^{2+} + \text{V}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$	$2\text{Na} + x\text{S}$ $\rightleftharpoons$ Na_2S_x	$2\text{NaCl} + \text{Ni}$ $\rightleftharpoons$ $2\text{Na} + \text{NiCl}_2$
Réaction électrochimique secondaire	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	Aucune	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	$2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$	Aucune	Aucune
Conception de l'élément destiné à être utilisé dans un BESS	Éléments parallélépipédiques Conception de type VRLA	Éléments cylindriques enroulés en spirale Éléments parallélépipédiques Plaques empilées ou enroulées	Éléments cylindriques enroulés en spirale	Empilages d'éléments d'accumulateurs à circulation d'électrolyte bipolaires parallélépipédiques	Éléments cylindriques	Éléments parallélépipédiques
Tension nominale de la cellule élémentaire	2,0 V	LiMn_2O_4 3,8 V $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$ 3,7 V LiFePO_4 3,2 V	1,2 V	1,00 V à 1,55 V	2 075 V	2,6 V
Capacité type d'un élément de BESS	100 Ah à 1 500 Ah	3 Ah à 100 Ah	2 Ah à 12 Ah	Stockage d'énergie en fonction du volume de fluide	$\approx$ 725 Ah	$\approx$ 38 Ah

Propriété	Plomb-acide	Lithium-ion	Nickel-métal hydrure	Accumulateur à circulation d'électrolyte redox	Sodium-soufre	Sodium-chlorure de nickel
Désignation du type	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Température de fonctionnement type d'un élément dans un BESS	25 °C à 40 °C	25 °C à 35 °C	25 °C à 40 °C	10 °C à 50 °C	300 °C à 360 °C	265 °C à 330 °C
Électrolyte et autres composants auxiliaires	H ₂ SO ₄ 40 % en fraction massique dans H ₂ O	Carbonate d'éthylène (EC) Carbonate de diméthyle (DMC) Carbonate de diéthyle (DEC) LiClO ₄ LiPF ₆	KOH 28 % en fraction massique dans H ₂ O LiOH NaOH	Chlorures et sulfates de vanadium dans H ₂ O H ₂ SO ₄ 25 % en fraction massique HCl 10 % en fraction massique	β-Al ₂ O ₃ – solide Na – fondu Soufre – fondu	β-Al ₂ O ₃ – solide NaAlCl ₄ – fondu (catholyte)
Poids par Ah à 5 h pour une cellule élémentaire de type BESS nue	≈ 82 g.Ah ⁻¹	NMC/NCA ≈ 14 g.Ah ⁻¹ à ≈ 16 g.Ah ⁻¹ LFP ≈ 30 g.Ah ⁻¹	≈ 20 g.Ah ⁻¹	≈ 25 g à 40 g de fluide énergétique par Ah	≈ 7,3 g.Ah ⁻¹	≈ 18 g.Ah ⁻¹
Quantité d'électrolyte par Ah et élément	≈ 15 g.Ah ⁻¹	≈ 2 g.Ah ⁻¹ à ≈ 5 g.Ah ⁻¹	≈ 3 g.Ah ⁻¹ ≈ 5 g.Ah ⁻¹	n.a.	≈ 0,76 g.Ah ⁻¹	≈ 3,2 g.Ah ⁻¹
État de l'électrolyte	Liquide absorbé Immobilisé	Liquide absorbé Immobilisé	Liquide absorbé Immobilisé	Liquide	Solide	Solide
Contenu inflammable	H ₂	Électrolyte organique	H ₂	Matrice carbone-plastique	Na métallique soufre élémentaire libre	Na métallique
Matériau du collecteur de courant	Pb et alliage de Pb	Al et Cu	Acier nickelé	Feutre de carbone Feutre de graphite Composites carbone-plastique	Al Feutre de carbone	Ni Feutre de carbone

Propriété	Plomb-acide	Lithium-ion	Nickel-métal hydrure	Accumulateur à circulation d'électrolyte redox	Sodium-soufre	Sodium-chlorure de nickel
Désignation du type	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Séparateur	Tapis de verre AGM	PE – PP	PP – Polyamide	Membrane échangeuse d'ions	Intégré dans un électrolyte solide	Intégré dans un électrolyte solide
Émission de gaz en fonctionnement	H ₂	Aucune	Aucune H ₂ en cas de pression interne excessive	H ₂	Aucune	Aucune
Soupape de sécurité contre les surpressions	Oui – refermable	Oui – Disque de rupture rayé Sauf poches	Oui – refermable	Oui – refermable	Aucune	Aucune
Pression de fonctionnement interne	< 200 hPa	< 200 hPa poche < 30 000 hPa cylindrique	< 600 hPa	< 2 000 hPa	Aucune	Aucune
Méthode de détection de l'état de charge (SoC)	I-V-temps-ΣAh	V-temps	V-temps	Élément de référence	ΣAh-tension	ΣAh-OCV
Méthode de charge	CC-CV	CC-CV	CC-CV	CC-CV	CP	CC-CV
Sensibilité à la surcharge et conséquences	Oui Émission de H ₂ Emballement thermique	Oui Placage Li Emballement thermique Combustion de l'électrolyte	Oui Surchauffe d'élément Émission d'O ₂ Emballement thermique	Oui Émission de H ₂ Émission de CO ₂	Oui Rupture de la barrière d'électrolyte β-Al ₂ O ₃	Oui lorsque OCF > 1,5 surchauffe de l'élément
Sensibilité à la décharge excessive	Oui Courts-circuits internes	Oui Courts-circuits internes Emballement thermique Incendie	Oui Émission de H ₂ Pression interne excessive	Oui Dégradation irréversible de l'élément	Oui Rupture de la barrière d'électrolyte β-Al ₂ O ₃	Oui Dégradation irréversible de l'élément

Propriété	Plomb-acide	Lithium-ion	Nickel-métal hydrure	Accumulateur à circulation d'électrolyte redox	Sodium-soufre	Sodium-chlorure de nickel
Désignation du type	C-B	C-A	C-B	C-D	C-C	C-C
Matériau du conteneur de la cellule élémentaire ou de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte	ABS, PP, PVC, PSU	Acier nickelé, Al, film de type poche	Acier nickelé	PE, PP, PVC, EPDM	Al	Acier nickelé
Joint entre le boîtier et le couvercle	Joint collé Joint de type plaque chauffante	Joint à sertir Soudure TiG Soudure au laser	Joint à sertir	Joint d'étanchéité EPDM Soudure PE/PP	Soudure TiG	Soudure au laser
Classification selon la combustion du conteneur d'élément et du couvercle	HB(x) à V-0	Film de type poche uniquement HB(x) à V-0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Classification selon la combustion de l'élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte	n.a.	n.a.	n.a.	HB(x) à V-0	n.a.	n.a.
Plage type des résistances internes en mΩ d'une cellule élémentaire ou d'un élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte de type BESS	0,1 mΩ à 1,0 mΩ	0,5 mΩ à 1,5 mΩ	20 mΩ à 100 mΩ	0,1 mΩ à 1,0 mΩ	≈ 1,5 mΩ	5,0 mΩ à 15,0 mΩ