

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fluids for electrotechnical application – Specification of gases alternative to SF₆ to be used in electrical power equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Spécifications des gaz alternatifs au SF₆ destinés à être utilisés dans les matériels électriques

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025



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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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

Fluids for electrotechnical application – Specification of gases alternative to SF₆ to be used in electrical power equipment

Fluides pour applications électrotechniques – Spécifications des gaz alternatifs au SF₆ destinés à être utilisés dans les matériels électriques

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.040.20

ISBN 978-2-8327-0161-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviated terms	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Abbreviated terms.....	9
4 Requirements for gases.....	9
4.1 General.....	9
4.2 Compressed air	10
4.3 Technical grade synthetic air	10
4.4 Technical grade natural-origin gases	10
4.5 Technical grade C ₅ F ₁₀ O (C5-FK).....	11
4.6 Technical grade C ₄ F ₇ N (C4-FN).....	12
5 Mixing ratio and tolerances.....	12
6 Handling, storage and transportation	13
6.1 Gas handling procedures	13
6.2 Storage and transportation.....	13
7 Environmental impact	13
Annex A (informative) Environmental, health, and safety effects of gases	14
A.1 General.....	14
A.2 Physical hazards.....	14
A.3 Hazard to human health.....	14
A.4 Environmental hazard	15
A.5 Ozone depletion.....	16
A.6 Global warming/climate change (greenhouse effect)	16
A.7 Reducing the environmental impact of the use of gases in electrical power equipment	17
Annex B (informative) On-site detection techniques	18
Annex C (informative) Mole fraction (% mol) versus volume fraction (% vol)	22
C.1 General.....	22
C.2 Definitions of the fractions and compressibility factor	22
C.2.1 Mole fraction (x).....	22
C.2.2 Volume fraction (Φ_i).....	22
C.2.3 Mass fraction (w)	23
C.2.4 Compressibility factor (Z).....	23
C.2.5 Names and symbols	24
C.3 Examples % mol vs % vol for C4-FN / O ₂ / CO ₂ mixtures	24
C.3.1 General	24
C.3.2 Variation with pressure	25
C.3.3 Variation with temperature	25
Bibliography.....	27

Figure C.1 – Shift between mole and volume fractions with pressure for two mixtures containing 5 % mol and 3,5 % mol C4-FN, 13 % mol O₂ and the rest in CO₂ (20 °C)..... 25

Figure C.2 – Shift between mole and volume fractions with temperature for two mixtures containing 5 % mol and 3,5 % mol C₄-FN, 13 % mol O₂ and the rest in CO₂ (101,3 kPa)..... 26

Table 1 – Requirements for compressed air for electrical power equipment	10
Table 2 – Requirements for technical grade synthetic air	10
Table 3 – Requirements for technical grade nitrogen	11
Table 4 – Requirements for technical grade oxygen	11
Table 5 – Requirements for technical grade carbon dioxide	11
Table 6 – Requirements for technical grade C ₅ -FK	12
Table 7 – Requirements for technical grade C ₄ -FN	12
Table A.1 – Global warming potential (GWP) of components of the gases according to IPCC AR6 [12] or [13]	17
Table B.1 – Detection techniques for the analysis of synthetic air	18
Table B.2 – Detection techniques for the analysis of compressed air	19
Table B.3 – Detection techniques for the analysis of natural-origin gases mixtures	20
Table B.4 – Detection techniques for the analysis of C ₅ -FK mixtures	20
Table B.5 – Detection techniques for the analysis of C ₄ -FN mixtures	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATION – SPECIFICATION OF GASES ALTERNATIVE TO SF₆ TO BE USED IN ELECTRICAL POWER EQUIPMENT

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 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 63360 has been prepared IEC technical committee 10: Fluids for electrotechnical applications. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
10/1219/FDIS	10/1257/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.

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 63360:2025

INTRODUCTION

Considering the limited information for some of the data which appear in informative Annex A, the reader should be aware that the information related with possible gases alternative to SF₆ are still a matter of study.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

FLUIDS FOR ELECTROTECHNICAL APPLICATION – SPECIFICATION OF GASES ALTERNATIVE TO SF₆ TO BE USED IN ELECTRICAL POWER EQUIPMENT

1 Scope

This document specifies the quality of gases alternative to SF₆ (subsequently referred to as gases) for use in electrical power equipment.

Detection techniques, applicable to the analysis of gases prior to their introduction into the electrical power equipment, are also described in this document.

Information about gases by-products and the procedure for evaluating the potential effects of gases and its by-products on human health are covered by IEC 63359 [1] and IEC 62271-4.

It is the responsibility of the gas manufacturer to make available sufficient information for safe handling of gases and a risk assessment.

For gases not mentioned in this document, the electrical power equipment manufacturer and/or gas manufacturer provides the information indicated in this document. It is the intention of this document to include such gases in a next edition or in amendments to this edition. This document provides information to prepare risk assessment associated with the use of gases. It is the responsibility of the user of this document to establish appropriate health and safety practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

NOTE 1 Throughout this document, the term "pressure" stands for "absolute pressure".

NOTE 2 If not otherwise specified in this document, concentration values (e.g. %, ppmv, µl/l) of gas components or contaminants are given in volume fraction at 20 °C and 100 kPa. More information on temperature and pressure dependence of mole fraction and volume fraction is given in Annex C.

NOTE 3 If gases for electrical power equipment are regulated, their designation and regulation origin can be found in the IEC 62474 database [2] (available at <https://std.iec.ch/iec62474> [viewed 2024-02-19]).

NOTE 4 Handling of gases is covered by IEC 62271-4:2022.

NOTE 5 Additional information is needed from gas manufacturer and/or electrical power equipment manufacturer to perform a full risk assessment.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-212, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 212: Electrical insulating solids, liquids and gases* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60050-441, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 441: Switchgear, controlgear and fuses* (available at <http://www.electropedia.org>)

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

IEC 60050-826, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 826: Electrical installations* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 62271-4:2022, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 4: Handling procedures for gases for insulation and/or switching*

3 Terms, definitions and abbreviated terms

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-212, IEC 60050-441, IEC 60050-826 and the following 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 Terms and definitions

3.1.1

electrical power equipment

any high-voltage or medium-voltage equipment containing gas for insulation and/or switching, e.g. switchgear and controlgear, gas-insulated lines, transformers, instrument transformers, etc.

3.1.2

single gas

gas made up of identical atoms or molecules

Note 1 to entry: A single gas could contain contaminants.

EXAMPLE CO₂ (at standard atmospheric conditions) is a typical example of a single gas.

3.1.3

gas mixture

gas made up of a minimum of two single gases

Note 1 to entry: A gas mixture could contain contaminants.

EXAMPLE CO₂/O₂ (at standard atmospheric conditions) is a typical example of a gas mixture of two single gases.

3.1.4

contaminant

foreign substance or material in an insulating liquid, gas or solid

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-27, modified – "which usually has deleterious effect on one or more properties" has been deleted.]

3.1.5

by-product

contaminant which is formed by the degradation of the gas by electrical arcs, corona effect or sparks, or formed by chemical reaction with other substances or materials

[SOURCE: IEC 62271-4:2022, 3.1.6]

3.1.6**gas container**

vessel (cylinder) suitable for the containment of pressurized gases either in gaseous or liquid phase, according to local and/or international safety and transportation regulations

[SOURCE: IEC 60480:2019 [3], 3.2, modified – "gas" has been added to the term.]

3.1.7**compressed air**

air suitable for electrical power equipment processed in accordance with Table 1

3.1.8**technical grade natural-origin gas**

technical grade nitrogen (N₂), technical grade oxygen (O₂) or technical grade carbon dioxide (CO₂) or their mixtures in any combination

3.1.9**technical grade nitrogen**

nitrogen (N₂) for electrical power equipment in accordance with Table 3

3.1.10**technical grade oxygen**

oxygen (O₂) for electrical power equipment in accordance with Table 4

3.1.11**technical grade carbon dioxide**

carbon dioxide (CO₂) for electrical power equipment in accordance with Table 5

3.1.12**technical grade synthetic air**

gas mixture for electrical power equipment in accordance with Table 2

Note 1 to entry: Technical grade synthetic air is a fixed gas mixture of technical grade natural-origin gases.

3.1.13**technical grade C5-FK**

C5-FK for electrical power equipment in accordance with Table 6

3.1.14**technical grade C4-FN**

C4-FN for electrical power equipment in accordance with Table 7

3.2 Abbreviated terms

ppmv parts per million by volume

ppmw parts per million by weight

4 Requirements for gases**4.1 General**

The technical specifications enclosed are based on achieving required technical performance with commercially available gases. Therefore, the level of impurity can vary for different gases.

The accuracy of the measuring devices/methods shall be considered when checking the quality of the gas.

NOTE Detection techniques applicable for on-site verification of concentrations and acceptable level of impurities are given in Annex B.

4.2 Compressed air

Compressed air shall fulfil the requirements given in Table 1.

The responsibilities of the manufacturer lie with the party compressing the air for use in electrical power equipment.

NOTE Table 1 is necessary to define requirements for compressed air for use in electrical power equipment because not all ambient air, when compressed, is suitable for this application.

Table 1 – Requirements for compressed air for electrical power equipment

Substance	Concentration/size
N ₂	77 % to 80,5 %
O ₂	19,5 % to 22 %
Ar	≤ 1 %
CO ₂	≤ 5 000 ^a µl/l (ppmv)
H ₂ O	≤ 450 ^b µl/l (ppmv)
Other gases	≤ 100 µl/l (ppmv)
Mineral oil	< 10 mg/kg (ppmw)
Solid particles	≤ 1 µm ^c
The substance concentrations sum to 100 %.	
^a The CO ₂ level corresponds to the maximum average workplace concentration and has a negligible impact on dielectric performance. ^b This value is equivalent to –28 °C frost point at 100 kPa and can be reduced with the use of drying agent. ^c This value can be achieved using a compressor equipped with suitable particle filters.	

4.3 Technical grade synthetic air

Technical grade synthetic air shall fulfil the requirements given in Table 2.

Table 2 – Requirements for technical grade synthetic air

Substance	Concentration
O ₂	20 % ± 2 %
N ₂	80 % ± 2 %
Other gases	≤ 0,4 %
H ₂ O	≤ 200 ^a µl/l (ppmv)
The substance concentrations sum to 100 %.	
^a This value is equivalent to –36 °C frost point at 100 kPa.	

4.4 Technical grade natural-origin gases

Technical grade natural-origin gases (nitrogen (N₂), oxygen (O₂)) and carbon dioxide (CO₂) or any mixture of them shall fulfil the requirements given in Table 3, Table 4 and Table 5.

Table 3 – Requirements for technical grade nitrogen

Substance	Concentration
N ₂	≥ 99,7 %
Other gases ^a	≤ 0,3 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
^a Typically, the main other gas is O ₂ .	
^b This value is equivalent to –36 °C frost point at 100 kPa.	

Table 4 – Requirements for technical grade oxygen

Substance	Concentration
O ₂	≥ 99,5 %
Other gases ^a	≤ 0,5 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
^a Typically, the main other gas is N ₂ .	
^b This value is equivalent to –36 °C frost point at 100 kPa.	

Table 5 – Requirements for technical grade carbon dioxide

Substance	Concentration
CO ₂	≥ 99,5 %
Other gases ^a	≤ 0,5 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
NOTE The kind and quantities of specific contaminants depend on the production process.	
^a Typically, the main other gases are N ₂ and O ₂ .	
^b This value is equivalent to –36 °C frost point at 100 kPa.	

4.5 Technical grade C₅F₁₀O (C5-FK)

Technical grade C₅F₁₀O shall fulfil the requirements given in Table 6.

Technical grade C₅F₁₀O is usually used in a mixture with one or more technical grade carrier gases (N₂, CO₂ and/or O₂).

NOTE 1,1,1,3,4,4,4-heptafluoro-3-(trifluoromethyl)-2-butanone, also described as CF₃-C(O)-CF-(CF₃)₂ or C₅F₁₀O is a Fluoroketone. For easier naming, reference and identification, it is also named C5-FK (FK = Fluoroketone). There are other molecules with the same formula (C₅F₁₀O) which do not have the same spatial structure.

Table 6 – Requirements for technical grade C5-FK

Substance	Concentration
$\text{CF}_3\text{-C(O)-CF-(CF}_3)_2$	$\geq 99,5 \%$
Other gases ^a	$\leq 0,5 \%$
H_2O	$\leq 270^b \mu\text{l/l (ppmv)}$
NOTE The kind and quantities of specific contaminants depend on the production process.	
^a Typically, another gas is 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane.	
^b This value is equivalent to -33°C frost point at 100 kPa.	

4.6 Technical grade $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$ (C4-FN)

Technical grade $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$ shall fulfil the requirements given in Table 7.

Technical grade $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$ is usually used in a mixture with one or more technical grade carrier gases (N_2 , CO_2 and/or O_2).

NOTE 2,3,3,3-tetrafluoro-2-(trifluoromethyl)-propanenitrile, also described as $(\text{CF}_3)_2\text{CFCN}$ or $\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$, is a Fluoronitrile. For easier naming, reference and identification, it is also named C4-FN (FN = Fluoronitrile). There are other molecules with the same formula ($\text{C}_4\text{F}_7\text{N}$) which do not have the same spatial structure.

Table 7 – Requirements for technical grade C4-FN

Substance	Concentration
$(\text{CF}_3)_2\text{-CF-CN}$	$\geq 99,3 \%$
Other gases ^a	$\leq 0,7 \%$
H_2O	$\leq 270^b \mu\text{l/l (ppmv)}$
NOTE The kind and quantities of specific contaminants depend on the production process.	
^a Typically, another gas is 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane and/or $\text{CF}_3\text{-CF}_2\text{-CF}_2\text{-CN}$.	
^b This value is equivalent to -33°C frost point at 100 kPa.	

5 Mixing ratio and tolerances

Except for technical grade synthetic air and compressed air, additional information on the accuracy of the concentration of each component of the gas mixture is required. The tolerance of mixing ratio is specified by the electrical power equipment manufacturer. For gas mixtures used in electrical power equipment, the required concentration of each component of the mixture is based on:

- the minimum temperature, to avoid partial liquefaction,
- physical and chemical properties,
- the dielectric, thermal and/or switching performances.

The absolute tolerance on high concentrations can be larger than for low concentrations, which results in an impact of the mixing ratio in the achievable accuracy. In addition, for practical reasons, the achievable accuracy of the gas mixing equipment and of the gas analyser shall be considered, to avoid requirements which cannot be fulfilled with state-of-the-art equipment.

6 Handling, storage and transportation

6.1 Gas handling procedures

The need to handle gases in accordance with the present document arises when:

- the gas container is connected to the filling device,
- the gas or gases are introduced into electrical power equipment or a gas container,
- the gas pressure is topped-up in closed pressure systems,
- the gas is drawn from an electrical power equipment or a gas container for analysis.

Further information concerning handling procedures for gas and gas mixtures is provided in IEC 62271-4.

6.2 Storage and transportation

Information concerning gas storage and transportation is provided in IEC 62271-4.

7 Environmental impact

Gases can have an environmental impact. Gases other than compressed air and natural-origin gases shall be handled carefully to prevent release into the atmosphere.

More detailed information concerning environmental impact is reported in Annex A.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

Annex A (informative)

Environmental, health, and safety effects of gases

A.1 General

Components of the gases could be non-intentionally released to the atmosphere during operation (normal leakage, abnormal leakage or sudden release), maintenance and end of life. For environmental issues, health and safety, major aspects to consider are described in Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) [4] part 3 and part 4. The main information is in Section 11 (Toxicological information) and Section 12 (ecological information) of each safety data sheets (SDS) of gases and is described in ISO 11014:2009, Annex A [5]. Additionally, physical hazards are also mentioned.

NOTE Environmental effects of SF₆ and its mixtures are detailed in IEC 60376:2018, Annex B [6].

A.2 Physical hazards

This clause provides a concise but complete description of the different kinds of physical hazards. Typical physical hazards to be considered when using a gas in electrical power equipment are:

- explosion;
- corrosion;
- fire. This hazard can result from high surface temperature of electrical power equipment or sparks during operation, maintenance, or flames during operation, maintenance, or failure;
- gases under pressure. This hazard is considered in IEC 62271-1 [7] or IEC TS 62271-5:—², Clause 12 [8], in relevant applications (e.g. IEC 62271-200 [9] or IEC 62271-203 [10]) and local regulations.

A.3 Hazard to human health

Hazard to human health is described in Section 11 of the SDS from the gas manufacturer and provides a concise but complete description of the various considered toxicological (health) effects, and where to find the available data used to identify those effects. The relevant hazards to be considered are:

- a) acute toxicity that describes serious adverse health effects (i.e. lethality) of a substance occurring after a single exposure or from multiple exposures in a short period of time;
- b) skin corrosion/irritation which refers to the production of irreversible/reversible damage to the skin occurring after exposure to a substance or mixture;

NOTE 1 "Skin corrosion" is synonymous with "skin burning".

- c) serious eye damage which refers to the production of tissue damage in the eye, or serious physical decay of vision, which is not fully reversible, following the exposure of the eye to a substance or mixture. Eye irritation refers to the production of changes in the eye, which are fully reversible, following the exposure of the eye to a substance or mixture;

² Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/BPUB TS 62271-5:2024.

d) respiratory or skin sensitization.

Respiratory sensitization refers to hypersensitivity of the airways following inhalation of a substance or a mixture.

Skin sensitization refers to an allergic response following skin contact with a substance or a mixture;

- e) germ cell mutagenicity which refers to heritable gene mutations, including heritable structural and numerical chromosome aberrations in germ cells following the exposure to a substance or mixture;
- f) carcinogenicity which refers to the induction of cancer or an increase in the incidence of cancer following the exposure to a substance or mixture. Substances and mixtures which have induced benign and malignant tumours in well performed experimental studies on animals are considered also to be presumed or suspected human carcinogens unless there is strong evidence that the mechanism of tumour formation is not relevant for humans;
- g) reproductive toxicity which refers to adverse effects on sexual function and fertility in adult males and females, as well as developmental toxicity in the offspring, following exposure to a substance or mixture;
- h) STOT (specific target organ toxicity) single exposure which refers to specific, non-lethal toxic effects on target organs following a single exposure to a substance or mixture. All significant health effects that can impair function, both reversible and irreversible, immediate and/or delayed and not specifically addressed in items a) to g) and j) are included;
- i) STOT repeated exposure which refers to specific toxic effects on target organs following repeated exposure to a substance or mixture. All significant health effects that can impair function, both reversible and irreversible, immediate and/or delayed and not specifically addressed in a) to g) and j) are included;
- j) aspiration hazard, which refers to severe acute effects such as chemical pneumonia, pulmonary injury or death following aspiration of a substance or mixture.

NOTE 2 "Aspiration hazard" is synonymous with "inhalation hazard".

In case of mixture, the toxicological data should describe the mixture. If that information is not available, the toxicological properties of each component should be provided.

NOTE 3 Components can interact with each other in the body, resulting in different rates of absorption, metabolism and excretion. As a result, the overall toxicity of the mixture can be different from the toxicity of each single component.

A.4 Environmental hazard

The information provided in this clause contains information on possible environmental effects, behaviour and fate of the substance or mixture if released to the environment.

Environmental hazard is described in Section 12 of the SDS from the gas manufacturer and provides information on possible environmental effects:

a) Toxicity

Information on toxicity can be provided using data from tests performed on aquatic and/or terrestrial organisms. This includes relevant available data on both acute and chronic aquatic toxicity for fish, crustaceans, algae and other aquatic plants. In addition, toxicity data on other organisms (including soil micro- and macro-organisms) such as birds, bees and plants, can be included when available. Where the substance or mixture has inhibitory effects on the activity of micro-organisms, the possible impact on sewage treatment plants should be mentioned;

b) Persistence and degradability

Persistence and degradability is the potential for the substance or the appropriate constituents of a mixture to degrade in the environment, either through biodegradation or other processes, such as oxidation or hydrolysis. If degradation half-lives are quoted, it shall be indicated whether these half-lives refer to mineralization or to primary degradation. The potential of the substance or certain constituents of a mixture to degrade in sewage treatment plants should also be mentioned;

c) Bioaccumulative potential

Bioaccumulation is the potential for the substance or certain constituents of a mixture to accumulate in biota and, possibly, pass through the food chain;

d) Mobility in soil

Mobility in soil is the potential of a substance or the constituents of a mixture, if released to the environment, to move under natural forces to the groundwater or to a distance from the site of release;

e) Other adverse effects, such as environmental fate (exposure), endocrine disrupting potential, ozone depletion potential, photochemical ozone creation potential, and global warming potential are described in Clause A.5 and Clause A.6.

A.5 Ozone depletion

Components of the gases listed in this document do not contribute to the destruction of the stratospheric ozone layer because they contain neither chlorine nor bromine.

A.6 Global warming/climate change (greenhouse effect)

Both manmade and natural greenhouse gases contribute to the greenhouse effect if released to the atmosphere. The Kyoto Protocol [11] is an international agreement to control the emission of manmade greenhouse gases.

The greenhouse gases to be monitored according to the Kyoto Protocol are carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), nitrous oxide (N₂O), hydrofluorocarbons (HFCs), perfluorocarbons (PFCs), nitrogen trifluoride (NF₃) and sulphur hexafluoride (SF₆). The latter four substances are fluorinated greenhouse gases (F-gases).

The concentrations of different gases relevant to the environment including those in the Kyoto Protocol are regularly monitored by several scientific bodies. In particular, the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) periodically prepares assessment reports, updating the existing information on emissions and evaluating their potential future impact on the environment according to different hypothesis of their emission trends.

The report provides the global warming potential (GWP) of each gas which is calculated over a time period of 100 years, warming potential of 1 kg of a gas referred to 1 kg of CO₂. Table A.1 gives the global warming potential (GWP) of components of the gases according to IPCC AR6 [12] or [13].

Table A.1 – Global warming potential (GWP) of components of the gases according to IPCC AR6 [12] or [13]

Name of the gas	GWP ₁₀₀
Compressed air/synthetic air	0
N ₂	0
O ₂	0
CO ₂	1
C5-FK (C ₅ F ₁₀ O)	0,29 [13]
C4-FN (C ₄ F ₇ N)	2 750 [12]

A.7 Reducing the environmental impact of the use of gases in electrical power equipment

Major failures causing sudden gas releases are rare as records from 50 years of experience show for SF₆ and its mixtures. The quantities released in such extreme cases are again very limited by the fact that the design of products containing higher quantity of gas is compartmented, limiting the fault to the place where it originates. The gas quantities concerned are subsequently small fractions of the total gas banked in a substation.

The electric industry utilizes manmade gases in a closed cycle, banking it for example in gas-insulated switchgear (GIS), medium-voltage and high-voltage gas circuit-breakers, high-voltage gas-insulated lines (GIL), gas-insulated voltage transformers (GVT) and gas-insulated power transformers (GIT). To avoid any deliberate release of manmade gases to the environment, gas recovery has the highest priority.

The environmental impact of any electrical power equipment should be evaluated using the life cycle assessment (LCA) approach; for example, according to IEC TS 62271-320³ [14].

To reduce the overall environmental impact, the approach is to:

- design equipment with reduced amount of materials and lower leakage rates. Refer to IEC 62271-1:2017;
- improve handling processes and handling equipment for all life cycle stages. Refer to IEC 62271-4;
- minimise emissions of manmade gases during testing, manufacturing, installation, operation and maintenance of electrical power equipment;
- recover gases other than compressed air and natural-origin gases at the equipment's end of life according to IEC 62271-4;
- design more compact electrical power equipment which results in less material consumption and/or design main current path to have low ohmic resistance to reduce power losses during operation of electrical power equipment.

³ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/CD TS 62271-320:2023.

Annex B (informative)

On-site detection techniques

The analytical methods described in this annex refer to on-site measurement of the gas quality. On-site measurement is typically performed with mobile analysers. Gas samples can also be taken and sent to the laboratory for more detailed analysis and higher accuracy. All listed measurement methods for on-site measurement can also be performed in the laboratory in addition to other recognized laboratory measurement techniques such as GC-MS and infrared absorption.

Measurement methods are constantly evolving, and new methods/techniques of on-site detection can become commercially available for the analysis of gases. Therefore, the listed detection methods from Table B.1 to Table B.5 are not exhaustive.

Table B.1 – Detection techniques for the analysis of synthetic air

Substance	Detection technique	Typical measurement range	Typical accuracy
N ₂	–	–	–
O ₂	Paramagnetic	0 % to 25 %	±0,2 %
	Electrolytic/Polymer/Galvanic	0 % to 25 %	±0,2 %
H ₂ O	Chilled mirror ^a	–50 °C to +2 °C ^b [40 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv)]	±0,5 °C
	Capacitive	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±4 °C at –60 °C up to ±2 °C at +20 °C
	Infrared absorption	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±20 µl/l (ppmv) [<–30 °C / <375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [>–30 °C / >375 µl/l (ppmv)]
	QCM (Quartz Crystal Microbalance)	10 µl/l (ppmv) to 1 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±2 °C
^a Chilled mirror technique directly measures frost or dew points at a given pressure. Other techniques use a conversion step to provide frost or dew points. ^b Frost point below 0 °C / Dew point above 0 °C.			

Table B.2 – Detection techniques for the analysis of compressed air

Substance	Detection technique	Typical measurement range	Typical accuracy
N ₂	—	—	—
O ₂	Paramagnetic	0 % to 25 %	±0,2 %
	Electrolytic/Polymer/Galvanic	0 % to 25 %	±0,2 %
CO ₂	Infrared absorption	0 µl/l to 10 000 µl/l	±2 % range
H ₂ O	Chilled mirror ^a	–50 °C to +20 °C ^b [40 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv)]	±0,5 °C
	Capacitive	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±4 °C at –60 °C up to ±2 °C at +20 °C
	Infrared absorption	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±20 µl/l (ppmv) [<–30 °C / < 375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [>–30 °C / >375 µl/l (ppmv)]
	QCM (Quartz Crystal Microbalance)	10 µl/l (ppmv) to 1 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±2 °C
Mineral or synthetic oil ^c	Photometry	0 mg/kg to 20 mg/kg	±2 mg/kg (ppmw)
	Gravimetry	0 mg/kg to 20 mg/kg	±0,5 mg/kg (ppmw)
	Impactor	0,1 mg/kg to 1 mg/m ³	^d –

^a Chilled mirror technique directly measures frost or dew points at a given pressure. Other techniques use a conversion step to provide frost or dew points.

^b Frost point below 0 °C / Dew point above 0 °C.

^c In case oil lubricated compressor is used.

^d Typical detection limit 0,05 mg/m³ oil mist.

Table B.3 – Detection techniques for the analysis of natural-origin gases mixtures

Substance	Detection technique	Typical measurement range	Typical accuracy
N ₂	—	—	—
O ₂	Paramagnetic	0 % to 25 %	±0,2 %
	Electrolytic/Polymer/Galvanic	0 % to 25 %	±0,2 %
CO ₂ ^a	Infrared absorption	0 % to 100 %	±2 % range
H ₂ O	Chilled mirror ^b	–50 °C to +20 °C ^c [40 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv)]	±0,5 °C
	Capacitive	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^c	±4 °C at –60 °C up to ±2 °C at +20 °C
	Infrared absorption	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^c	±20 µl/l (ppmv) [<–30 °C / < 375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [>–30 °C / > 375 µl/l (ppmv)]
	QCM (Quartz Crystal Microbalance)	10 µl/l (ppmv) to 1 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^c	±2 °C
^a Only in case CO ₂ is part of the mixture. ^b Chilled mirror technique directly measures frost or dew points at a given pressure. Other techniques use a conversion step to provide frost or dew points. ^c Frost point below 0 °C / Dew point above 0 °C.			

Table B.4 – Detection techniques for the analysis of C5-FK mixtures

Substance	Detection technique	Typical measurement range	Typical accuracy
C5-FK	Infrared absorption	0 % to 25 %	±0,2 %
O ₂	Electrolytic/Polymer/Galvanic	0 % to 25 %	±0,2 %
N ₂	—	—	—
CO ₂ ^a	Infrared absorption	0 % to 100 %	±2 % range
H ₂ O	Capacitive	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±4 °C at –60 °C up to ±2 °C at +20 °C
	Infrared absorption	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^b	±20 µl/l (ppmv) [<–30 °C / < 375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [>–30 °C / > 375 µl/l (ppmv)]
^a Only in case CO ₂ is part of the mixture. ^b Frost point below 0 °C / Dew point above 0 °C.			

Table B.5 – Detection techniques for the analysis of C4-FN mixtures

Substance	Detection technique	Typical measurement range	Typical accuracy
C4-FN ^a	Infrared absorption	0 % to 25 %	±0,2 %
	Speed of sound	0 % to 25 %	±0,3 %
O ₂	Electrolytic/Polymer/Galvanic	0 % to 25 %	±0,2 %
	Optical ^b	0 % to 25 %	±0,3 %
CO ₂ ^c	Infrared absorption	0 % to 100 %	±2 % range
N ₂	—	—	—
H ₂ O	Capacitive	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^d	±4 °C at –60 °C up to ±2 °C at +20 °C
	Infrared absorption	10 µl/l (ppmv) to 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C to +20 °C] ^c	±20 µl/l (ppmv) [<–30 °C / < 375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [> –30 °C / > 375 µl/l (ppmv)]
^a The detection techniques provide the sum of both isomers (CF ₃) ₂ -CF-CN and CF ₃ -CF ₂ -CF ₂ -CN. ^b Optical oxygen sensors use the principle of fluorescence and include a LED and photodiode. ^c Only in case CO ₂ is part of the mixture. ^d Frost point below 0 °C / Dew point above 0 °C.			

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

Annex C (informative)

Mole fraction (% mol) versus volume fraction (% vol)

C.1 General

Real gas mixtures, e.g. C4-FN or C5-FK mixtures, behave as non-ideal gas mixtures, because of internal reciprocal effects like compressibility factors, that are different for each individual component of a gas mixture. Therefore, by increasing or decreasing the pressure or the temperature of a gas mixture, the volume fraction of any single gas can change.

The relation between % vol and % mol is given through the equations of state of the components used in the gas mixture. The equation of state defines the relationship between its pressure, temperature, and volume.

C.2 Definitions of the fractions and compressibility factor

C.2.1 Mole fraction (x)

The mole fraction x_i is the ratio of the moles n_i of one component or contaminant of interest to the total moles n_{tot} of the gas or liquid.

$$x_i = \frac{n_i}{n_{\text{tot}}} \quad (\text{C.1})$$

where

n_i is the number of moles of substance i ;

n_{tot} is the total number of moles of the substances.

NOTE 1 The mole fraction has no pressure or temperature dependence. It can be used to quantify the components in a mixture.

NOTE 2 For contaminants, it can also be expressed in parts per million by mole, ppm.

NOTE 3 % mol _{i} is equal to $x_i \times 100$.

C.2.2 Volume fraction (Φ_i)

The volume fraction Φ_i is the ratio of the volume V_i of one component or contaminant of interest to the total volume V_{tot} of the gas or liquid.

$$\Phi_i = \frac{V_i(T, p)}{V_{\text{tot}}(T, p)} \quad (\text{C.2})$$

where

Φ_i is the volume fraction of substance i ;

V_i is the volume of substance i ;

V_{tot} is the total volume of the substances.

NOTE 1 The volume fraction of a component is pressure (p) and temperature (T) dependent. Normal conditions are often considered but their definitions can vary depending on usage.

NOTE 2 For contaminants, it can also be expressed in parts per million by volume, ppmv or its numerically equivalent and preferred unit $\mu\text{l/l}$.

NOTE 3 $\% \text{ vol}_i$ is equal to $\Phi_i \times 100$.

C.2.3 Mass fraction (w)

The mass fraction is the ratio of the mass m_i of one component or contaminant of interest to the total mass m_{tot} of the gas or liquid.

$$w_i = \frac{m_i}{m_{\text{tot}}} \quad (\text{C.3})$$

where

m_i is the mass of substance i ;

m_{tot} is the total mass of the substances.

NOTE 1 Mass fraction has no pressure or temperature dependence. It can be used to quantify the components in a mixture.

NOTE 2 w notation is commonly used and avoids the $\% m$ notation that could be confused with the mole fraction.

NOTE 3 For contaminants, it can also be expressed in parts per million by weight, ppmw or its numerically equivalent and preferred unit $\mu\text{g/g}$.

C.2.4 Compressibility factor (Z)

In thermodynamics, the compressibility factor, also known as the compression factor or the gas deviation factor, is a correction factor which describes the deviation of a real gas from ideal gas behaviour. It is simply defined as the ratio of the mole volume $V_{\text{m,real}}$ of a gas to the mole volume $V_{\text{m,ideal}}$ of an ideal gas at the same temperature and pressure.

$$Z = \frac{V_{\text{m,real}}(T, p)}{V_{\text{m,ideal}}(T, p)} = \frac{pV}{nRT} \quad (\text{C.4})$$

with

$$V_{\text{m}} = \frac{M}{\rho(T, p)} \quad (\text{C.5})$$

where

$V_{\text{m,real}}$ is the volume of the substance;

$V_{\text{m,ideal}}$ is the volume in case of ideal gas model;

T is the temperature expressed in Kelvin;

p is the pressure;

ρ is the density of the substance;

M is the molar mass of the substance;

n is the amount of substances;

R is the gas constant.

The compressibility factor is equal to 1 for ideal gases by definition.

In the gaseous conditions as met in electrical power equipment, the compressibility factor is slightly lower than 1. It varies with the temperature and the pressure.

NOTE The real gas law for the gas mixture and components are given in CIGRE TB 849 [15].

C.2.5 Names and symbols

IEC 80000 series [16] or ISO 80000 series [17] define names, symbols, and definitions for quantities and units of telebiometrics related to human physiology. More specifically, ISO 80000-9 [18] specifies volume fraction and mole fraction.

C.3 Examples % mol vs % vol for C4-FN / O₂ / CO₂ mixtures

C.3.1 General

For the C4-FN mixture given in this example, a Peng-Robinson equation of state of the gas mixture was used, implementing simple combining and mixing rules.

For given temperature, volume, total pressure and mole fractions, the equation can be solved to get the quantity (moles) of each component.

Considering the pure-gas models, the compressibility of each component can also be computed for a given couple temperature and pressure.

The compressibility factors can then be used to convert the mole fraction into a volume fraction by using the equation below:

$$\Phi_i(T, p) = \frac{V_i(T, p)}{\sum_{j=1}^n V_j(T, p)} = \frac{Z_i(T, p) \times x_i}{\sum_{j=1}^n Z_j(T, p) \times x_j} \quad (\text{C.6})$$

where

X_i is the mol fraction of substance i;

X_j is the mol fraction of substance j;

T is the temperature expressed in Kelvin;

p is the pressure;

n is the amount of substances;

V_i is the volume of substance i;

V_j is the volume of substance j;

Z_i is the compressibility factor of substance i;

Z_j is the compressibility factor of substance j.

As shown in Formula (C.6), the volume fraction is dependent of the pressure and temperature. This relation is investigated through two examples below.

C.3.2 Variation with pressure

Figure C.1 shows the calculation results for two C4-FN / O₂ / CO₂ gas mixtures. The calculations are done at 20 °C and the number of moles is adjusted to make pressure vary up to 500 kPa.

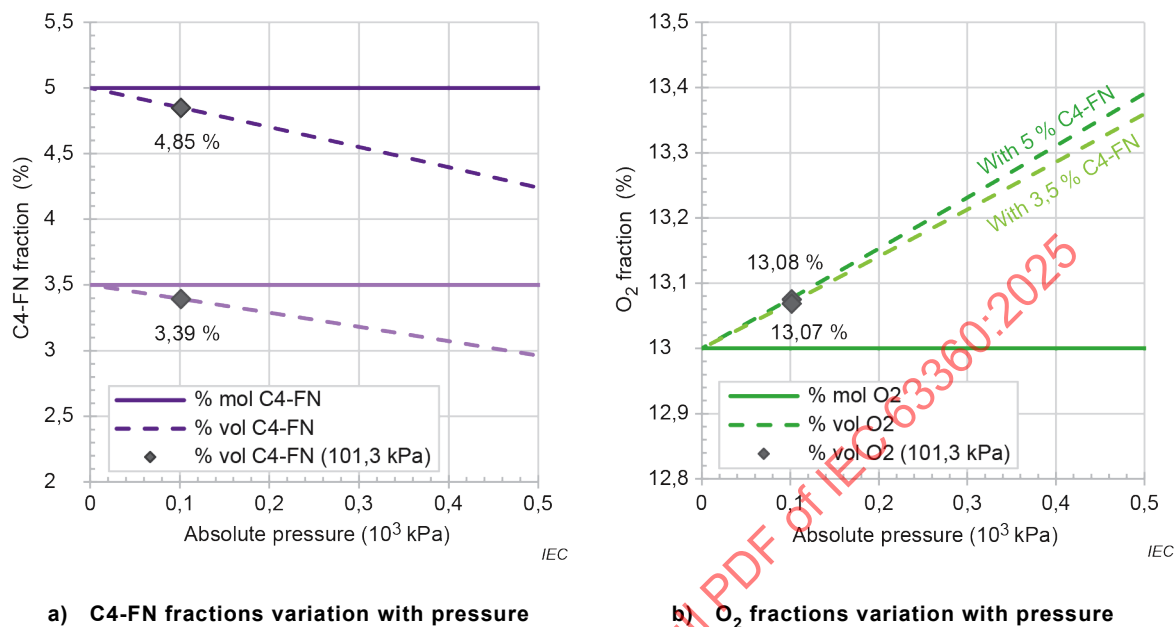


Figure C.1 – Shift between mole and volume fractions with pressure for two mixtures containing 5 % mol and 3,5 % mol C4-FN, 13 % mol O₂ and the rest in CO₂ (20 °C)

For C4-FN and O₂ in both examples (Figure C.1a) and Figure C.1b)), the influence of the pressure on % vol is not negligible between measures at atmospheric pressures and conditions in service (> 500 kPa).

C.3.3 Variation with temperature

The calculations can also investigate the influence of the temperature. Figure C.2 shows the calculation results for two C4-FN / O₂ / CO₂ gas mixtures.

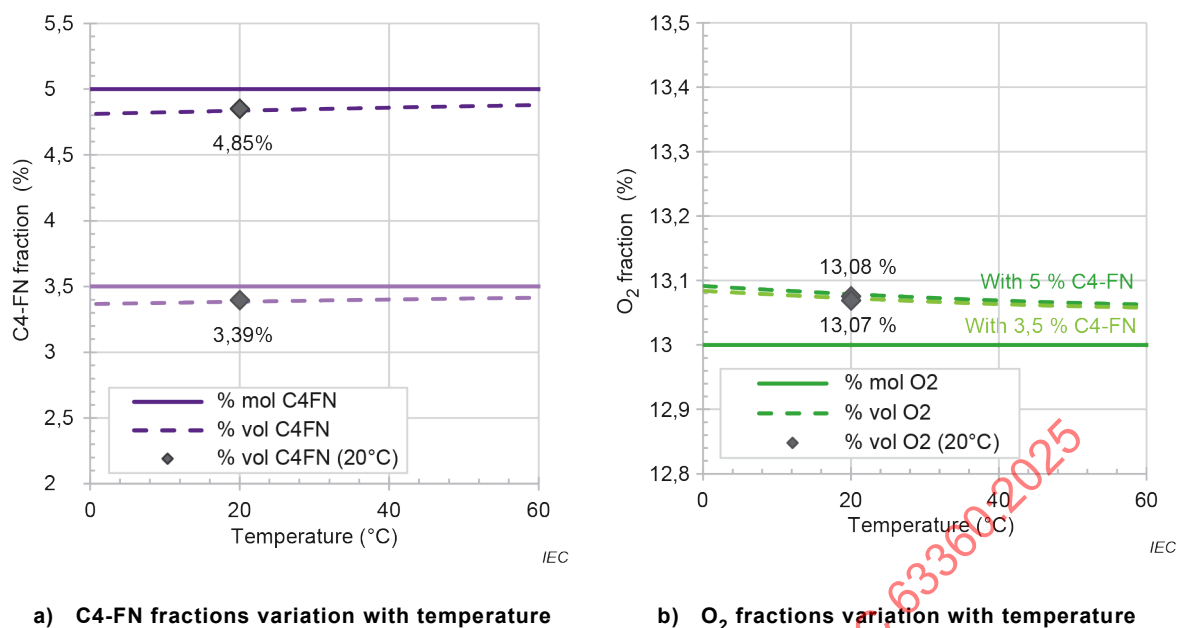


Figure C.2 – Shift between mole and volume fractions with temperature for two mixtures containing 5 % mol and 3,5 % mol C4-FN, 13 % mol O₂ and the rest in CO₂ (101,3 kPa)

For C4-FN and O₂ in both examples (Figure C.2a) and Figure C.2b)), the influence of the temperature on % vol is quite limited, maintaining the offset with the mole fraction. As the calculations are done at 101,3 kPa, the gap between the fractions was somehow limited.

Bibliography

- [1] IEC 63359:—⁴, *Fluids for electrotechnical application: Specifications for the re-use of mixtures of gases alternative to SF₆*
- [2] IEC 62474:2018, *Material declaration for products of and for the electrotechnical industry*
- [3] IEC 60480:2019, *Specifications for the re-use of sulphur hexafluoride (SF₆) and its mixtures in electrical equipment*
- [4] Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS) 9th revised edition, UNECE 2021
- [5] ISO 11014:2009, *Safety data sheet for chemical products – Content and order of sections*
- [6] IEC 60376:2018, *Specification of technical grade sulphur hexafluoride (SF₆) and complementary gases to be used in its mixtures for use in electrical equipment*
- [7] IEC 62271-1:2017, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 1: Common specifications for alternating current switchgear and controlgear*
IEC 62271-1:2017/AMD1:2021
- [8] IEC TS 62271-5:—⁵, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 5: Common specifications for direct current switchgear*
- [9] IEC 62271-200:2021, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 200: AC metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*
- [10] IEC 62271-203:2022, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 203: AC gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV*
- [11] Kyoto Protocol: United Nations Framework Convention on Climate Change
https://unfccc.int/kyoto_protocol [viewed 2024-02-20]
- [12] SMITH, C., Z.R.J. NICHOLLS, K. ARMOUR, W. COLLINS, P. FORSTER, M. MEINSHAUSEN, M.D. PALMER, and M. WATANABE, 2021: The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity Supplementary Material. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Available from <https://www.ipcc.ch/>
- [13] REN et al. (2019). *Atmospheric Fate and Impact of Perfluorinated Butanone and Pentanone*. Environ. Sci. Technol. 2019, 53, 15, 8862–8871
- [14] IEC TS 62271-320:—⁶, *High-voltage switchgear and controlgear – Part 320: Environmental aspects and life cycle assessment rules*

⁴ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/CD 63359:2024.

⁵ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/BPUB TS 62271-5:2024.

⁶ Under preparation. Stage at the time of publication: IEC/CD TS 62271-320:2024.

- [15] CIGRE TB 849, *Electric performance of new non-SF₆ gases and gas mixtures for gas-insulated systems*
 - [16] IEC 80000 (all parts), *Quantities and units*
 - [17] ISO 80000 (all parts), *Quantities and units*
 - [18] ISO 80000-9:2019, *Quantities and units – Part 9: Physical chemistry and molecular physics*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes, définitions et abréviations	36
3.1 Termes et définitions	36
3.2 Abréviations.....	37
4 Exigences relatives aux gaz	38
4.1 Généralités	38
4.2 Air comprimé	38
4.3 Air synthétique de qualité technique	38
4.4 Gaz d'origine naturelle de qualité technique.....	39
4.5 C ₅ F ₁₀ O de qualité technique (C5-FK)	40
4.6 C ₄ F ₇ N de qualité technique (C4-FN)	40
5 Rapport de mélange et tolérances	41
6 Manipulation, stockage et transport	41
6.1 Procédures de manipulation des gaz.....	41
6.2 Stockage et transport.....	41
7 Impact environnemental.....	41
Annexe A (informative) Effets des gaz sur l'environnement, la santé et la sécurité.....	42
A.1 Généralités	42
A.2 Dangers physiques	42
A.3 Danger pour la santé humaine.....	42
A.4 Danger pour l'environnement	43
A.5 Appauvrissement en ozone	44
A.6 Réchauffement global/changement climatique (effet de serre)	44
A.7 Réduction de l'impact environnemental lié à l'utilisation des gaz dans les matériels électriques	45
Annexe B (informative) Techniques de détection sur site	47
Annexe C (informative) Fraction molaire (%mol) et fraction volumique (%vol)	51
C.1 Généralités	51
C.2 Définitions des fractions et du facteur de compressibilité	51
C.2.1 Fraction molaire (x).....	51
C.2.2 Fraction volumique (Φ_i).....	51
C.2.3 Fraction massique (w).....	52
C.2.4 Facteur de compressibilité (Z).....	52
C.2.5 Noms et symboles	53
C.3 Exemples de %mol et %vol pour les mélanges C4-FN / O ₂ / CO ₂	53
C.3.1 Généralités	53
C.3.2 Variation en fonction de la pression	54
C.3.3 Variation en fonction de la température	54
Bibliographie.....	56

Figure C.1 – Écart entre la fraction molaire et la fraction volumique en fonction de la pression pour deux mélanges contenant 5 %mol et 3,5 %mol de C4-FN, 13 %mol d'O₂ et le reste en CO₂ (20 °C) 54

Figure C.2 – Écart entre la fraction molaire et la fraction volumique en fonction de la température pour deux mélanges contenant 5 %mol et 3,5 %mol de C4-FN, 13 %mol d'O₂ et le reste en CO₂ (101,3 kPa) 55

Tableau 1 – Exigences relatives à l'air comprimé destiné aux matériels électriques 38

Tableau 2 – Exigences relatives à l'air synthétique de qualité technique 39

Tableau 3 – Exigences relatives à l'azote de qualité technique 39

Tableau 4 – Exigences relatives à l'oxygène de qualité technique 39

Tableau 5 – Exigences relatives au dioxyde de carbone de qualité technique 39

Tableau 6 – Exigences relatives au C5-FK de qualité technique 40

Tableau 7 – Exigences relatives au C4-FN de qualité technique 40

Tableau A.1 – Potentiel de réchauffement global (PRG) des composants des gaz selon le sixième rapport d'évaluation du GIEC [12] ou [13] 45

Tableau B.1 – Techniques de détection pour l'analyse de l'air synthétique 47

Tableau B.2 – Techniques de détection pour l'analyse de l'air comprimé 48

Tableau B.3 – Techniques de détection pour l'analyse des mélanges de gaz d'origine naturelle 49

Tableau B.4 – Techniques de détection pour l'analyse des mélanges C5-FK 49

Tableau B.5 – Techniques de détection pour l'analyse des mélanges C4-FN 50

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES – SPÉCIFICATION DES GAZ ALTERNATIFS AU SF₆ DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

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 avait 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 63360 a été établie par le comité d'études 10 de l'IEC: Fluides pour applications électrotechniques. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
10/1219/FDIS	10/1257/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.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

INTRODUCTION

Les informations concernant certaines données de l'Annexe A informative étant limitées, il convient que le lecteur soit conscient que les informations liées aux potentiels gaz alternatifs au SF₆ sont encore à l'étude.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

FLUIDES POUR APPLICATIONS ÉLECTROTECHNIQUES – SPÉCIFICATION DES GAZ ALTERNATIFS AU SF₆ DESTINÉS À ÊTRE UTILISÉS DANS LES MATÉRIELS ÉLECTRIQUES

1 Domaine d'application

Le présent document définit la qualité technique des gaz alternatifs au SF₆ (dénommés par la suite "gaz") destinés à être utilisés dans les matériels électriques.

Le présent document décrit également les techniques de détection applicables à l'analyse des gaz avant leur introduction dans les matériels électriques.

Les informations relatives aux produits de décomposition des gaz et à la procédure d'évaluation des effets potentiels des gaz et de leurs produits de décomposition sur la santé humaine sont données dans l'IEC 63359¹[1] et l'IEC 62271-4.

Il incombe au fabricant du gaz de fournir des informations suffisantes pour assurer une manipulation en toute sécurité des gaz et effectuer une évaluation du risque.

Pour les gaz qui ne sont pas mentionnés dans le présent document, le fabricant du matériel électrique et/ou le fabricant du gaz fournissent les informations indiquées dans le présent document. L'objectif du présent document est de traiter ces nouveaux gaz dans une édition ultérieure ou dans des amendements à la présente édition. Le présent document fournit des informations pour élaborer une évaluation du risque concernant l'utilisation de ces gaz. Il incombe à l'utilisateur du présent document d'établir, avant de l'utiliser, des pratiques d'hygiène et de sécurité appropriées et de déterminer l'applicabilité des restrictions réglementaires.

NOTE 1 Dans l'ensemble du présent document, le terme "pression" signifie "pression absolue".

NOTE 2 Sauf spécification contraire dans le présent document, les valeurs de concentration (% , ppmv, µl/l, par exemple) des composants gazeux ou des contaminants sont données en fraction volumique à 20 °C et 100 kPa. Des informations supplémentaires concernant la dépendance de la fraction molaire et de la fraction volumique vis-à-vis de la pression et de la température sont données à l'Annexe C.

NOTE 3 Si les gaz destinés aux matériels électriques sont réglementés, la désignation de ces gaz et leur origine réglementaire se trouvent dans la base de données de l'IEC 62474 [2] (disponible à l'adresse <https://std.iec.ch/iec62474> [consulté le 19-02-2024]).

NOTE 4 La manipulation des gaz est traitée dans l'IEC 62271-4:2022.

NOTE 5 Pour effectuer une évaluation complète du risque, il est nécessaire d'obtenir des informations supplémentaires auprès du fabricant du gaz et/ou du fabricant du matériel électrique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050-212, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Partie 212: Isolants électriques solides, liquides et gazeux* (disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org>)

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

IEC 60050-441, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Chapitre 441: Appareillage et fusibles* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 60050-826, *Vocabulaire Électrotechnique International (IEV) – Partie 826: Installations électriques* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

IEC 62271-4:2022, *Appareillage à haute tension – Partie 4: Procédures de manipulation des gaz pour l'isolation et/ou la commutation*

3 Termes, définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-212, l'IEC 60050-441, l'IEC 60050-826 ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1 Termes et définitions

3.1.1

matériel électrique

matériel à haute tension ou à moyenne tension qui contient du gaz pour l'isolation et/ou la commutation (appareillage, lignes à isolation gazeuse, transformateurs, transformateurs de mesure, etc.)

3.1.2

gaz élémentaire

gaz constitué d'atomes ou de molécules identiques

Note 1 à l'article: Un gaz élémentaire peut contenir des contaminants.

EXEMPLE Le CO_2 (dans les conditions atmosphériques normales) est un exemple courant de gaz élémentaire.

3.1.3

mélange de gaz

gaz constitué de deux gaz élémentaires ou plus

Note 1 à l'article: Un mélange de gaz peut contenir des contaminants.

EXEMPLE Le CO_2 / N_2 (dans les conditions atmosphériques normales) est un exemple courant de mélange de gaz composé de deux gaz élémentaires.

3.1.4

contaminant

substance étrangère présente dans un isolant liquide ou gazeux ou solide

[SOURCE: IEC 60050-212:2010, 212-17-27, modifié – "qui, habituellement, a un effet nuisible sur une ou plusieurs propriétés" a été supprimé.]

3.1.5

produit de décomposition

contaminant formé par la dégradation du gaz par des arcs électriques, un effet couronne ou des étincelles ou formé par réaction chimique avec d'autres substances ou matériaux

[SOURCE: IEC 62271-4:2022, 3.1.6]

3.1.6**conteneur à gaz**

conteneur (bouteille) adapté au confinement de gaz sous pression en phase gazeuse ou liquide, conformément aux réglementations locales et/ou internationales en matière de sécurité et de transport

[SOURCE: IEC 60480:2019 [3], 3.2, modifié – "gaz" a été ajouté au terme, et "récipient" a été remplacé par "conteneur" dans la définition.]

3.1.7**air comprimé**

air destiné aux matériels électriques traités conformément au Tableau 1

3.1.8**gaz d'origine naturelle de qualité technique**

azote (N₂) de qualité technique, oxygène (O₂) de qualité technique ou dioxyde de carbone (CO₂) de qualité technique, ainsi que leurs mélanges quelle que soit la combinaison

3.1.9**azote de qualité technique**

azote (N₂) destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 3

3.1.10**oxygène de qualité technique**

oxygène (O₂) destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 4

3.1.11**dioxyde de carbone de qualité technique**

dioxyde de carbone (CO₂) destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 5

3.1.12**air synthétique de qualité technique**

mélange de gaz destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 2

Note 1 à l'article: L'air synthétique de qualité technique est un mélange figé de gaz composé de gaz d'origine naturelle de qualité technique.

3.1.13**C5-FK de qualité technique**

C5-FK destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 6

3.1.14**C4-FN de qualité technique**

C4-FN destiné aux matériels électriques conformément au Tableau 7

3.2 Abréviations

ppmv parties par million en volume

ppmw parties par million en masse

4 Exigences relatives aux gaz

4.1 Généralités

Les spécifications techniques ci-jointes reposent sur l'obtention des performances techniques exigées avec les gaz disponibles dans le commerce. Par conséquent, le niveau d'impureté peut varier pour différents gaz.

La précision des dispositifs/méthodes de mesure doit être prise en compte lors de la vérification de la qualité du gaz.

NOTE Les techniques de détection applicables à la vérification sur site des concentrations et du niveau acceptable d'impuretés sont données à l'Annexe B.

4.2 Air comprimé

L'air comprimé doit satisfaire aux exigences du Tableau 1.

Les responsabilités du fabricant incombent à la partie qui comprime l'air destiné à être utilisé dans les matériels électriques.

NOTE Le Tableau 1 est nécessaire pour définir les exigences relatives à l'air comprimé destiné à être utilisé dans les matériels électriques car l'air ambiant, lorsqu'il est comprimé, n'est pas complètement adapté à cette application.

Tableau 1 – Exigences relatives à l'air comprimé destiné aux matériels électriques

Substance	Concentration/taille
N ₂	77 % à 80,5 %
O ₂	19,5 % à 22 %
Ar	≤ 1 %
CO ₂	≤ 5 000 ^a µl/l (ppmv)
H ₂ O	≤ 450 ^b µl/l (ppmv)
Autres gaz	≤ 100 µl/l (ppmv)
Huile minérale	< 10 mg/kg (ppmw)
Particules solides	≤ 1 µm ^c
La somme des concentrations de ces substances s'élève à 100 %.	
^a Le niveau de CO ₂ correspond à la concentration moyenne maximale sur le lieu de travail et a une influence négligeable sur les performances diélectriques.	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –28 °C à 100 kPa et peut être réduite par l'utilisation d'un agent de séchage.	
^c Cette valeur peut être atteinte en utilisant un compresseur équipé de filtres à particules appropriés.	

4.3 Air synthétique de qualité technique

L'air synthétique de qualité technique doit satisfaire aux exigences du Tableau 2.

Tableau 2 – Exigences relatives à l'air synthétique de qualité technique

Substance	Concentration
O ₂	20 % ± 2 %
N ₂	80 % ± 2 %
Autres gaz	≤ 0,4 %
H ₂ O	≤ 200 ^a µl/l (ppmv)
La somme des concentrations de ces substances s'élève à 100 %.	
^a Cette valeur équivaut à un point de gelée de –36 °C à 100 kPa.	

4.4 Gaz d'origine naturelle de qualité technique

Les gaz d'origine naturelle de qualité technique (azote (N₂), oxygène (O₂)) et dioxyde de carbone (CO₂) ou tout mélange de ces gaz) doivent satisfaire aux exigences du Tableau 3, du Tableau 4 et du Tableau 5.

Tableau 3 – Exigences relatives à l'azote de qualité technique

Substance	Concentration
N ₂	≥ 99,7 %
Autres gaz ^a	≤ 0,3 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
^a Généralement, l'autre gaz principal est l'O ₂ .	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –36 °C à 100 kPa.	

Tableau 4 – Exigences relatives à l'oxygène de qualité technique

Substance	Concentration
O ₂	≥ 99,5 %
Autres gaz ^a	≤ 0,5 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
^a Généralement, l'autre gaz principal est le N ₂ .	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –36 °C à 100 kPa	

Tableau 5 – Exigences relatives au dioxyde de carbone de qualité technique

Substance	Concentration
CO ₂	≥ 99,5 %
Autres gaz ^a	≤ 0,5 %
H ₂ O	≤ 200 ^b µl/l (ppmv)
NOTE Le type et les quantités de contaminants spécifiques dépendent du processus de fabrication.	
^a Généralement, les autres gaz principaux sont le N ₂ et l'O ₂ .	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –36 °C à 100 kPa.	

4.5 C₅F₁₀O de qualité technique (C5-FK)

Le C₅F₁₀O de qualité technique doit satisfaire aux exigences du Tableau 6.

Le C₅F₁₀O de qualité technique est généralement utilisé dans un mélange composé d'un ou de plusieurs gaz vecteurs de qualité technique (N₂, CO₂ et/ou O₂).

NOTE Le 1,1,1,3,4,4,4-heptafluoro-3-(trifluorométhyle)-2-butanone, également appelé CF₃-C(O)-CF-(CF₃)₂ ou C₅F₁₀O est un fluorocétone. Pour faciliter sa dénomination, sa référence et son identification, il est également appelé C5-FK (FK = fluorocétone). Il existe d'autres molécules avec la même formule (C₅F₁₀O) qui ne présentent pas la même structure spatiale.

Tableau 6 – Exigences relatives au C5-FK de qualité technique

Substance	Concentration
CF ₃ -C(O)-CF-(CF ₃) ₂	≥ 99,5 %
Autres gaz ^a	≤ 0,5 %
H ₂ O	≤ 270 ^b µl/l (ppmv)
NOTE Le type et les quantités de contaminants spécifiques dépendent du processus de fabrication.	
^a Généralement, l'autre gaz est le 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane.	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –33 °C à 100 kPa.	

4.6 C₄F₇N de qualité technique (C4-FN)

Le C₄F₇N de qualité technique doit satisfaire aux exigences du Tableau 7.

Le C₄F₇N de qualité technique est généralement utilisé dans un mélange composé d'un ou de plusieurs gaz vecteurs de qualité technique (N₂, CO₂ et/ou O₂).

NOTE Le 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(trifluorométhyle)-propane-nitrile, également appelé (CF₃)₂CFCN ou C₄F₇N, est un fluoronitrile. Pour faciliter sa dénomination, sa référence et son identification, il est également appelé C4-FN (FN = fluoronitrile). Il existe d'autres molécules avec la même formule (C₄F₇N) qui ne présentent pas la même structure spatiale.

Tableau 7 – Exigences relatives au C4-FN de qualité technique

Substance	Concentration
(CF ₃) ₂ -CF-CN	≥ 99,3 %
Autres gaz ^a	≤ 0,7 %
H ₂ O	≤ 270 ^b µl/l (ppmv)
NOTE Le type et les quantités de contaminants spécifiques dépendent du processus de fabrication.	
^a Généralement, l'autre gaz est le 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane et/ou le CF ₃ -CF ₂ -CF ₂ -CN.	
^b Cette valeur équivaut à un point de gelée de –33 °C à 100 kPa.	

5 Rapport de mélange et tolérances

Des informations supplémentaires concernant la précision de la concentration de chaque gaz composant le mélange de gaz sont exigées sauf pour l'air synthétique de qualité technique et l'air comprimé. La tolérance pour le rapport de mélange est spécifiée par le fabricant du matériel électrique. Pour les mélanges de gaz utilisés dans les matériels électriques, la concentration exigée pour chaque composant du mélange dépend des caractéristiques suivantes du composant:

- la température minimale afin d'éviter une liquéfaction partielle du gaz;
- les propriétés physiques et chimiques du gaz;
- les caractéristiques diélectriques, thermiques et/ou les performances de commutation du gaz.

La tolérance absolue pour les concentrations élevées peut être supérieure à celle des faibles concentrations, ce qui influence le rapport de mélange pour atteindre la précision réalisable. En outre, pour des raisons pratiques, la précision réalisable par le matériel de mélange de gaz et l'analyseur de gaz doit être prise en compte, afin d'éviter la définition d'exigences qui ne peuvent pas être respectées par les matériels reflétant l'état de la technique.

6 Manipulation, stockage et transport

6.1 Procédures de manipulation des gaz

Il est nécessaire de manipuler les gaz conformément au présent document dans les cas suivants:

- le conteneur à gaz est raccordé au dispositif de remplissage;
- le ou les gaz sont introduits dans le matériel électrique ou dans un conteneur à gaz;
- un complément de gaz est effectué dans un système à pression autonome de gaz;
- le gaz est prélevé dans un matériel électrique ou un conteneur à gaz pour l'analyse.

L'IEC 62271-4 fournit des informations supplémentaires concernant les procédures de manipulation des gaz et des mélanges de gaz.

6.2 Stockage et transport

Les informations relatives au stockage et au transport des gaz sont fournies dans l'IEC 62271-4.

7 Impact environnemental

Les gaz peuvent avoir des effets sur l'environnement. Les gaz autres que l'air comprimé et les gaz d'origine naturelle doivent être manipulés avec précaution afin d'éviter tout rejet dans l'atmosphère.

Des informations plus détaillées concernant l'impact environnemental sont fournies à l'Annexe A.

Annexe A (informative)

Effets des gaz sur l'environnement, la santé et la sécurité

A.1 Généralités

Les composants des gaz peuvent être rejetés dans l'atmosphère de manière non intentionnelle lors de l'exploitation (fuite normale, fuite anormale ou rejet soudain), de la maintenance et de la fin de vie du matériel. Pour les questions relatives à l'environnement, à l'hygiène et à la sécurité, les principaux aspects à prendre en compte sont décrits dans les Parties 3 et 4 du Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques (SGH) [4]. Les principales informations figurent dans la Section 11 (Informations toxicologiques) et dans la Section 12 (Informations écologiques) de chaque fiche de données de sécurité (FDS) des gaz. Ces informations sont également décrites à l'Annexe A de l'ISO 11014:2009 [5]. En outre, des dangers physiques sont également mentionnés.

NOTE Les effets du SF₆ et de ses mélanges sur l'environnement sont décrits en détail à l'Annexe B de l'IEC 60376:2018 [6].

A.2 Dangers physiques

Le présent article fournit une description concise mais complète des différents types de dangers physiques. Les dangers physiques types à considérer lors de l'utilisation d'un gaz dans un matériel électrique sont:

- les explosions;
- la corrosion;
- les incendies. Ce danger peut être causé par la température de surface élevée du matériel électrique ou par la production d'étincelles lors de l'exploitation, lors d'une maintenance, ou par l'émission de flammes lors de l'exploitation, d'une maintenance, ou être issu d'une défaillance;
- les gaz sous pression. Ce danger est traité dans l'IEC 62271-1 [7] ou l'IEC TS 62271-5:—², Article 12 [8], dans les applications pertinentes (l'IEC 62271-200 [9] ou l'IEC 62271-203 [10], par exemple) et dans les réglementations locales.

A.3 Danger pour la santé humaine

Le danger pour la santé humaine est décrit dans la Section 11 de la FDS du fabricant du gaz et fournit une description concise mais complète des différents effets toxicologiques (sur la santé) envisagés, et indique où trouver les données disponibles pour identifier ces effets. Les dangers considérés à prendre en compte sont:

- a) la toxicité aiguë, qui désigne les effets néfastes graves pour la santé (effets létaux) faisant suite à une exposition unique ou à plusieurs expositions répétées de courte durée à une substance;
- b) la corrosion/l'irritation cutanée, qui désigne les lésions cutanées irréversibles/réversibles faisant suite à une exposition à une substance ou un mélange;

NOTE 1 La "corrosion cutanée" est synonyme de "brûlure cutanée".

² En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/BPUB TS 62271-5:2024.

- c) les lésions oculaires graves, qui désignent des lésions des tissus oculaires ou une dégradation sévère de la vue faisant suite à l'exposition de l'œil à une substance ou un mélange, et qui ne sont pas totalement réversibles. L'irritation oculaire désigne une atteinte oculaire totalement réversible faisant suite à l'exposition de l'œil à une substance ou un mélange;
- d) la sensibilisation respiratoire ou cutanée.
- La sensibilisation respiratoire désigne une hypersensibilité des voies respiratoires faisant suite à l'inhalation d'une substance ou d'un mélange.
- La sensibilisation cutanée désigne une réponse allergique faisant suite à un contact de la peau avec une substance ou un mélange;
- e) la mutagénicité sur les cellules germinales, qui désigne les mutations génétiques héréditaires, notamment des aberrations chromosomiques structurales et numériques d'origine héréditaire dans les cellules germinales faisant suite à l'exposition à une substance ou un mélange;
- f) la cancérogénicité, qui désigne l'induction d'un cancer ou une augmentation de l'incidence d'un cancer faisant suite à l'exposition à une substance ou un mélange. Les substances et les mélanges qui ont provoqué des tumeurs bénignes et malignes chez des animaux au cours d'études expérimentales bien conduites sont aussi considérés comme étant cancérogènes ou suspectés de l'être, sauf s'il apparaît clairement que le mécanisme de formation des tumeurs n'est pas pertinent pour l'être humain;
- g) la toxicité pour la reproduction, qui désigne des effets néfastes sur la fonction sexuelle et la fertilité des mâles et des femelles adultes, ainsi que des effets indésirables sur le développement de leurs descendants, faisant suite à une exposition à une substance ou un mélange;
- h) la toxicité pour certains organes cibles (exposition unique), qui désigne des effets toxiques spécifiques et non létaux sur des organes cibles faisant suite à une exposition unique à une substance ou un mélange. Elle englobe tous les effets sur la santé importants qui peuvent altérer le fonctionnement, qu'ils soient réversibles ou irréversibles, immédiats et/ou retardés et qui ne sont pas couverts spécifiquement par les points a) à g) et j);
- i) la toxicité pour certains organes cibles (expositions répétées), qui désigne des effets toxiques spécifiques sur des organes cibles faisant suite à des expositions répétées à une substance ou un mélange. Elle englobe tous les effets sur la santé importants qui peuvent altérer le fonctionnement, qu'ils soient réversibles ou irréversibles, immédiats et/ou retardés et qui ne sont pas couverts spécifiquement par les points a) à g) et j);
- j) le danger par aspiration, qui désigne des effets aigus graves comme la pneumonie chimique, les lésions pulmonaires ou la mort faisant suite à l'aspiration d'une substance ou d'un mélange.

NOTE 2 Le "danger par aspiration" est synonyme de "danger par inhalation".

Dans le cas d'un mélange, il convient que les données toxicologiques décrivent le mélange. En l'absence de ces informations, il convient de fournir les propriétés toxicologiques de chaque composant.

NOTE 3 Les composants peuvent interagir dans l'organisme, ce qui se traduit par des taux différents d'absorption, de métabolisme et d'excrétion. Par conséquent, la toxicité globale du mélange peut être différente de celle de ses composants.

A.4 Danger pour l'environnement

Le présent article fournit des informations concernant les effets potentiels sur l'environnement, le comportement et l'évolution de la substance ou du mélange en cas de rejet dans l'environnement.

Le danger pour l'environnement est décrit dans la Section 12 de la FDS du fabricant du gaz et fournit des informations concernant les effets potentiels sur l'environnement:

a) toxicité

Des informations sur la toxicité peuvent être fournies à partir de données issues d'essais effectués sur des organismes aquatiques et/ou terrestres. Cela inclut les données pertinentes disponibles sur la toxicité aquatique à la fois aiguë et chronique pour les poissons, les crustacés, ainsi que pour les algues et d'autres plantes aquatiques. En outre, les données de toxicité pour d'autres organismes (y compris les microorganismes et les macroorganismes dans le sol), tels que les oiseaux, les abeilles et les plantes, peuvent être incluses si de telles données sont disponibles. Lorsque la substance ou le mélange a des effets inhibiteurs sur l'activité des microorganismes, il convient de mentionner les effets potentiels sur les stations d'épuration;

b) persistance et dégradabilité

La persistance et la dégradabilité caractérisent l'aptitude d'une substance ou des composants appropriés d'un mélange à se dégrader dans l'environnement, soit par biodégradation, soit par d'autres processus, comme l'oxydation ou l'hydrolyse. Si des demi-vies de dégradation sont indiquées, il doit être précisé si ces demi-vies se réfèrent à la minéralisation ou à la dégradation primaire. Il convient également de mentionner l'aptitude d'une substance ou de certains composants d'un mélange à se dégrader dans les stations d'épuration;

c) potentiel de bioaccumulation

La bioaccumulation caractérise l'aptitude d'une substance ou de certains composants d'un mélange à s'accumuler dans le biote et, éventuellement, à passer dans la chaîne alimentaire;

d) mobilité dans le sol

La mobilité dans le sol caractérise l'aptitude d'une substance ou des composants d'un mélange, s'ils sont libérés dans l'environnement, à migrer sous l'effet de forces naturelles vers la nappe phréatique ou à une certaine distance du site de déversement;

e) d'autres effets néfastes, comme l'évolution dans l'environnement (exposition), le potentiel de perturbation du système endocrinien, le potentiel d'appauvrissement de la couche d'ozone, le potentiel de création d'ozone photochimique et le potentiel de réchauffement global, sont décrits aux Articles A.5 et A.6.

A.5 Appauvrissement en ozone

Les composants des gaz indiqués dans le présent document ne contribuent pas à la destruction de la couche d'ozone stratosphérique, car ils ne contiennent ni chlore ni brome.

A.6 Réchauffement global/changement climatique (effet de serre)

Les gaz à effet de serre, naturels et produits par l'homme, contribuent à l'effet de serre en cas de rejet dans l'atmosphère. Le Protocole de Kyoto [11] est un accord international qui vise à maîtriser les émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique.

Les gaz à effet de serre à surveiller conformément au Protocole de Kyoto sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'oxyde nitreux (N₂O) les hydrofluorocarbures (HFC), les perfluorocarbures (PFC), le trifluorure d'azote (NF₃) et l'hexafluorure de soufre (SF₆). Ces quatre dernières substances sont des gaz à effet de serre fluorés (gaz F).

Les concentrations des différents gaz pertinents pour l'environnement, y compris celles indiquées dans le Protocole de Kyoto, sont régulièrement surveillées par plusieurs organismes scientifiques. En particulier, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) se réunit régulièrement pour publier des rapports d'évaluation, mettre à jour les informations d'émissions et évaluer leur incidence potentielle future sur l'environnement en s'appuyant sur différentes hypothèses d'émissions.

Le rapport indique le potentiel de réchauffement global (PRG) de chaque composant d'un gaz, qui est calculé comme le potentiel de réchauffement d'1 kg d'un gaz particulier par rapport à 1 kg de CO₂ sur une période de 100 ans. Le Tableau A.1 donne le potentiel de réchauffement global (PRG) des composants des gaz selon le sixième rapport d'évaluation du GIEC, [12] ou [13].

Tableau A.1 – Potentiel de réchauffement global (PRG) des composants des gaz selon le sixième rapport d'évaluation du GIEC [12] ou [13]

Nom du gaz	GWP ₁₀₀
Air comprimé/air synthétique	0
N ₂	0
O ₂	0
CO ₂	1
C5-FK (C ₅ F ₁₀ O)	0,29 [13]
C4-FN (C ₄ F ₇ N)	2 750 [12]

A.7 Réduction de l'impact environnemental lié à l'utilisation des gaz dans les matériels électriques

En témoignent les données compilées sur 50 ans concernant le SF₆ et ses mélanges, les défaillances majeures à l'origine de rejets soudains de gaz sont relativement rares. Les quantités émises dans de tels cas extrêmes sont également très limitées en raison de la conception compartimentée des produits contenant une quantité plus élevée de gaz, ce qui permet de circonscrire le défaut. Les quantités de gaz émises correspondent donc à de petites fractions de la quantité totale de gaz contenue dans un poste électrique.

L'industrie électrique utilise des gaz non naturels en boucle fermée, en les stockant par exemple dans des appareillages à isolation gazeuse (GIS, *Gas-Insulated Switchgear*), des disjoncteurs à moyenne et haute tension, des lignes à isolation gazeuse (LIG), des transformateurs de tension à isolation gazeuse (GVT, *Gas-Insulated Voltage Transformer*) et des transformateurs de puissance à isolation gazeuse (GIT, *Gas-Insulated Power Transformer*). Pour éviter tout rejet délibéré de gaz non naturels dans l'environnement, la récupération des gaz est donc de la plus haute importance.

Il convient d'évaluer l'impact environnemental de tout matériel électrique en appliquant l'approche par analyse du cycle de vie (ACV), par exemple, conformément à l'IEC TS 62271-320³ [14].

³ En cours d'élaboration. Stade au moment de la publication: IEC/CD TS 62271-320:2023.

Pour réduire l'impact environnemental global, l'approche consiste à:

- concevoir le matériel avec une quantité réduite de matériaux et des taux de fuite plus faibles. Consulter l'IEC 62271-1:2017;
- améliorer les processus et les matériels de manipulation à toutes les étapes du cycle de vie. Consulter l'IEC 62271-4;
- réduire le plus possible les émissions de gaz non naturels pendant les essais, la fabrication, l'installation, l'exploitation et la maintenance du matériel électrique;
- revaloriser les gaz autres que l'air comprimé et les gaz d'origine naturelle en fin de vie du matériel conformément à l'IEC 62271-4;
- concevoir des matériels électriques plus compacts pour réduire ainsi la consommation de matériaux et/ou concevoir un circuit de courant principal permettant d'obtenir une faible résistance ohmique et ainsi de réduire les pertes par effet Joule pendant l'exploitation du matériel électrique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 63360:2025

Annexe B (informative)

Techniques de détection sur site

Les méthodes d'analyse décrites dans la présente annexe concernent les mesurages sur site de la qualité des gaz. Les mesurages sur site sont généralement effectués à l'aide d'analyseurs mobiles. Des échantillons de gaz peuvent également être prélevés et envoyés au laboratoire pour une analyse plus détaillée et une meilleure précision. Toutes les méthodes de mesure indiquées pour les mesurages sur site peuvent également être effectuées en laboratoire en plus d'autres techniques de mesure de laboratoire reconnues comme la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (GC-MS, *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*) et l'absorption dans l'infrarouge.

Les méthodes de mesure étant en constante évolution, de nouvelles méthodes techniques de détection sur site peuvent devenir disponibles dans le commerce pour l'analyse des gaz. Par conséquent, les méthodes de détection indiquées du Tableau B.1 au Tableau B.5 ne sont pas exhaustives.

Tableau B.1 – Techniques de détection pour l'analyse de l'air synthétique

Substance	Technique de détection	Plage de mesure type	Précision type
N ₂	–	–	–
O ₂	Paramagnétique	0 % à 25 %	±0,2 %
	Électrolytique/polymère/galvanique	0 % à 25 %	±0,2 %
H ₂ O	Miroir refroidi ^a	–50 °C à +2 °C ^b [40 µl/l (ppmv) à 23 000 µl/l (ppmv)]	±0,5 °C
	Capacitive	10 µl/l (ppmv) à 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C à +20 °C] ^b	±4 °C à –60 °C jusqu'à ±2 °C à +20 °C
	Absorption dans l'infrarouge	10 µl/l (ppmv) à 23 000 µl/l (ppmv) [–60 °C à +20 °C] ^b	±20 µl/l (ppmv) [< –30 °C / < 375 µl/l (ppmv)]; ±0,5 °C [> –30 °C / > 375 µl/l (ppmv)]
	MCQ (microbalance à cristal de quartz)	10 µl/l (ppmv) à 1 000 µl/l (ppmv) [–60 °C à +20 °C] ^b	±2 °C
^a La technique du miroir refroidi mesure directement les points de gelée ou de rosée à une pression donnée. D'autres techniques appliquent une étape de conversion pour déterminer les points de gelée ou de rosée.			
^b Point de gelée inférieur à 0 °C / Point de rosée supérieur à 0 °C.			