

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC
1634**

Première édition
First edition
1995-04

**Appareillage à haute tension –
Utilisation et manipulation de gaz
hexafluorure de soufre (SF₆)
dans l'appareillage à haute tension**

**High-voltage switchgear and controlgear –
Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆)
in high-voltage switchgear and controlgear**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1634: 1995

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*, which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**RAPPORT
TECHNIQUE – TYPE 2
TECHNICAL
REPORT – TYPE 2**

**CEI
IEC
1634**

Première édition
First edition
1995-04

**Appareillage à haute tension –
Utilisation et manipulation de gaz
hexafluorure de soufre (SF₆)
dans l'appareillage à haute tension**

**High-voltage switchgear and controlgear –
Use and handling of sulphur hexafluoride (SF₆)
in high-voltage switchgear and controlgear**

© CEI 1995 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XC**

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

AVA Documents
Document Sharing Hub

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
INTRODUCTION	12

SECTION 1: GÉNÉRALITÉS

Articles

1.1	Domaine d'application	16
1.2	Références normatives	16
1.3	Caractéristiques générales du gaz SF ₆	18
1.4	Utilisation du SF ₆ dans l'appareillage	18
1.5	Définitions	18
1.5.1	Tensions assignées	20
1.5.2	Construction	20
1.6	Types d'enveloppes contenant le gaz	22
1.7	Quantité de SF ₆ utilisée dans l'appareillage	22
1.8	Autres utilisations du SF ₆	22
1.9	Conseils d'utilisation du SF ₆ et de ses produits de décomposition	22
1.9.1	Cycle de vie de l'équipement – sections 2 à 6	24
1.9.2	Informations techniques	24

SECTION 2: MISE EN ŒUVRE DU SF₆ NEUF

2.1	Achat	24
2.2	Manipulation et stockage des bouteilles	24
2.3	Matériel pour la manipulation du SF ₆ neuf	26
2.4	Travailler avec du SF ₆ neuf	26
2.4.1	Travaux à l'intérieur	26
2.4.2	Travaux à l'extérieur	28
2.5	Remplissage des appareillages avec du SF ₆ neuf	28
2.5.1	Procédures de remplissage	28
2.5.2	Étanchéité des équipements remplis au SF ₆	30
2.5.3	Vérifications de la qualité du SF ₆ après remplissage	30
2.6	Echappement de SF ₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage	32
2.6.1	Echappement de SF ₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage d'un équipement moyenne tension	32
2.6.2	Echappement de SF ₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage d'un équipement haute tension	32

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
INTRODUCTION	13

SECTION 1: GENERAL

Clause

1.1	Scope	17
1.2	Normative references	17
1.3	General characteristics of SF ₆ gas	19
1.4	Application of SF ₆ in switchgear and controlgear	19
1.5	Definitions	19
1.5.1	Rated voltage	21
1.5.2	Construction	21
1.6	Types of gas enclosure	23
1.7	Quantities of SF ₆ used in switchgear and controlgear	23
1.8	Other uses of SF ₆ gas	23
1.9	Guidance for working with SF ₆ gas and its decomposition products	23
1.9.1	Equipment life cycle – sections 2 to 6	25
1.9.2	Technical information	25

SECTION 2: WORKING WITH NEW SF₆ GAS

2.1	Purchasing	25
2.2	Handling and storage of cylinders	25
2.3	Equipment for handling new SF ₆	27
2.4	Working with new SF ₆	27
2.4.1	Indoor working	27
2.4.2	Outdoor working	29
2.5	Filling switchgear and controlgear with new SF ₆	29
2.5.1	Filling procedures	29
2.5.2	Gas tightness of equipment filled with SF ₆	31
2.5.3	Checks on SF ₆ gas quality after filling	31
2.6	Release of SF ₆ gas to the atmosphere during filling	33
2.6.1	Release of SF ₆ gas to the atmosphere during filling of medium-voltage equipment	33
2.6.2	Release of SF ₆ gas to the atmosphere during filling of high-voltage equipment	33

SECTION 3: FUI TE DE SF₆ D'UN ÉQUIPEMENT EN SERVICE

3.1	Types d'enveloppes remplies au gaz	32
3.2	Implications des fuites	34
3.3	Fuite anormale	36
3.4	Sécurité du personnel	36
3.4.1	Installations à l'extérieur	36
3.4.2	Installations à l'intérieur	36
3.5	Implications des fuites sur l'environnement	38
3.5.1	Evaluation des fuites provenant des équipements moyenne tension	38
3.5.2	Evaluation des fuites provenant des équipements haute tension	38

SECTION 4: MANIPULATION DU SF₆ USAGÉ

4.1	Circonstances nécessitant la manipulation de SF ₆ usagé	40
4.2	Matériel requis pour manipuler le SF ₆ usagé	40
4.2.1	Matériel de manipulation de gaz	40
4.2.2	Matériel de sécurité du personnel	40
4.3	Travailler avec du SF ₆ usagé	42
4.3.1	Formation du personnel	42
4.3.2	Équipements et services	42
4.3.3	Travaux à l'extérieur	42
4.3.4	Travaux à l'intérieur	42
4.3.5	État du SF ₆ dans une enveloppe	44
4.3.6	Retirer le SF ₆ usagé d'une enveloppe	46
4.3.7	Ouverture et pénétration dans une enveloppe	48
4.4	Echappement de SF ₆ usagé dans l'atmosphère	50

SECTION 5: ÉCHAPPEMENT ANORMAL DE SF₆

5.1	Circonstances menant à un échappement anormal de SF ₆	50
5.2	Fuite anormale	50
5.3	Echappement anormal issu d'un défaut interne	52
5.3.1	Composition du SF ₆ et des produits de décomposition échappés	54
5.3.2	Installations à l'extérieur	54
5.3.3	Installations à l'intérieur	54
5.4	Echappement anormal de gaz dû à un incendie	54
5.4.1	Décomposition du SF ₆ échappé	56
5.4.2	Installations à l'extérieur	56
5.4.3	Installations à l'intérieur	56
5.4.4	Précautions à prendre pendant et après un incendie	58

SECTION 3: LEAKAGE OF SF₆ FROM EQUIPMENT IN SERVICE

3.1	Types of gas-filled enclosure	33
3.2	The implications of leakage	35
3.3	Abnormal leakage	37
3.4	Safety of personnel	37
3.4.1	Outdoor installations	37
3.4.2	Indoor installations	37
3.5	Environmental implications of leakage	39
3.5.1	Estimation of leakage from medium-voltage equipment	39
3.5.2	Estimation of leakage from high-voltage equipment	39

SECTION 4: HANDLING OF USED SF₆

4.1	Circumstances where handling of used SF ₆ is necessary	39
4.2	Equipment required when handling used SF ₆	41
4.2.1	Gas handling equipment	41
4.2.2	Personal safety equipment	41
4.3	Working with used SF ₆	41
4.3.1	Training of workers	43
4.3.2	Facilities and services	43
4.3.3	Outdoor working	43
4.3.4	Indoor working	43
4.3.5	Condition of the SF ₆ in an enclosure	45
4.3.6	Removing used SF ₆ from an enclosure	47
4.3.7	Opening and entering an enclosure	49
4.4	Release of used SF ₆ to the atmosphere	51

SECTION 5: ABNORMAL RELEASE OF SF₆

5.1	Circumstances leading to abnormal release of SF ₆	51
5.2	Abnormal leakage	51
5.3	Abnormal release due to internal fault	53
5.3.1	Composition of SF ₆ and by-products released	53
5.3.2	Outdoor installations	55
5.3.3	Indoor installations	55
5.4	Abnormal release due to external fire	55
5.4.1	Decomposition of released SF ₆	57
5.4.2	Outdoor installations	57
5.4.3	Indoor installations	57
5.4.4	Precautions during and following a fire	59

SECTION 6: FIN DE VIE DE L'ÉQUIPEMENT REMPLI AU SF₆

6.1	Généralités	58
6.2	Matériaux contenus dans l'appareillage	60
6.3	Quantité de produits de décomposition du SF ₆	60
6.4	Options pour le traitement de l'équipement en fin de vie	62
6.4.1	Option 1: Traitement complet par sous-traitance	62
6.4.2	Option 2: Retrait du SF ₆ par l'utilisateur; traitement par sous-traitance	62
6.4.3	Option 3: Traitement complet par l'utilisateur	62
6.5	Traitement de l'équipement rempli au SF ₆ en fin de vie	62
6.5.1	Retrait et traitement du SF ₆	64
6.5.2	Traitement de l'enveloppe à gaz	64
6.5.3	Solution neutralisante pour les produits de décomposition solides du SF ₆	64
6.5.4	Élimination des solutions usagées de nettoyage et de neutralisation	66
6.5.5	Traitement et élimination des dépôts de poudre et des adsorbants	66
6.5.6	Traitement des pièces retirées des enveloppes remplies au SF ₆	68
6.5.7	Traitement des outils et des vêtements	68

Annexes

A	Hexafluorure de soufre neuf	70
B	Produits de décomposition du SF ₆	78
C	Echappement du SF ₆ de l'appareillage – Effets potentiels sur la santé	86
D	Effets du SF ₆ sur l'environnement	132
E	Recommandations générales de sécurité, équipements de protection du personnel et de premiers soins	138
F	Détection et concentrations maximales recommandées de SF ₆ neuf ou usagé dans l'air	146
G	Bibliographie	154

SECTION 6: END OF LIFE OF SF₆-FILLED EQUIPMENT

6.1	General	59
6.2	Material content of switchgear and controlgear	61
6.3	Quantity of SF ₆ decomposition products	61
6.4	Options for treatment of equipment at end of life	63
6.4.1	Option 1: Complete treatment by a sub-contractor	63
6.4.2	Option 2: Removal of the SF ₆ by the user; treatment by a sub-contractor ..	63
6.4.3	Option 3: Complete treatment by the user	63
6.5	Treatment at end of life of SF ₆ -filled equipment	63
6.5.1	Removal and treatment of the SF ₆	65
6.5.2	Treatment of the gas enclosure	65
6.5.3	Solution for neutralisation of solid SF ₆ decomposition products	65
6.5.4	Disposal of cleaning and neutralising fluids	67
6.5.5	Treatment and disposal of powder deposits and adsorbents	67
6.5.6	Treatment of parts removed from SF ₆ -filled enclosures	69
6.5.7	Treatment of tools and clothing	69

Annexes

A	New sulphur hexafluoride	71
B	SF ₆ decomposition products	79
C	Release of SF ₆ from switchgear and controlgear – Potential effects on health	87
D	Environmental effects of SF ₆	133
E	General safety recommendations, equipment for personal protection and first aid	139
F	Detection and recommended maximum concentrations of new and used SF ₆ in air	147
G	Bibliography	155

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION – UTILISATION ET MANIPULATION DE GAZ HEXAFLUORURE DE SOUFRE (SF₆) DANS L'APPAREILLAGE À HAUTE TENSION

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR –
USE AND HANDLING OF SULPHUR HEXAFLUORIDE (SF₆)
IN HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

La CEI 1634, rapport technique de type 2, a été établie par le sous-comité 17A: Appareillage à haute tension, du comité d'études 17 de la CEI: Appareillage.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
17A(Sec)433 10(Sec)334 17C(Sec)155	17A/449/RVC

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de ce rapport technique.

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine de l'appareillage à haute tension car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en œuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

IEC 1634, which is a technical report of type 2, has been prepared by sub-committee 17A: High-voltage switchgear and controlgear, of IEC technical committee 17: Switchgear and controlgear.

The text of this technical report is based on the following documents:

Committee draft	Report on voting
17A(Sec)433 10(Sec)334 17C(Sec)155	17A/449/RVC

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

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of high-voltage switchgear and controlgear because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

INTRODUCTION

Le SF₆ est utilisé dans l'appareillage depuis plus de 30 années. Il est principalement utilisé dans les équipements dont la tension assignée va de 1 kV jusqu'aux plus hautes tensions assignées pour lesquelles l'appareillage est fabriqué. On estime à plusieurs millions le nombre de différents types d'appareils remplis au SF₆ en service actuellement.

La longue expérience d'utilisation du SF₆ dans l'appareillage a démontré qu'il n'y avait aucun problème majeur quant à son utilisation, sous réserve du respect des précautions élémentaires et du suivi des procédures préalablement établies.

Un certain nombre de normes internationales et nationales et de règlements recouvrent les différents aspects relatifs au SF₆. De plus, de nombreux articles et mémoires techniques sont consacrés au SF₆ et à son utilisation. Une revue complète de la littérature existante a été réalisée par le WG 23.03 du CIGRE [1]*. Dans ce rapport, figurent les résultats d'une étude sur la sécurité du personnel travaillant sur des équipements isolés au gaz (GIS). Très peu d'accidents corporels ont été relevés, parmi lesquels un seul cas de dommages à caractère permanent. Le rapport précise: «Il est à noter qu'à chaque fois qu'un accident est survenu, les personnes ne portaient pas les vêtements de sécurité appropriés et ne respectaient pas les procédures de sécurité préconisées».

Le SF₆ est utilisé dans les systèmes à pression autonome, ou scellés. La faible quantité de SF₆ qui peut s'échapper dans l'atmosphère, n'altère pas la couche d'ozone, et n'a qu'une infime contribution sur l'effet de serre.

Les produits de décomposition issus du SF₆, résultant d'effets thermiques à l'intérieur de l'appareillage (échauffement, arcs, étincelles, décharges, etc.) peuvent présenter une certaine toxicité. Cependant, le risque réel, lié à la toxicité, dépend de la concentration dans la salle d'appareillage, ainsi que du temps d'exposition. En prenant ces facteurs en considération, il est démontré que la présence de SF₆ ne représente pas un plus grand risque pour un opérateur, aussi bien en fonctionnement normal qu'en cas d'incidents (défaut interne, incendie), que les autres matériaux employés (métaux, plastiques, etc.), qui sont utilisés dans tous les types d'appareillage.

Il convient d'estimer le risque global de toxicité et d'atteinte à la santé des personnes, provenant du SF₆ décomposé, en fonction de la quantité de fluorure de thionyle (SOF₂) généré. Le SOF₂ se décompose avec le temps en présence d'humidité, pour former du dioxyde de soufre (SO₂) et du fluorure d'hydrogène (HF). Les effets toxiques de ce mélange ne sont pas très différents de ceux du SOF₂.

Cinq situations liées à l'utilisation du SF₆ sont décrites ci-après:

- a) Utilisation de SF₆ neuf: remplissage.
- b) Conditions normales de fonctionnement de l'appareillage au SF₆: fuite.
- c) Intervention sur du SF₆ usagé, pouvant contenir des produits de décomposition du SF₆: maintenance ou extension d'appareillage.

* Les chiffres entre crochets renvoient à l'annexe G, «Bibliographie».

INTRODUCTION

SF₆ gas has been used in electrical switchgear and controlgear for more than 30 years. Its application is mainly in equipment for rated voltages exceeding 1 kV up to the highest rated voltages for which switchgear and controlgear are manufactured. It is estimated that several millions of the different types of SF₆-filled units are currently in service.

The long experience with SF₆ in electrical switchgear and controlgear has demonstrated that there are no major problems concerning its use, provided that certain elementary precautions and procedures are established and observed.

A number of international and national standards and codes of practice exist, covering various aspects of SF₆ gas. Additionally, many articles and technical papers on SF₆ and its use have been written. An extensive literature survey is given in a report prepared by WG 23.03 of CIGRE [1]*; the report includes the results of a survey concerning the safety of personnel working with GIS equipment. Very few injuries were reported including only one with any permanent consequences. The report states: "It should be noted that in all cases where injury occurred, the individuals concerned did not wear proper protective clothing and did not adopt proper safety procedures".

SF₆ is used in closed or sealed pressure systems. The small quantity of SF₆ which may leak into the atmosphere does not deplete the ozone layer and has a negligible influence on the greenhouse effect.

The by-products of SF₆ created in switchgear and controlgear by thermal effects (heating, arcing, spark, discharge, etc.) may have toxic properties. However, the real toxicity depends on the concentration in the switchgear and controlgear room and the exposure time. Taking these factors into consideration it is shown that the presence of SF₆ does not impose a greater risk to the operator under normal (operating) or abnormal (internal fault, fire) conditions than the other materials used in any other type of switchgear and controlgear (metals, plastics, etc.).

The overall toxicity and health risks to persons due to arced SF₆ should be estimated using the quantity of thionyl fluoride (SOF₂) generated. SOF₂ decomposes in time in the presence of moisture to form sulphur dioxide (SO₂) and hydrogen fluoride (HF). The toxic effects of this mixture are not greatly different from those due to SOF₂.

Five situations are dealt with concerning working with SF₆:

- a) Working with new SF₆: filling.
- b) SF₆ switchgear and controlgear under normal service conditions: leakage.
- c) Working with used SF₆ which may contain decomposition products: maintenance or extension of switchgear and controlgear.

* The figures in square brackets refer to annex G, "Bibliography".

d) Conditions anormales: par exemple, défaut d'arc interne ou incendie provoquant l'ouverture de l'enveloppe.

1) Pendant et immédiatement après le défaut: sécurité des personnes.

2) Après le défaut ou l'incendie: travaux de remise en état.

e) Fin de vie de l'appareillage: recyclage, enlèvement.

Les valeurs limites approximatives de concentration sont indiquées ci-dessous pour les différents cas. Ces valeurs, données à titre indicatif pour les cas où l'on peut procéder à des mesures, se rapportent à la concentration maximale admissible (le TLV) pour le gaz concerné. Si ces valeurs sont dépassées, il convient de ventiler jusqu'à ce que les concentrations redeviennent admissibles. Si cela n'est pas possible, il convient d'utiliser des appareils respiratoires.

Pour le cas a) (remplissage):

1 000 ppmv de SF_6 .

C'est la valeur de TLV pour le SF_6 neuf.

Pour les cas b) (fuite), c) (maintenance et extensions), et e) (fin de vie):

1,6 ppmv de SOF_2 ou 200 ppmv de SF_6 .

La valeur indiquée pour le SOF_2 est le TLV de ce produit. Elle ne tient pas compte d'une éventuelle hydrolyse du SOF_2 aboutissant à la formation de SO_2 et de HF. Afin de prendre en compte ce phénomène et de simplifier les prescriptions de mesure et d'interprétation, on indique également une limite de concentration de 200 ppmv de SF_6 . Cette valeur correspond à un mélange d'air ambiant et de SF_6 ayant subi une *décomposition moyenne*. Elle tient compte des TLV des composants potentiellement toxiques SOF_2 , SO_2 et HF.

Pour le cas d)2) (suite à un défaut interne ou à un incendie extérieur):

1,6 ppmv de SOF_2 ou 20 ppmv de SF_6 .

La valeur indiquée pour le SOF_2 est le TLV de ce produit. Une autre limite de concentration utilisable de 20 ppmv de SF_6 est indiquée, qui correspond à un mélange d'air ambiant et d'un faible volume de SF_6 ayant subi une *forte décomposition*. Elle tient compte du TLV du SOF_2 et d'une possible (quoique improbable) hydrolyse.

Pour le cas d)1) (par exemple pendant, et immédiatement après un défaut interne), l'évacuation du personnel sera la réaction première. Pour ce genre d'exposition de courte durée, il n'existe pas de limite établie pour la concentration en SOF_2 .

Afin d'évaluer les risques potentiels pour la santé dans ce genre de cas exceptionnels, les concentrations probables de SOF_2 dans l'atmosphère de la salle d'appareillage sont calculées pour différents cas de défauts. Ces concentrations sont ensuite comparées avec une valeur de référence pour les expositions momentanées non répétitives.

Une valeur de référence de 500 ppmv de SOF_2 dans l'air a été adoptée. Elle provient de recherches toxicologiques effectuées sur des lapins exposés pendant 1 h. On suppose qu'en cas de défaut, le temps d'exposition serait nettement inférieur à cette durée, et que l'exposition momentanée de personnes à ce niveau ne représente pas un risque inacceptable.

- d) Abnormal situations: e.g. internal fault or external fire provoking opening of the enclosure.
- 1) During and immediately after the fault: operator safety.
 - 2) After the fault or external fire: restorative work.
- e) End of life of equipment: recycling, disposal.

Approximate concentration limit values are given below for the different situations. These values are indications for those cases where measurements can be made and are related to the threshold limit value (the TLV) of the corresponding gas. If these values are exceeded, ventilation should be used until the concentrations fall to acceptable values. If this cannot be achieved, respirators should be used.

For situation a) (filling):
1 000 ppmv of SF₆.

This is the TLV for new SF₆.

For situations b) (leakage), c) (maintenance and extension) and e) (end of life):
1,6 ppmv of SOF₂ or 200 ppmv SF₆.

The value given for SOF₂ is the TLV of SOF₂. This does not take account of the possible hydrolysis of SOF₂ whereby SO₂ and HF are formed. In order to take account of this and to simplify the requirements for measurement and interpretation, a concentration limit of 200 ppmv SF₆ is also given. This value corresponds to a mixture of the ambient air with SF₆ which has been subjected to *medium decomposition*. It takes account of the TLVs of the potentially toxic components SOF₂, SO₂ and HF.

For situation d)2) (after an internal fault or external fire):
1,6 ppmv of SOF₂ or 20 ppmv SF₆.

The value given for SOF₂ is the TLV of SOF₂. An alternative concentration limit of 20 ppmv SF₆ is given which corresponds to a mixture of the ambient air with a small volume of SF₆ which has been subjected to *high decomposition*. It takes account of the TLV of SOF₂ and allows for possible (although unlikely) hydrolysis.

For situation d)1) (for example during and immediately after an internal fault), evacuation will be the initial response. For such short-term exposure there is no established limit for the SOF₂ concentration.

In order to assess the potential risks to health in such exceptional cases, the likely SOF₂ concentrations in the switchroom atmosphere are calculated for various fault situations. These concentrations are then compared with a reference value for non-repetitive momentary exposure.

A reference value of 500 ppmv SOF₂ in air has been adopted. This is taken from toxicological research performed on rabbits which were exposed for a period of 1 h. It is assumed that in a fault situation, the exposure time would be significantly shorter than this and that momentary exposure of persons to this level will not present unacceptable risk.

APPAREILLAGE À HAUTE TENSION – UTILISATION ET MANIPULATION DE GAZ HEXAFLUORURE DE SOUFRE (SF₆) DANS L'APPAREILLAGE À HAUTE TENSION

Section 1: Généralités

1.1 Domaine d'application

Jusqu'à présent, aucun document international ne donnait de conseils de sécurité concernant le personnel travaillant avec du SF₆. Ce rapport a pour objet de les donner.

Il est impossible d'inclure toutes les instructions existantes relatives au SF₆ dans ce rapport, qui couvre principalement les domaines relatifs à la sécurité, et donne des informations de base et des conseils quant à l'emploi du SF₆ dans l'appareillage, dans des conditions de fonctionnement normal ou défectueux.

Il convient de considérer ces recommandations comme le minimum nécessaire pour garantir la sécurité du personnel travaillant avec du SF₆.

Ce rapport ne concerne que l'appareillage rempli de SF₆ industriellement pur.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent Rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent Rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 56: 1987, *Disjoncteurs à courant alternatif à haute tension*

CEI 298: 1990, *Appareillage sous enveloppe métallique pour courant alternatif de tensions assignées supérieures à 1 kV et inférieures ou égales à 52 kV*

CEI 376: 1971, *Spécifications et réception de l'hexafluorure de soufre neuf*

CEI 480: 1974, *Guide relatif au contrôle de l'hexafluorure de soufre (SF₆) prélevé sur le matériel électrique*

CEI 517: 1990, *Appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse de tension assignée égale ou supérieure à 72,5 kV*

CEI 695-7-1: 1993, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 7: Guide sur la minimisation des risques toxiques dus à des feux impliquant des produits électrotechniques – Section 1: Généralités*

HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR – USE AND HANDLING OF SULPHUR HEXAFLUORIDE (SF₆) IN HIGH-VOLTAGE SWITCHGEAR AND CONTROLGEAR

Section 1: General

1.1 Scope

Up to now there has been no international document giving guidance with regard to the safety of personnel working with SF₆. To give such guidance is the aim of this report.

It is impossible to incorporate all the existing instructions relating to SF₆ in this report, which considers mainly safety aspects and gives basic information and guidelines for working with SF₆ used in switchgear and controlgear during normal and abnormal service conditions.

These recommendations should be considered as the minimum necessary to ensure the safety of personnel who work with SF₆.

This report is concerned with switchgear and controlgear filled with industrially pure SF₆ gas.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this technical report. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this technical report are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 56: 1987, *High-voltage alternating-current circuit-breakers*

IEC 298: 1990, *A.C. metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages above 1 kV and up to and including 52 kV*

IEC 376: 1971, *Specification and acceptance of new sulphur hexafluoride*

IEC 480: 1974, *Guide to the checking of sulphur hexafluoride (SF₆) taken from electrical equipment*

IEC 517: 1990, *Gas-insulated metal-enclosed switchgear and controlgear for rated voltages of 72,5 kV and above*

IEC 695-7-1: 1993, *Fire hazard testing – Part 7: Guidance on the minimization of toxic hazard due to fires involving electrotechnical products – Section 1: General*

1.3 Caractéristiques générales du gaz SF₆

Le SF₆ propre et non utilisé est incolore, inodore, et n'a aucun goût. Il est incombustible et est chimiquement inerte aux températures ambiantes. Bien qu'en principe un mélange de 20 % d'oxygène et de 80 % de SF₆ pur puisse être inhalé sans effet nocif, il est généralement admis que la concentration maximale acceptable dans le cadre d'un travail de 8 h par jour est de 1 000 ppm volume (ppmv) (voir A.5). Cette valeur n'est en rien une limite liée à la toxicité, mais une valeur fixée par convention pour tous les gaz non toxiques et inoffensifs qui ne sont pas naturellement présents dans l'atmosphère depuis longtemps.

Les propriétés générales du SF₆ neuf sont décrites dans la section 2 de la CEI 376 et dans l'annexe A de ce rapport. Les méthodes acceptables d'emploi du SF₆ neuf sont décrites dans la section 2 de ce rapport.

Des conseils pour travailler en toute sécurité avec le SF₆ sont nécessaires pour les raisons suivantes:

a) Le SF₆ est cinq fois plus dense que l'air et, s'il est libéré dans l'atmosphère en quantité suffisante, il a tendance au départ à s'accumuler vers le bas. Le risque d'asphyxie dû à un déficit en oxygène est alors réel pour le personnel travaillant en dessous du niveau du sol (par exemple, dans une galerie ou une tranchée). Après un certain temps d'aération qui dépend de l'intensité du mouvement de l'air, le SF₆ se disperse dans l'atmosphère environnante.

b) Le SF₆ se décompose à des températures élevées (au-delà de 500 °C environ en l'absence de matériaux catalytiques). Ce phénomène de décomposition peut éventuellement se produire si le gaz est chauffé (par exemple, par une flamme) et se produit si le gaz est soumis à un arc électrique, une étincelle ou autre type de décharge électrique. Certains produits de décomposition peuvent présenter des effets toxiques, mais dans les appareillages fonctionnant normalement, ceux-ci restent confinés à l'intérieur d'un environnement bien contrôlé et fermé.

Lorsque des opérations de maintenance sont à effectuer, ou si du gaz est libéré dans l'atmosphère, des précautions pour assurer la sécurité du personnel sont requises (voir sections 4 et 5).

c) Le gaz SF₆, quand il est libéré dans l'atmosphère, a une durée de vie relativement longue. Il est donc souhaitable de minimiser la quantité libérée. L'annexe D fournit des informations sur les effets du SF₆ sur l'environnement.

1.4 Utilisation du SF₆ dans l'appareillage

Les principales caractéristiques du SF₆ qui en font un produit particulièrement adapté à une utilisation dans le matériel électrique sont:

- sa tenue diélectrique élevée;
- son excellente capacité d'extinction d'arc;
- sa haute stabilité chimique et sa non-toxicité.

1.5 Définitions

Il existe de nombreux types d'appareillages utilisant le SF₆ comme gaz diélectrique ou comme milieu d'extinction d'arcs. Pour les besoins du présent Rapport technique, les définitions suivantes s'appliquent:

1.3 General characteristics of SF₆ gas

Clean, unused SF₆ gas has no colour, smell or taste. It is non-combustible and is chemically inert at room temperatures. Although in principle a mixture of 20 % oxygen and 80 % pure SF₆ can be inhaled without adverse effect, it is generally accepted that the maximum concentration permitted in a working environment during an 8 h period of exposure is 1 000 ppm by volume (see A.5). This value is not related to toxicity, but is an established limit for all non-toxic, harmless gases which have not been present in the atmosphere for a long period of time.

The general properties of new SF₆ are described in section 2 of IEC 376 and in annex A of this report. Acceptable methods of working with new SF₆ are given in section 2 of this report.

Guidance for working safely with SF₆ is required for the following reasons:

a) SF₆ gas is about five times heavier than air and will, if released into the atmosphere in a sufficient quantity, tend to accumulate initially in low-lying areas. This could present a danger of asphyxiation due to oxygen deficiency if personnel are working, for example, below ground in ducts or trenches. After a period of time depending on the amount of air movement, the SF₆ becomes diffused into the surrounding atmosphere.

b) SF₆ decomposes at high temperatures (above about 500 °C in the absence of catalytic material). Decomposition may occur if the gas is heated for example by a flame and will occur if there is an electric arc, spark or other electrical discharge within it. Some of the decomposition products may have toxic effects, but under normal service conditions in switchgear and controlgear these are contained within a well-controlled and enclosed environment.

When maintenance is required, or if gas is exhausted into the atmosphere, precautions are needed to ensure the safety of personnel (see sections 4 and 5).

c) SF₆ gas, when released into the atmosphere, has a relatively long life. It is therefore desirable to minimise the quantity released. Annex D provides information concerning the effects of SF₆ gas on the environment.

1.4 Application of SF₆ in switchgear and controlgear

The main features of SF₆ which determine its suitability for use in electrical equipment are:

- its high dielectric strength;
- its excellent arc-quenching capabilities;
- its high chemical stability and non-toxicity.

1.5 Definitions

There are many different types of switchgear and controlgear which use SF₆ gas as a dielectric and/or arc-quenching medium. For the purpose of this Technical Report, the following definitions apply:

1.5.1 Tensions assignées

moyenne tension: Tension assignée comprise entre 1 kV et 52 kV inclus.

haute tension: Tension assignée au-delà de 52 kV.

Cette distinction est précisée, car il existe souvent de grandes différences de conception, de construction et de taille entre les deux catégories.

1.5.2 Construction

appareils sous enveloppe: Equipement principalement à isolement dans l'air, le SF₆ étant contenu à l'intérieur de l'enceinte de coupure réalisée en métal ou en résine moulée. Les disjoncteurs et interrupteurs-sectionneurs moyenne tension utilisant du SF₆ sont souvent conçus de cette façon.

appareillage bloc isolé au SF₆: L'appareillage de coupure d'artère (RMU) moyenne tension est souvent de ce type de construction.

appareils isolés au gaz ou GIS: Equipement utilisant le SF₆ comme isolement principal. Les différents compartiments à l'intérieur de cet ensemble isolé au gaz contenant les diverses unités fonctionnelles (disjoncteur, interrupteur, jeu de barres) peuvent être physiquement isolés les uns des autres, de sorte que chacun peut être considéré comme une enveloppe séparée isolée au gaz.

appareils ouverts: Appareils conçus pour être directement raccordés sur lignes ou sur câbles.

1.5.3 SF₆ neuf: Le SF₆ neuf ou de qualité fournisseur répond aux exigences de pureté décrites dans la CEI 376. Ces conditions et les propriétés du gaz sont décrites dans l'annexe A.

Le SF₆ neuf est chimiquement inerte à des températures normales, il est incolore, inodore, n'a pas de goût, et est non toxique [2]. C'est un agent asphyxiant, agissant par déplacement de l'air. En tant que tel, il peut constituer un danger s'il est libéré en quantité et plus particulièrement dans un espace clos.

Tout SF₆ ne répondant pas à ces critères est considéré comme usagé (voir section 4).

1.5.4 fuite: Une fuite dans un équipement en service est un échappement fortuit et habituellement continu de gaz provenant de l'enveloppe d'un système à pression autonome ou scellé. La fuite se produit au niveau des joints d'étanchéité et des raccords, ou par diffusion moléculaire à travers certains matériaux constituant l'enveloppe. Le phénomène de fuite n'inclut pas le dégagement de gaz lors d'interventions sur le système destiné à le contenir.

1.5.5 SF₆ usagé: Du SF₆ qui a pu être contaminé par des impuretés ou qui a été soumis aux conditions de fonctionnement après la mise sous tension de l'appareillage.

L'annexe B fournit des informations sur les produits de décomposition du SF₆ qui se présentent sous forme gazeuse ou solide. Les quantités de produits de décomposition sont faibles, mais certains d'entre eux peuvent avoir des effets toxiques. Certaines précautions sont donc à prendre pendant la manipulation du SF₆ usagé.

1.5.6 manipulation: Toute intervention qui peut impliquer un contact avec du SF₆ usagé ou ses produits de décomposition par les opérateurs.

1.5.1 *Rated voltage*

medium-voltage: Rated voltages from 1 kV up to and including 52 kV.

high-voltage: Rated voltages above 52 kV.

This distinction is made because there are often significant differences in design, construction and size between the two categories.

1.5.2 *Construction*

enclosed equipment: Equipment using mainly air as the primary insulating medium. The SF₆ is contained in switching enclosures made from metal or cast resin. SF₆-filled medium-voltage circuit-breaker and load-break switch equipment is frequently of this type of construction.

SF₆-insulated cubicles: Medium-voltage Ring Main Units (RMU) are frequently of this type of construction.

gas-insulated or GIS: Equipment using mainly SF₆ as the primary insulating medium. Compartments within a gas-insulated assembly, containing various functional modules (circuit-breakers, switches, busbars), may be physically isolated from each other, such that each can be regarded as a separate gas enclosure.

open terminal apparatus: Item of equipment for direct connection to lines or cables.

1.5.3 new SF₆: New or supplier Quality SF₆ is SF₆ which complies with the requirements for purity stated in IEC 376. These requirements and the properties of the gas are detailed in annex A.

New SF₆ is chemically non-reactive at normal temperatures, has no colour, smell or taste and it is non-toxic [2]. It is an asphyxiant, acting by displacement of the air. As such it can constitute a hazard if released in quantity and especially into a confined space.

Any SF₆ not complying with the above definition will be regarded as used SF₆ (see section 4).

1.5.4 leakage: Leakage from equipment in service is the unplanned, usually continuous, emission of gas from a sealed or closed system. Leakage occurs at seals and joints and by molecular diffusion through certain enclosure materials. Leakage does not include releases of gas due to intervention with the systems intended to contain it.

1.5.5 used SF₆: SF₆ which may have been contaminated by impurities or which has been subjected to operating conditions after energisation of the switchgear and controlgear.

Annex B provides information regarding the decomposition products of SF₆, which occur as gaseous and solid by-products. The quantities of decomposition products are small but some of them may have toxic effects, so certain precautions are required when handling used SF₆.

1.5.6 handling: Any process which might involve contact of workers with used SF₆ or SF₆ decomposition products.

Cela comprend le retrait total, ou le prélèvement d'un échantillon pour essai, du SF₆ contenu dans l'appareillage, l'ouverture des enveloppes contenant du gaz, leur nettoyage après ouverture, et les travaux à l'intérieur des grandes enveloppes.

1.6 Types d'enveloppes contenant le gaz

Une enveloppe contenant le gaz, telle que généralement utilisée dans l'appareillage rempli au SF₆, est classée comme pouvant être:

- un système à pression autonome, ou
- un système à pression scellé.

(Voir l'annexe EE de la CEI 56, l'annexe GG de la CEI 298 et l'annexe DD de la CEI 517.)

Pour un système à pression autonome, la remise à niveau pour compenser les pertes dues aux fuites peut être nécessaire et dans le cadre d'une maintenance régulière, la vidange et le remplacement du gaz peuvent être effectués.

Dans les systèmes à pression scellés, le SF₆ est contenu dans des enveloppes scellées à vie qui ne sont jamais ouvertes pendant la durée de vie du matériel.

1.7 Quantité de SF₆ utilisée dans l'appareillage

La pression de SF₆ utilisé dans l'appareillage est en général relativement faible (0,1 MPa à 0,9 MPa absolu). La quantité de SF₆ utilisée dans un compartiment rempli au gaz dépend des caractéristiques et de la conception de l'équipement. Cette quantité varie dans une fourchette allant de 0,1 kilogramme pour un pôle d'un appareil de coupure moyenne tension jusqu'à plusieurs centaines de kilogrammes dans le plus grand compartiment d'un poste haute tension de type GIS.

La production mondiale annuelle de SF₆ est évaluée à environ 5 000 à 8 000 tonnes (1990), dont 2 000 à 4 000 tonnes sont utilisées dans l'appareillage haute tension.

1.8 Autres utilisations du SF₆

Le reste du SF₆ produit annuellement est utilisé dans d'autres applications haute tension, comme les câbles, les lignes de transport tubulaires, les transformateurs et les générateurs électrostatiques, et dans des applications non électriques, comme la détection de fuites, les études nécessitant un gaz traceur, les activités de fonderie et le double vitrage.

1.9 Conseils d'utilisation du SF₆ et de ses produits de décomposition

Ce rapport décrit l'utilisation du SF₆ et de ses dérivés chimiques produits dans l'appareillage en cours de fonctionnement normal et dans certaines conditions anormales. Deux principaux aspects sont traités

- les effets de l'exposition au SF₆ et de ses produits de décomposition sur l'homme;
- les effets du SF₆ et de ses produits de décomposition sur l'environnement.

Les risques liés au contact avec le SF₆ et les précautions à prendre sont examinés pour chaque étape du cycle de vie normale du matériel, ainsi que pour les cas de fonctionnement anormal.

This includes removing the gas from an item of switchgear or controlgear either completely or as a sample to be tested, opening a gas-filled enclosure, cleaning out an open enclosure and working inside large enclosures.

1.6 Types of gas enclosure

A gas enclosure as normally used in SF₆ switchgear and controlgear is classified as either:

- closed pressure system, or
- sealed pressure system.

(See annex EE of IEC 56, annex GG of IEC 298 and annex DD of IEC 517.)

For a closed pressure system, replenishment of losses due to leakage may be necessary and periodic maintenance involving removal and replacement of the gas is possible.

For a sealed pressure system, the SF₆ gas is in "sealed-for-life" enclosures, which are never opened during the service life of the equipment.

1.7 Quantities of SF₆ used in switchgear and controlgear

SF₆ gas in switchgear and controlgear is generally at relatively low pressure (0,1 MPa to 0,9 MPa absolute); the quantity used in a gas-filled compartment depends on the rating and design of the equipment. The quantity varies approximately between 0,1 kilogram in one pole of a medium-voltage switching device and several hundreds of kilograms in the largest compartment of a large high-voltage GIS substation.

The world production of SF₆ gas per year is estimated to be between 5 000 and 8 000 tonnes (1990). Of this, between 2 000 and 4 000 tonnes is used in high-voltage switchgear and controlgear.

1.8 Other uses of SF₆ gas

The remainder of the SF₆ produced annually is used in other high-voltage applications, for example in cables, tubular transmission lines, transformers and electrostatic generators and in non-electrical applications such as for leak detection, studies requiring a tracer gas, foundry practices and double glazing.

1.9 Guidance for working with SF₆ gas and its decomposition products

This report deals with working with SF₆ gas and those of its chemical derivatives which are produced in switchgear and controlgear during normal service and under certain abnormal conditions. Two main aspects are covered:

- the effects on humans of exposure to SF₆ and its decomposition products;
- the effects on the environment of SF₆ and its decomposition products.

The risks associated with contact with SF₆ gas and suitable precautions are discussed for each stage in the normal life cycle of an item of equipment and under abnormal conditions.

1.9.1 Cycle de vie de l'équipement – sections 2 à 6

1.9.1.1 Remplissage

A la fabrication et à la mise en oeuvre du matériel, celui-ci est rempli de SF₆ neuf. La section 2 traite de ce cas.

1.9.1.2 Fonctionnement normal

Quand le matériel est installé en service, une faible quantité de SF₆ s'échappe due aux fuites, pouvant contenir des produits de décomposition. La section 3 traite de ce cas.

1.9.1.3 Maintenance

Le SF₆ pouvant éventuellement contenir des produits de décomposition gazeux peut devoir être retiré. Il peut y avoir alors nécessité d'accès aux compartiments renfermant les produits de décomposition solides. Des conseils de sécurité sont donnés dans la section 4.

1.9.1.4 Echappement anormal

Le SF₆ peut s'échapper suite à un incident inhabituel, tel qu'une fuite anormale, un défaut interne, ou un incendie externe. Ce type d'incident est très rare. Des conseils sont donnés dans la section 5.

1.9.1.5 Fin du cycle de vie

Le SF₆ doit être retiré, et le matériel recyclé ou détruit. Ce cas est traité à la section 6.

1.9.2 Informations techniques

Les généralités techniques concernant le SF₆, ses produits de décomposition, leurs sources, toxicités et effets sur l'environnement et sur l'homme sont décrits dans les annexes.

Section 2: Mise en oeuvre du SF₆ neuf

Cette section fournit des conseils pour travailler avec du SF₆ neuf, c'est-à-dire lorsque l'enveloppe est remplie à l'usine, lors de la fabrication, ou après installation du matériel sur le site.

2.1 Achat

Les fabricants fournissent le SF₆ sous forme liquide dans des bouteilles de taille variable et sous une pression avoisinant les 2,2 MPa relatifs. Il convient que tout SF₆ acheté soit conforme à la CEI 376, et qu'il soit accompagné d'un certificat de conformité.

2.2 Manipulation et stockage des bouteilles

Les bouteilles doivent être manipulées avec précaution et conservées dans un endroit frais, sec et bien ventilé, à l'écart de tout matériel inflammable ou explosif. Il convient qu'elles soient aussi à l'abri d'une exposition directe au soleil, surélevées si le sol est humide, attachées pour éviter leur chute et posées, la vanne d'ouverture vers le haut.

1.9.1 *Equipment life cycle – sections 2 to 6*

1.9.1.1 *Filling*

Manufacture and commissioning of the equipment. It is filled with new SF₆. Section 2 deals with this stage.

1.9.1.2 *Normal service*

The equipment is installed and in service. It releases a small amount of SF₆ due to leakage, which may contain decomposition products. This is covered in section 3.

1.9.1.3 *Maintenance*

SF₆, possibly containing gaseous decomposition products may have to be removed. Access may be required to enclosures containing solid decomposition products. Section 4 provides guidance for safe working.

1.9.1.4 *Abnormal release*

Abnormal incidents, during which SF₆ gas is released, due to abnormal leakage, internal fault, or external fire are dealt with. Such incidents occur very infrequently. Guidance is given in section 5.

1.9.1.5 *End of life*

The SF₆ has to be removed and the equipment is recycled or disposed of. This is dealt with in section 6.

1.9.2 *Technical information*

General technical information concerning SF₆ gas, its decomposition products, their sources and toxicities and their effects on the environment and humans is given in the annexes.

Section 2: Working with new SF₆ gas

This section provides guidance for working with new SF₆, i.e. when a gas enclosure is filled, either in the factory or after the equipment has been installed on site.

2.1 Purchasing

SF₆ is supplied by manufacturers as a liquid in containers of various sizes at a pressure of approximately 2,2 MPa gauge. All SF₆ purchased should meet the requirements of IEC 376 and consignments should be accompanied by a certificate of compliance.

2.2 Handling and storage of cylinders

Cylinders shall be handled carefully and stored in a cool, dry, well-ventilated area away from flammable or explosive material. They should be protected from direct sunlight, mounted clear of wet ground and secured to prevent falling over, with their outlet valves upwards.

Il convient que les bouteilles soient clairement étiquetées pour faciliter l'identification du produit contenu, celles contenant du gaz neuf étant entreposées séparément de celles contenant du gaz usagé.

Comme pour tout gaz sous pression, il y a risque d'explosion si les bouteilles sont exposées à une trop forte chaleur comme ce serait le cas dans un incendie. Un stockage à l'extérieur, sous abri avec protection contre les intempéries et les radiations solaires, est recommandé.

2.3 Matériel pour la manipulation du SF₆ neuf

Le SF₆ neuf doit être transféré d'une bouteille sous haute pression vers l'enveloppe à gaz de l'appareillage ou équipement, pour la remplir. La pression de remplissage est toujours très inférieure à la pression de la bouteille. Il convient que le matériel employé pour le remplissage réponde aux spécifications suivantes:

- il convient que les conduites de gaz soient protégées de façon appropriée contre les dommages mécaniques;
- il convient que les vannes et les régulateurs soient entretenus et changés si nécessaire;
- il convient que les manomètres soient régulièrement étalonnés;
- il convient que la tuyauterie et les vannes d'alimentation soient montées de telle sorte qu'elles puissent être évacuées avec l'enveloppe à remplir sans avoir à les purger.

2.4 Travailler avec du SF₆ neuf

Il convient que les agents manipulant le SF₆ neuf soient familiarisés avec les propriétés du gaz (voir annexe A) et le contenu de la présente section.

Comme c'est le cas avec tous les gaz sous pression, un dégagement soudain de SF₆ provoque localement une chute de la température pouvant provoquer des gelures. En travaillant sur des conduits, des vannes ou des connecteurs sous haute pression présentant un risque d'échappement de gaz soudain, il convient de porter des gants appropriés.

2.4.1 Travaux à l'intérieur

En manipulant du SF₆ à l'intérieur, une certaine quantité de gaz peut s'accumuler dans l'air. Une ventilation appropriée est donc nécessaire. S'il existe une possibilité que le SF₆ soit dégagé dans le lieu de travail, il convient d'interdire de fumer, d'utiliser des appareils à flamme, des appareils de chauffage fonctionnant au-delà de 200 °C, ou de souder sans précautions particulières.

2.4.1.1 Concentration maximale de SF₆ sur les lieux de travail

Quand du SF₆ neuf est manipulé à l'intérieur comme dans une usine ou un poste pendant le remplissage, le SF₆ peut s'accumuler pendant un certain temps. Il convient de fournir des procédures écrites décrivant les mesures à effectuer périodiquement sur la concentration de SF₆ ainsi que l'équipement conçu pour ces mesures.

La concentration maximale permise sur un lieu de travail est de 1 000 ppm volume (ppmv). Si la concentration excède cette limite, il convient de ventiler la pièce afin de ramener le niveau de concentration en dessous de 1 000 ppmv.

Cylinders should be clearly labelled to identify their contents; cylinders containing new gas should be physically separated from those containing used gas.

As with any pressurised gas, there is a risk of explosion of cylinders if they are excessively heated as might occur in a fire. Storage outdoors with suitable protection from weather and intense solar radiation is recommended.

2.3 Equipment for handling new SF₆

New SF₆ has to be transferred from a cylinder at high pressure into the gas enclosure of the switchgear and controlgear or controlgear to be filled. The filling pressure is invariably much lower than the cylinder pressure. Equipment used for filling should comply with the following requirements:

- pipework should be adequately protected against mechanical damage;
- valves and regulators should be maintained or replaced as necessary;
- pressure gauges should be calibrated regularly;
- delivery pipes and associated valves should be arranged so that they can be evacuated along with the enclosure to be filled in order to avoid a need for purging.

2.4 Working with new SF₆

Workers handling new SF₆ gas should be familiar with the properties of the gas (see annex A) and with the contents of this section.

As is the case with any pressurised gas, a sudden escape of SF₆ gives rise to a local drop in temperature and may result in freezing. When working on high-pressure piping, valves or connectors where there is a risk of a sudden release, suitable gloves should be worn.

2.4.1 Indoor working

When handling new SF₆ indoors, some gas may accumulate in the air, so adequate ventilation should be provided. If there is a possibility that SF₆ may be released into the work area then open fire, smoking, heating exceeding 200 °C and welding without special precautions should not be permitted.

2.4.1.1 Maximum concentration of SF₆ in work areas

Where new SF₆ gas is handled in an indoor environment such as a factory or substation where equipment is being filled, SF₆ may accumulate over a period of time. Written procedures for periodically measuring the SF₆ concentration should be provided along with equipment for performing such measurements.

The maximum permissible concentration of SF₆ in a workroom is 1 000 ppm by volume (ppmv). If the concentration exceeds this level, the area should be ventilated so as to restore the concentration to below 1 000 ppmv.

Il y a lieu de prêter une attention particulière aux endroits situés en contre-bas comme les conduits de câbles, les vides techniques etc., où le SF₆ pourrait s'accumuler. Si des travaux doivent être exécutés dans de tels endroits, il est bon qu'une ventilation appropriée, forcée si nécessaire, soit appliquée.

2.4.1.2 Informations de sécurité sur les lieux de travail

Dans les pièces où le SF₆ est manipulé, il convient qu'une notice d'information sur la sécurité soit affichée. Sur cette notice il y a lieu que figure au moins l'interdiction de fumer et d'utiliser un appareil à flamme.

2.4.2 Travaux à l'extérieur

Lorsque du SF₆ neuf doit être manipulé à l'extérieur, la ventilation naturelle empêche généralement l'accumulation de gaz. Des précautions spéciales telles que détaillées en 2.4.1 sont par conséquent requises seulement si des travaux doivent être effectués à proximité immédiate de l'équipement.

2.5 Remplissage des appareillages avec du SF₆ neuf

La grande majorité de l'appareillage moyenne tension utilise un système à pression scellé, défini en 1.6. Ce type d'équipement est rempli de SF₆ à l'usine, et aucune autre intervention vis-à-vis du gaz n'est à prévoir tout au long de son cycle de vie.

L'appareillage haute tension et certains types d'équipements moyenne tension utilisent un système à pression autonome, défini en 1.6. Un tel équipement peut nécessiter un remplissage ou un complément de remplissage sur le site.

Il convient que les procédures suivies pendant la fabrication et la mise en oeuvre soient conçues afin de respecter les quatre principes fondamentaux suivants:

- a) que le personnel travaillant sur l'équipement ne soit pas soumis à un niveau de risque inacceptable;
- b) que les dispositions soient prises pour minimiser la quantité de gaz pouvant s'échapper dans l'atmosphère;
- c) que les enveloppes, une fois remplies, ne fuent pas plus que les spécifications du fabricant ne le définissent;
- d) que les enveloppes, une fois remplies, contiennent un gaz de la qualité requise par les spécifications du fabricant.

2.5.1 Procédures de remplissage

La méthode la plus commune de remplissage d'une enveloppe consiste à évacuer l'air contenu dans l'enveloppe et les conduites de remplissage à l'aide d'une pompe à vide jusqu'à obtenir une pression résiduelle prédéterminée, avant d'introduire le SF₆. Cette méthode sera appelée méthode par évacuation.

Si une autre méthode doit être utilisée, cela doit être alors précisé dans les spécifications du fabricant.

La méthode choisie risque d'affecter la pureté du gaz contenu dans l'équipement, c'est pour cette raison que la méthode par évacuation est préférable.

Particular attention should be given to low-lying areas such as cable-ducts, cellars, etc., where SF₆ gas could accumulate. If work is to be carried out in such an area, it should be ventilated adequately using forced air movement if necessary.

2.4.1.2 *Safety information for work areas*

In workrooms where SF₆ gas is handled, an appropriate safety notice should be displayed. This should state at least that smoking and open fire are not permitted.

2.4.2 *Outdoor working*

Where new SF₆ has to be handled outdoors, natural ventilation generally prevents accumulation of the gas. Special precautions as detailed in 2.4.1 are therefore only required if work is to be carried out in close proximity to the equipment.

2.5 **Filling switchgear and controlgear with new SF₆**

The large majority of medium-voltage switchgear and controlgear uses sealed pressure systems, as defined in 1.6. This type of equipment is filled with SF₆ in the factory and no further handling of the gas is required during its life.

High-voltage switchgear and controlgear and medium-voltage equipment of certain types use closed pressure systems as defined in 1.6. Such equipment may require filling or topping up on site.

The procedures used during manufacture and commissioning should be defined to ensure that four fundamental requirements are met:

- a) that personnel working on the equipment are not subjected to unacceptable risk;
- b) that losses of gas into the atmosphere are kept to a minimum;
- c) that enclosures, when filled, do not leak at a rate greater than that specified for the equipment;
- d) that enclosures when filled, contain gas of the required quality, as specified by the manufacturer.

2.5.1 *Filling procedures*

The most common method of filling an enclosure is by evacuating the air from the enclosure and the filling pipework to a specified residual pressure using a vacuum pump, before introducing the SF₆. This method will be referred to as the evacuation method.

If a method other than the evacuation method is to be used, it shall be specified by the manufacturer.

The method chosen is likely to affect the purity of gas in the equipment and for this reason the evacuation method is preferred.

Il convient que le remplissage en dehors du cadre de la fabrication se fasse selon les instructions du fabricant.

Il convient que les instructions du fabricant précisent au moins:

- a) la méthode de remplissage;
- b) la pression résiduelle maximale tolérée avant toute introduction de SF_6 , en millibars, si la méthode par évacuation est utilisée. Le temps pendant lequel l'enveloppe est maintenue sous vide peut aussi être précisé si cela est considéré comme important;
- c) la pression de remplissage requise à une température spécifiée (de préférence 20 °C) ou la densité de SF_6 requise. Il convient de noter que la température du gaz peut être différente de la température de l'atmosphère ambiante. Il peut être également nécessaire de tenir compte du refroidissement du gaz lors de son passage par le détendeur. Si le remplissage, effectué à une température autre que celle spécifiée, nécessite un ajustement de la pression de remplissage afin de maintenir la densité du SF_6 dans une fourchette donnée, il convient que cela soit également précisé, et des conseils donnés pour établir cette correction.

Pendant le remplissage d'une enveloppe au SF_6 , il convient que le matériel de remplissage soit équipé de moyens permettant de surveiller la pression ou la densité dans l'enveloppe.

Il convient qu'un détendeur, comportant si possible côté basse pression une soupape de sécurité réglable contre la surpression, soit utilisé pendant le transfert du SF_6 depuis une bouteille ou une cuve sous pression.

Quand la densité ou la pression spécifiée est atteinte, il convient qu'un dispositif soit toujours disponible, permettant de couper rapidement l'alimentation en gaz.

Il convient qu'un remplissage avec des moyens autres qu'automatisés soit surveillé de près pour éviter tout surgonflage accidentel.

2.5.2 *Étanchéité des équipements remplis au SF_6*

Les exigences permettant d'établir que les installations d'appareillages contenant du SF_6 atteignent un niveau acceptable d'étanchéité au gaz sont décrites dans l'annexe EE de la CEI 56, l'annexe GG de la CEI 298 et l'annexe DD de la CEI 517.

Au cas où l'équipement doit être assemblé et rempli sur le site, les instructions de montage du fabricant devront mentionner qu'il convient de vérifier l'étanchéité du matériel après installation. Il convient que les méthodes appropriées et le matériel spécial nécessaire y soient précisés.

2.5.3 *Vérifications de la qualité du SF_6 après remplissage*

La qualité du gaz enfermé dans une enveloppe peut être influencée par l'état de l'enveloppe avant le remplissage, ou par les impuretés provenant de l'équipement de remplissage.

Il convient que les instructions du fabricant précisent s'il est nécessaire de vérifier la qualité du gaz dans l'enveloppe après remplissage. Si tel est le cas, il convient d'identifier les impuretés à rechercher et d'indiquer les quantités maximales acceptables pour chacune de ces impuretés.

Les procédures de vérification du gaz SF_6 prélevé de l'enveloppe sont indiquées dans la CEI 480.

Filling other than at the time of manufacture should be carried out in accordance with the manufacturer's instructions.

Manufacturers' instructions for filling should specify at least the following:

- a) the filling method;
- b) if the evacuation method is used, the maximum allowable residual pressure, expressed in millibars, to be achieved during evacuation, prior to introducing any SF₆. The time during which the enclosure is maintained under vacuum may also be considered important; if so it should be stated;
- c) the required filling pressure at a specified temperature (preferably 20 °C) or the required SF₆ density. It should be noted that the temperature of the gas may differ from the temperature of the ambient atmosphere. Account may also need to be taken of cooling of the gas as it passes through a pressure-reducing valve. If filling at other than the specified temperature requires a correction to the filling pressure to maintain the SF₆ density within a given range, this should be stated, and guidance should be given for performing the correction.

When filling an enclosure with SF₆, the filling equipment should include means for monitoring the pressure or density in the enclosure.

A pressure-reducing regulator, preferably including in the lower pressure output line an adjustable over-pressure relief device, should be used when transferring SF₆ gas from a pressurised vessel or cylinder.

When the required filling pressure or density is reached, means should always be available for quickly turning off the flow of gas.

Filling other than with automated delivery equipment should be closely monitored to avoid accidental over-filling.

2.5.2 Gas tightness of equipment filled with SF₆

Requirements for establishing that acceptable levels of gas tightness are achieved in switchgear and controlgear installations containing SF₆ are stated in appendix EE of IEC 56, annex GG of IEC 298 and annex DD of IEC 517.

In cases where equipment is to be assembled and filled on site, manufacturers' instructions should state that checking for leaks should be performed following installation. Suitable methods and any special equipment required should be specified.

2.5.3 Checks on SF₆ gas quality after filling

The quality of the gas in an enclosure after it has been filled may be influenced by the condition of the enclosure before filling, or by impurities introduced from filling equipment.

Manufacturers' instructions should state whether it is necessary to check the quality of the gas in an enclosure after it has been filled. If this is to be done, the impurities to be checked should be identified and maximum acceptable quantities for each impurity should be given.

Procedures for checking SF₆ gas removed from enclosures are given in IEC 480.

2.6 Echappement de SF₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage

Le SF₆ n'altère pas la couche d'ozone et ne contribue pas significativement à l'effet de serre [3], (voir annexe D). Cependant, étant donné que le SF₆ est fabriqué et n'existe pas à l'état naturel, et à cause de sa longue durée de vie, il y a lieu de prendre des précautions pour minimiser la quantité de SF₆ échappé dans l'atmosphère.

2.6.1 Echappement de SF₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage d'un équipement moyenne tension

Il convient que les postes de remplissage en usine pour enveloppes au SF₆ soient conçus et manoeuvrés de telle sorte que la quantité de SF₆ s'échappant dans l'atmosphère reste négligeable.

Dans le cas où l'équipement moyenne tension n'est rempli qu'après installation sur le site, il convient que des précautions soient prises pour minimiser la quantité de SF₆ échappé dans l'atmosphère. Si l'équipement doit être vidé pendant son installation ou sa mise en oeuvre, il convient que des moyens de stockage du gaz soient fournis. La quantité de SF₆ échappée pendant le remplissage ou la mise en oeuvre est négligeable, car les pressions et les quantités de gaz utilisées pendant le remplissage ou la mise en oeuvre sont faibles, et le nombre d'équipements de ce type est relativement restreint.

2.6.2 Echappement de SF₆ dans l'atmosphère pendant le remplissage d'un équipement haute tension

La fabrication et la mise en oeuvre d'un équipement haute tension implique la manipulation de quantités relativement importantes de gaz SF₆, en particulier dans le cas des appareillages de type GIS. Il convient que l'équipement pour la manipulation du gaz soit conçu pour minimiser la quantité de SF₆ s'échappant dans l'atmosphère.

Quand, pour certaines raisons, du SF₆ neuf doit être retiré d'une enveloppe, il convient que du matériel de stockage adéquat soit disponible.

Section 3: Fuite de SF₆ d'un équipement en service

Cette section traite des effets des fuites de SF₆ dans un équipement en service et, avec les conclusions de l'annexe C, démontre que les opérateurs sont soumis à un risque négligeable, même si le débit de la fuite est très supérieur aux taux maximaux spécifiés par le fabricant. Cette constatation est appuyée par les conclusions du groupe de travail 23.03 du CIGRE [1].

3.1 Types d'enveloppes remplies au gaz

L'annexe EE de la CEI 56, l'annexe GG de la CEI 298 et l'annexe DD de la CEI 517 définissent trois catégories d'enveloppes remplies au gaz qui sont:

- a) système à pression entretenu: c'est une installation automatiquement alimentée par une source de gaz interne ou externe;
- b) système à pression autonome: c'est une installation dont la remise à niveau en gaz se fait périodiquement, manuellement, à partir d'une source externe;

2.6 Release of SF₆ gas to the atmosphere during filling

SF₆ gas does not contribute to stratospheric ozone depletion nor significantly to the greenhouse effect [3] (see annex D). However, because SF₆ is manufactured rather than naturally occurring and because of its long lifetime, precautions should be taken to minimise the quantity of SF₆ gas which is released to the atmosphere.

2.6.1 Release of SF₆ gas to the atmosphere during filling of medium-voltage equipment

Factory installations for filling enclosures with SF₆ gas should be designed and operated so that the quantity of SF₆ released to the atmosphere is negligible.

For medium-voltage equipment which is to be filled after erection on site, care should be taken to minimise the amount of SF₆ released. If such equipment has to be emptied during installation or commissioning, means for storing the gas should be provided. Due to the low operating pressures, small volumes and relatively small numbers of these types of equipment, the quantity of SF₆ released during filling and commissioning is negligible.

2.6.2 Release of SF₆ gas to the atmosphere during filling of high-voltage equipment

The manufacture and commissioning of high-voltage equipment involves the handling of relatively large quantities of SF₆ gas, particularly in the case of GIS equipment. Gas handling installations should be designed to minimise the quantity of SF₆ gas which is released to the atmosphere.

When new SF₆ has to be removed from an enclosure for any reason, equipment should be available to allow it to be stored.

Section 3: Leakage of SF₆ from equipment in service

This section examines the effects of leakage of SF₆ from equipment in service and together with the conclusions of annex C, shows that operators are subjected to negligible risk, even at leak rates much higher than the maximum rates normally specified by manufacturers. This conclusion is supported by the findings of CIGRE working group 23.03 [1].

3.1 Types of gas-filled enclosure

Three types of gas-filled enclosure are defined in annex EE of IEC 56, annex GG of IEC 298 and annex DD of IEC 517. These are:

- a) controlled pressure system: an assembly which is automatically refilled from an internal or external gas source;
- b) closed pressure system: an assembly which is refilled only periodically by manual connection to an external gas source;

c) système à pression scellé: c'est une installation ne nécessitant aucune intervention de remise à niveau pendant sa durée de vie présumée. Les systèmes à pression scellés sont entièrement montés, remplis et contrôlés en usine.

L'appareillage moyenne tension sous enveloppe métallique ou sous enveloppe isolante contient généralement des enceintes de coupure de catégorie c), système à pression scellé.

L'appareillage moyenne tension de type GIS utilise habituellement un système à pression autonome de catégorie b), mais est parfois du type scellé de catégorie c) s'il est assemblé chez le fabricant.

La majorité de l'appareillage haute tension appartient généralement à la catégorie des systèmes à pression autonomes de catégorie b). Les systèmes à pression scellés, catégorie c), sont utilisés dans certains équipements.

La catégorie a) n'est plus utilisée dans les équipements fabriqués actuellement, mais on trouve encore certains éléments d'équipements de catégorie a) en service. Le nombre d'unités de catégorie a) reste cependant marginal et n'est donc pas traité dans ce rapport. Le mode de calcul des niveaux d'exposition décrit dans l'annexe C peut être adopté, si nécessaire, pour évaluer les risques d'exposition, là où les systèmes à pression entretenus sont en service.

3.2 Implications des fuites

L'appareillage contenant du SF₆ est conçu, fabriqué et essayé pour assurer un niveau minimal de fuites de gaz.

Pour des systèmes à pression autonomes, la CEI 56, la CEI 298 et la CEI 517 spécifient que le taux de fuite annuel maximal acceptable est de 1 %, et de 3 % de la masse initiale de SF₆. La limite inférieure du taux de fuite annuel de 1 % est d'ores et déjà acceptée par les fabricants, et est facilement atteinte avec des équipements courants et les techniques d'étanchéité actuelles.

L'étanchéité au gaz des systèmes à pression scellés est définie selon la durée de vie théorique du matériel, les valeurs les plus souvent utilisées étant de 10, 20 et 30 ans. Pour les équipements utilisant un système à pression scellé, les fabricants indiquent qu'ils sont en mesure d'atteindre un taux annuel de fuite inférieur à 0,1 %. La pression de remplissage de l'équipement moyenne tension scellé à vie étant souvent seulement légèrement supérieure à la pression atmosphérique, cela réduit la tendance à fuir. L'usage combiné, pendant les mesures de fuites cumulées, de capteurs électroniques et de collecteurs de gaz, l'emploi de ce dernier rendu possible par la faible taille des enveloppes contenant le gaz dans les équipements moyenne tension, permet d'avoir à température ambiante, une précision de mesure des fuites de SF₆ allant jusqu'à 10⁻⁷ atmosphérique cm³ par seconde (équivalent à 3,15 · 10⁻³ litres/an).

Les quantités de SF₆ perdues à la suite d'une fuite varient selon le type d'équipement, et sont plus importantes pour les équipements haute tension, car ceux-ci contiennent beaucoup plus de gaz sous une pression plus élevée, et du fait que les surfaces d'étanchéité sont beaucoup plus grandes. Les fuites de gaz SF₆ doivent être minimisées pour les trois raisons suivantes:

a) détérioration fonctionnelle

Le pouvoir de coupure et/ou le niveau d'isolement de l'équipement peuvent diminuer si à cause d'une fuite anormalement élevée, la densité du SF₆ venait à chuter (voir l'article 3.3).

c) sealed pressure system: an assembly for which no further gas processing is required during its expected operating life. Sealed pressure systems are completely assembled, filled and tested in the factory.

Medium-voltage switchgear and controlgear of the metal-enclosed or insulation-enclosed type most commonly contain switching enclosures of category c), sealed pressure systems.

Medium-voltage switchgear and controlgear of the gas-insulated type normally uses a closed pressure system category b) but may use a sealed pressure system category c) if it is factory-assembled.

The majority of high-voltage switchgear and controlgear uses closed pressure systems, category b). Sealed pressure systems, category c), are used in some equipment types.

Category a) is not relevant to equipment manufactured currently but certain items of category a) equipment are in service. The number of category a) units is very small however and for this reason this type of equipment is not covered by this report. The principles for calculating exposure levels outlined in annex C could be adopted if necessary to assess the risks of exposure where controlled pressure systems are in use.

3.2 The Implications of leakage

Switchgear and controlgear containing SF₆ gas is designed, manufactured and tested to ensure that losses of the gas are kept to a minimum.

Preferred maximum permissible relative leakage rates of 1 % and 3 % of the total initial mass of SF₆ gas per annum are specified in IEC 56, IEC 298 and IEC 517, for closed pressure systems. The lower leakage rate limit of 1 % per annum is readily accepted by manufacturers and is easily achieved using standard materials and sealing techniques.

The gastightness of sealed pressure systems is specified in terms of the expected operating life; preferred values are 10, 20 and 30 years. For equipment using sealed pressure systems, manufacturers report that they are able to achieve relative leak rates of less than 0,1 % per annum. The filling pressure of medium-voltage sealed for life equipment is often just above atmospheric pressure and this reduces the tendency to leak. The combined use, during cumulative leakage measurement, of electron capture detectors and gas collectors, the latter made possible by the small size of the gas enclosures of medium-voltage equipment, allows absolute leakage rates, at room temperature, as low as 10⁻⁷ atmospheric cm³/second (equivalent to 3,15 · 10⁻³ litres per year) of SF₆ to be measured.

Quantities of SF₆ gas lost due to leakage vary according to the type of equipment and are greater for higher voltage equipment because these usually contain greater amounts of gas at higher pressures and because sealing surfaces are much larger. The leakage of SF₆ gas from switchgear and controlgear shall be minimised for the following three reasons:

a) functional impairment

The switching capacity and/or insulation level of the equipment may be reduced if the SF₆ density falls as a consequence of abnormal leakage (see clause 3.3).

b) sécurité du personnel

Selon la nature des installations, l'atmosphère à proximité de l'équipement peut contenir du SF₆ et ses produits de décomposition à la suite de fuites. Dans ce cas, les risques pour la santé doivent être pris en compte. Ce point est développé dans l'article 3.4.

c) effets sur l'environnement

Les effets du SF₆ utilisé dans l'équipement électrique sur l'atmosphère doivent être pris en compte. Cela comprend le SF₆ s'échappant dans l'atmosphère durant les opérations de remplissage, de maintenance, et lors de fuites en cours de fonctionnement. La quantité de SF₆ s'échappant dans l'atmosphère à la suite d'une fuite est examinée à l'article 3.5.

3.3 Fuite anormale

Ce sujet est couvert dans l'article 5.2.

3.4 Sécurité du personnel

Le gaz s'échappant d'un équipement en service peut contenir des impuretés. Le degré de contamination varie selon le type d'équipement utilisé et l'emploi qui en a été fait. Le degré de contamination est le plus élevé dans le cas de disjoncteurs ayant coupé des courants de court-circuit [4].

L'annexe C traite en détail des risques de l'exposition aux produits de décomposition du SF₆ issus d'une fuite. Elle montre que la quantité de SF₆ s'échappant par fuite au taux nominal par jour dans l'atmosphère est très faible et que la concentration d'impuretés y est très faible. La dispersion naturelle du gaz dans l'atmosphère environnante diminue encore de façon très sensible la concentration des impuretés. Cette analyse ne tient pas compte des effets des adsorbants qui, comme c'est normalement le cas dans les disjoncteurs, améliorent significativement la pureté du gaz émis par une fuite. Il est démontré que la contamination de l'atmosphère locale suite à une fuite est négligeable.

L'exploitation de l'appareillage haute et moyenne tension contenant du SF₆ est similaire à celle de n'importe quel autre type d'équipement dans la même catégorie de tension assignée. C'est pourquoi, puisqu'il n'y a pas lieu de manipuler le SF₆, il n'est pas nécessaire que le personnel exploitant les équipements SF₆ reçoivent une formation particulière.

NOTE – Pour les applications dans les climats froids, il convient de réduire la quantité d'adsorbant afin de limiter l'adsorption excessive de SF₆. L'action sur les produits de décomposition est en conséquence réduite.

3.4.1 Installations à l'extérieur

Dans le cas d'installations à l'extérieur, le gaz échappé se dispersera rapidement et ne présentera aucun risque. Il est peu probable que le SF₆ échappé s'accumule dans des parties basses, à cause des effets de la diffusion dans l'atmosphère environnante (loi des mélanges de Dalton).

3.4.2 Installations à l'intérieur

L'annexe C examine les effets des fuites des équipements moyenne et haute tension installés à l'intérieur. Les résultats (voir C.4.5 et C.4.6) montrent clairement que pour des fuites plusieurs milliers de fois plus importantes que les fuites normales, le risque reste négligeable.

b) safety of personnel

Depending on the nature of the installation, the atmosphere local to the equipment may contain SF₆ and its by-products as a consequence of leakage. The risk to health in such a case shall be considered. This is covered in clause 3.4.

c) environmental effects

The effect on the atmosphere of SF₆ used in electrical equipment, shall be considered. This includes SF₆ gas which is released to the atmosphere during filling and maintenance as well as the effects of leakage during service. The quantity of SF₆ gas lost to the atmosphere due to leakage is discussed in clause 3.5.

3.3 Abnormal leakage

Abnormal leakage is covered in clause 5.2.

3.4 Safety of personnel

Leakage from equipment in service is of gas which may contain impurities. The degree of contamination of the gas varies according to the type of equipment and its service history and will be the greatest for circuit-breakers which have interrupted short-circuit current [4].

Annex C deals in detail with the risks of exposure to SF₆ by-products emitted by leakage. It is shown that the quantity of SF₆ leaked per day at normal leak rates is very small and the concentration of impurities it contains is low. The effects of natural dilution into the surrounding atmosphere are considered as this further reduces the concentration of impurities by a large factor. The effects of adsorbents are neglected in the analyses, but when these are installed, as is normal in circuit-breakers, the purity of the gas leaked is greatly improved. It is shown that contamination of the local atmosphere as a result of leakage is insignificant.

Operation of high-voltage switchgear and controlgear containing SF₆ is similar to that of any other type of SF₆ equipment in this voltage range. Therefore personnel in charge of SF₆ equipment do not need special training to carry out their duty, because handling of SF₆ is not implied.

NOTE – For cold climate applications, the quantity of adsorbent should be reduced in order to limit excessive SF₆ adsorption. The action on decomposition products is correspondingly reduced.

3.4.1 Outdoor installations

In outdoor installations, leaked gas will disperse rapidly and provides no risk. It is unlikely, due to the effects of diffusion (Dalton mixing law) into the surrounding atmosphere, that leaked SF₆ would accumulate in low-lying areas.

3.4.2 Indoor installations

The effects of leakage from typical indoor medium- and high-voltage equipment are examined in annex C. The results (see C.4.5 and C.4.6) clearly show that, for leak rates as high as several thousand times the normal permitted rates, the risks are negligible.

Il convient que les bâtiments contenant de l'équipement rempli au SF₆ soient pourvus d'un système de ventilation conçu pour évacuer le SF₆ s'échappant pendant les opérations d'installation et de maintenance (voir section 4). Les résultats présentés dans l'annexe C montrent que la ventilation naturelle devrait normalement suffire à prévenir l'accumulation de SF₆ échappé par suite d'une fuite.

Le SF₆ peut s'accumuler dans les chemins de câbles, les vides techniques et autres endroits situés en parties basses qu'il convient d'aérer avant d'y pénétrer.

3.5 Implications des fuites sur l'environnement

Le SF₆ à l'état gazeux n'altère pas la couche d'ozone stratosphérique et ne contribue pas de façon significative au phénomène d'effet de serre [3], (voir annexe D). Il est néanmoins souhaitable de limiter l'échappement de tout gaz qui n'est pas présent normalement dans l'atmosphère. Il est donc justifié de tenir compte de la quantité de SF₆ qui s'est échappé suite à une fuite dans l'atmosphère.

3.5.1 *Evaluation des fuites provenant des équipements moyenne tension*

Les équipements moyenne tension ne contiennent que de faibles quantités de gaz, et ce à des pressions relativement basses. La quantité de SF₆ échappée des installations est donc individuellement faible, mais le nombre de ces matériels étant important, la quantité totale qui s'est échappée doit être prise en compte.

Actuellement, environ 500 000 disjoncteurs moyenne tension et 1,5 millions d'interrupteurs – sectionneurs au SF₆ sont en service dans le monde. La masse totale de SF₆ installé dans les équipements moyenne tension est estimée entre 1 000 et 1 500 tonnes. Même si le taux de fuite annuel pour tous les équipements moyenne tension était de 1 %, cela ne représenterait que 10 à 15 tonnes de SF₆ échappé chaque année dans l'atmosphère. En réalité, le taux de fuite annuel des équipements actuels étant très inférieur à 1 %, la quantité de SF₆ échappé est beaucoup plus faible.

3.5.2 *Evaluation des fuites provenant des équipements haute tension*

La quantité de gaz échappé dans l'atmosphère du fait des fuites des équipements haute tension peut être estimée de la même façon que pour les équipements moyenne tension. Il y a en service environ 40 000 disjoncteurs SF₆ ouverts haute tension, et de l'ordre de 20 000 installations de type GIS. Ces unités renferment une quantité de SF₆ estimée entre 10 000 et 20 000 tonnes. Même si le taux de fuite annuel pour tous les équipements haute tension était de 1 %, cela ne représenterait que 100 à 200 tonnes de SF₆ libéré dans l'atmosphère. En réalité, le taux de fuite annuel moyen des installations existantes est estimé bien inférieur à cela.

Section 4: Manipulation du SF₆ usagé

Cette section concerne la manipulation du SF₆ ayant été utilisé dans l'enveloppe d'un appareillage et qui a pu déjà être partiellement décomposé ou contaminé. Ces manipulations couvrent la vidange et le remplacement du SF₆ pendant les opérations de maintenance ou d'extension.

Buildings containing indoor SF₆-filled equipment should be provided with ventilation designed to deal with SF₆ released during installation and maintenance (see section 4). The results presented in annex C show that natural ventilation would normally be adequate to prevent the accumulation of SF₆ released due to leakage.

SF₆ may accumulate in cable ducts, cellars or other low-lying areas; these should be ventilated if they are to be entered.

3.5 Environmental Implications of leakage

SF₆ gas does not contribute to stratospheric ozone depletion or significantly to the greenhouse effect [3] (see annex D). It is however desirable to minimise the release of any gas, which is not present normally in the atmosphere, so it is relevant to consider the quantity of SF₆ released to the atmosphere as a result of leakage.

3.5.1 Estimation of leakage from medium-voltage equipment

Medium-voltage equipment contains only small quantities of gas, at relatively low pressures. The quantity of SF₆ leaked from individual units is therefore small, although since the numbers in service are large, the total amount released has to be considered.

There are currently in service throughout the world about 500 000 medium-voltage SF₆ circuit-breakers and around 1,5 million load-break switch units. The total installed mass of SF₆ for medium-voltage equipment is believed to be between 1 000 and 1 500 tonnes. Even at a leak rate of 1 % per annum all medium-voltage units currently in service throughout the world could only contribute between 10 and 15 tonnes of SF₆ to the atmosphere annually. The actual quantity of SF₆ released will be very much less than this as actual average leak-rates are much lower than 1 % per annum.

3.5.2 Estimation of leakage from high-voltage equipment

The quantity of gas released to the atmosphere due to leakage from high-voltage equipment may be estimated as for medium-voltage equipment. There are in service some 40 000 open-terminal high-voltage SF₆ circuit-breakers and about 20 000 GIS units. The total installed mass of SF₆ is believed to be between 10 000 and 20 000 tonnes. The total quantity of SF₆ released world-wide due to leakage from high-voltage equipment would be in the range of 100 to 200 tonnes if all units were leaking at 1 % per annum. The true average leak rate is believed to be considerably lower than this.

Section 4: Handling of used SF₆

This section deals with operations involving SF₆ which has been inside a switchgear or controlgear enclosure and which may have become partially decomposed or contaminated. Such operations include removing and replacing the SF₆ during maintenance or extension.

4.1 Circonstances nécessitant la manipulation de SF₆ usagé

La nécessité de manipuler du SF₆ usagé survient quand:

- a) il faut compléter le remplissage des systèmes à pression autonome;
- b) il faut retirer le gaz d'une enveloppe pour y effectuer des opérations de maintenance, de réparation, ou d'extension;
- c) le gaz a été totalement ou partiellement expulsé suite à un échappement anormal;
- d) le gaz doit être retiré d'un élément d'un équipement en fin de cycle de vie;
- e) des prélèvements de gaz sont à effectuer ou lors de la mesure de la pression à l'aide d'une connexion temporaire à un appareil de mesure.

Les dispositions de sécurité dispensées dans la présente section sont applicables aux quatre cas ci-dessus. Les cas c) et d) sont étudiés plus en détail, dans les sections 5 et 6 respectivement.

Les cas a) et b) sont très courants dans les équipements haute tension, mais peuvent également se produire dans les équipements moyenne tension de type GIS, en particulier dans le cadre de l'extension d'un tableau de distribution existant. Ils ne concernent pas les systèmes à pression scellés.

4.2 Matériel requis pour manipuler le SF₆ usagé

4.2.1 Matériel de manipulation de gaz

Quand du SF₆ usagé doit être retiré d'une enveloppe, il convient de prendre des précautions afin de prévenir tout risque évitable d'échappement de gaz dans l'atmosphère, en particulier sur les lieux de travail.

Il y a lieu de mettre en oeuvre l'équipement de récupération du gaz à chaque fois que cela est possible, pour stocker le gaz, habituellement sous pression. Il convient qu'un tel équipement soit capable d'évacuer de l'enveloppe la plus grande quantité possible du gaz qu'elle contient.

Du matériel de récupération de gaz spécialement conçu pour le SF₆ est disponible, équipé d'accessoires de recyclage, pour retirer les produits de décomposition solides et gazeux. Ce type d'équipement est préférable pour du SF₆ significativement contaminé, comme par exemple dans le cas des enveloppes de disjoncteurs.

4.2.2 Matériel de sécurité du personnel

Il convient que les opérateurs appelés à manipuler du SF₆ usagé soient équipés de protections individuelles. L'équipement approprié est énuméré dans l'annexe E (voir l'article E.2 et E.3.1). Il convient que le manuel d'instructions des fabricants et les codes de pratique des utilisateurs précisent quels sont les équipements de sécurité adéquats pour chaque type d'opération décrite dans l'article 4.1.

Habituellement, aucun équipement de sécurité particulier n'est requis pour les opérations de complément de remplissage en SF₆ d'une enveloppe, à l'exception de gants, de lunettes de protection et du matériel de détection qui peut être recommandé pour vérifier la composition de l'atmosphère du lieu de travail (voir 4.3.4.1).

4.1 Circumstances where handling of used SF₆ is necessary

The need to handle used SF₆ arises where:

- a) topping up of the SF₆ in closed pressure systems is carried out;
- b) the gas has to be removed from an enclosure to allow maintenance, repair or extension to be carried out;
- c) the gas has been wholly or partially expelled due to an abnormal release;
- d) the gas has to be removed at the end of the life of an item of equipment;
- e) Samples of the gas must be obtained or the gas pressure measured through temporary connection of measuring apparatus.

The safety provisions in this section are applicable to all four situations; situations c) and d) are further considered in sections 5 and 6 respectively.

Situations a) and b) arise mainly with respect to high-voltage equipment and may arise with medium-voltage GIS equipment in particular if it is required to add further equipment to an existing switchboard. They do not arise with equipment using sealed pressure systems.

4.2 Equipment required when handling used SF₆

4.2.1 Gas handling equipment

Where used SF₆ has to be removed from an enclosure, precautions should be taken to prevent avoidable release of the gas into the atmosphere and in particular into the work area.

Gas recovery equipment should be used where possible to allow the gas to be stored, usually under pressure. Such equipment should be capable of evacuating the enclosure to remove as much of the gas as possible.

Gas recovery equipment is available which is specially designed for use with SF₆ and is provided with re-processing facilities for removing gaseous and solid decomposition products. This type of equipment is preferred, particularly for the removal of more heavily contaminated SF₆, for example from circuit-breaker enclosures.

4.2.2 Personal safety equipment

Workers engaged in handling used SF₆ should be provided with personal safety equipment. Suitable equipment is listed in annex E (see clause E.2 and E.3.1). Manufacturers' instructions and users' codes of practice should specify which items of equipment are required for each type of activity listed in clause 4.1.

No specific safety equipment is normally required for operations involving only the topping up of an enclosure with SF₆ gas apart from gloves, safety glasses and detection equipment, which may be considered desirable for checking the condition of the working atmosphere (see 4.3.4.1).

4.3 Travailler avec du SF₆ usagé

Il est bon que les personnes ayant à manipuler du SF₆ usagé connaissent les propriétés des produits de décomposition du SF₆, et soient prévenues des risques pour la santé, ainsi que des précautions à prendre pour les minimiser. Des recommandations générales de sécurité sont données dans l'annexe E, (voir l'article E.1).

4.3.1 Formation du personnel

Il convient de dispenser une formation spécifique relative à la sécurité au personnel travaillant avec le SF₆ usagé. On considère que ce personnel n'a besoin d'aucune autre formation préliminaire ni d'autre qualification particulière.

Il convient que le personnel soit formé à la manipulation de l'équipement mis en oeuvre pour le transfert du gaz depuis une enveloppe vers une cuve de stockage. Il convient de respecter les instructions d'utilisation du fabricant de cet équipement, quand l'équipement est utilisé.

Il convient d'inclure les instructions pour les premiers soins dans la formation relative à la sécurité, selon E.3.2.

4.3.2 Equipements et services

Quand les enveloppes contenant du SF₆ usagé doivent être vidées, puis ouvertes, il est recommandé de mettre une installation d'eau convenable à la disposition des opérateurs, pour se laver et préparer les solutions de nettoyage nécessaires.

4.3.3 Travaux à l'extérieur

Pour les travaux à l'extérieur, pendant la vidange d'une enveloppe contenant du SF₆ usagé, aucune précaution particulière n'est nécessaire, outre celles destinées à protéger les opérateurs d'une exposition directe au SF₆ usagé et à ses produits de décomposition. A l'ouverture ou en pénétrant dans des enveloppes situées à l'extérieur, certaines précautions sont à prendre:

- Le vent pourrait provoquer la dispersion des produits de décomposition solides du SF₆ avant leur récupération par aspiration, il convient de prendre les mesures adéquates pour éviter cela, s'il y a du vent.
- La pluie ou une humidité ambiante élevée accélère l'hydrolyse de certains produits de décomposition formant ainsi de l'acide fluorhydrique, HF. Pour cette raison, il convient de retirer rapidement tout produit de décomposition résiduel, solide ou gazeux, après ouverture d'une enveloppe. Un abri temporaire peut être nécessaire pour empêcher toute pénétration d'eau de pluie pendant cette opération.

4.3.4 Travaux à l'intérieur

Il est bon que les installations à l'intérieur soient équipées d'une ventilation appropriée, suffisante pour répondre aux spécifications de 4.3.4.1.

4.3.4.1 Concentration maximale de SF₆ usagé dans les lieux de travail

Là où le SF₆ usagé doit être retiré dans des locaux fermés, il faut s'assurer que les concentrations de produits de décomposition potentiellement toxiques restent à des niveaux de sécurité dans les lieux de travail.

4.3 Working with used SF₆

Workers handling used SF₆ should be familiar with the properties of SF₆ decomposition products and should be aware of the risks to health and the precautions necessary to minimise them. General safety recommendations are given in annex E (see clause E.1).

4.3.1 Training of workers

Specific safety training should be given to workers required to handle used SF₆. It is not considered necessary that such workers have any pre-qualifying training or qualifications.

Workers should be trained in the use of SF₆-handling equipment used to transfer gas from an enclosure into a storage vessel; the manufacturer's operating instructions for such equipment should be complied with whenever it is used.

The first-aid instructions according to E.3.2 should be included in the safety training.

4.3.2 Facilities and services

Where enclosures containing used SF₆ have to be emptied and opened, it is desirable that adequate washing facilities for workers be available, and a supply of water for preparing cleaning solutions may be required.

4.3.3 Outdoor working

When working outdoors, while removing used SF₆ from an enclosure, no special precautions are necessary other than those to prevent personnel from being directly exposed to the used SF₆ or its decomposition products. When opening or entering enclosures outdoors, certain precautions should be taken.

- Wind could cause solid SF₆ decomposition products to be blown around before they can be removed with a vacuum cleaner. If it is windy, steps should be taken to prevent this.
- Rain or high ambient humidity will accelerate hydrolysis of certain decomposition products, resulting in the production of hydrofluoric acid HF. For this reason, any residual gas and solid decomposition products should be removed quickly after an enclosure is opened. Temporary shelter may be required to prevent the ingress of rain while this is being carried out.

4.3.4 Indoor working

Indoor installations should be provided with adequate ventilation, sufficient to ensure that the requirements of 4.3.4.1 can be met.

4.3.4.1 Maximum concentration of used SF₆ in work areas

When used SF₆ has to be removed from an enclosure in an indoor installation, it is necessary to ensure that the concentrations of potentially toxic decomposition products remain at safe levels in the working area.

La solution idéale est d'effectuer des mesures de concentrations du principal produit contribuant à la toxicité, le fluorure de thionyle, SOF_2 , et des sous-produits issus de l'hydrolyse du SOF_2 , le dioxyde de soufre SO_2 et le fluorure d'hydrogène HF (voir C.3.2.1).

NOTE – Des méthodes pour réaliser et interpréter ces mesures sont à l'étude.

Une autre méthode pratique est la mesure de la concentration de SF_6 (usagé) dans l'air. Il convient d'effectuer cette mesure chaque fois qu'il existe une possibilité que du SF_6 usagé ait été émis dans l'atmosphère.

La concentration en SF_6 ne doit pas dépasser 200 ppmv.

Il y a lieu d'assurer une ventilation, de préférence par circulation d'air forcée, afin d'empêcher l'accumulation de SF_6 usagé.

La concentration maximale de 200 ppmv de SF_6 est expliquée en F.4.1 et elle s'applique au SF_6 ayant subi une décomposition faible ou moyenne, telle que définie en 4.3.5.1, points a) et b). S'il y a lieu de penser que le niveau de décomposition peut être plus fort que celui normalement attendu, par exemple si l'on sait ou soupçonne que des arcs anormaux se sont produits dans une enceinte (voir c) de 4.3.5.1), il convient de prendre les précautions exposées en 5.3.3.

A l'ouverture des enveloppes, du SF_6 usagé résiduel peut s'échapper dans l'atmosphère en plus ou moins grandes quantités, selon le degré d'évacuation de gaz appliqué pendant la vidange du gaz. A cet instant, il convient que les opérateurs présents portent des dispositifs respiratoires tels que décrits dans l'annexe E (voir l'article E.2, point h)) au moins jusqu'à ce que le niveau de concentration de SF_6 ait été confirmé comme étant conforme aux critères indiqués ci-dessus.

4.3.4.2 Informations de sécurité sur les lieux de travail

Il convient qu'une notice affichant l'interdiction de faire des feux ouverts, de fumer et de chauffer à plus de 200 °C et de souder sans précautions particulières et donnant des instructions de premiers secours (voir l'article E.3), soit disposée dans les locaux où est manipulé le SF_6 usagé.

4.3.5 Etat du SF_6 dans une enveloppe

4.3.5.1 Etat prévisible du SF_6

L'état du SF_6 usagé dans une enveloppe dépend du type et de l'intensité des décharges ou des arcs qui s'y sont produits. Les quatre situations les plus couramment rencontrées sont:

a) Le SF_6 est dans une enveloppe qui ne contient pas les parties actives d'un disjoncteur, et qui n'est pas connectée à une enveloppe de disjoncteur avec laquelle un échange gazeux serait possible.

Gaz: décomposition nulle ou faible.

Solides: peu ou pas de résidus poudreux.

This is ideally achieved by direct measurement of the concentrations of the main contributor to toxicity, thionyl fluoride SOF_2 and of the by-products of SOF_2 hydrolysis, sulphur dioxide SO_2 and hydrogen fluoride HF (see C.3.2.1).

NOTE – Methods for making and interpreting such measurements are under consideration.

A practical alternative method is to measure the concentration of (used) SF_6 in the air. This measurement should be made whenever there is a possibility that used SF_6 has been released into the atmosphere.

The SF_6 concentration shall not exceed 200 ppmv.

Ventilation should be provided, preferably using forced air movement to prevent the accumulation of used SF_6 .

The maximum SF_6 concentration of 200 ppmv is explained in F.4.1 and is applicable to SF_6 which has undergone low to medium decomposition as defined in 4.3.5.1, items a) and b). If there is reason to believe that the level of decomposition may be higher than should normally be expected, for example if abnormal arcing is known or believed to have occurred within an enclosure (see 4.3.5.1, item c)), then the precautions presented in 5.3.3 should be taken.

When enclosures are first opened, depending on the degree of evacuation applied during gas removal, residual used SF_6 may enter the atmosphere. At this time, any workers present should use respirators as described in annex E (see clause E.2, item h)), at least until it is confirmed that the above criterion for SF_6 concentration is satisfied.

4.3.4.2 *Safety information for work areas*

A notice stating that open fire, smoking, heating to more than 200 °C and welding without special precautions are prohibited and giving first-aid instructions (see clause E.3) should be displayed while used SF_6 is being handled in an indoor location.

4.3.5 *Condition of the SF_6 in an enclosure*

4.3.5.1 *Expected condition of the SF_6*

The condition of the used SF_6 in an enclosure will depend on the types and energies of any electrical discharges or arcs which have occurred within it. Four commonly encountered situations are:

a) SF_6 is in an enclosure which does not contain active parts of a circuit-breaker and which is not linked to a circuit-breaker enclosure so that an exchange of gas could occur.

Gas: zero to low decomposition.

Solids: little or no powder deposits.

b) Le SF_6 est dans une enveloppe contenant les parties actives d'un disjoncteur ou dans un compartiment connecté à un disjoncteur.

Gaz: décomposition modérée.

Solides: la quantité de dépôt dépend de l'historique des coupures de courant effectuées.

c) Le SF_6 est dans une enveloppe où il y a eu formation accidentelle d'arc. L'enveloppe n'a pas subi d'ouverture par suite du fonctionnement du dispositif de décharge de pression ou par perforation de la paroi. Dans ce cas, un défaut interne a eu lieu, mais un disjoncteur a éliminé le défaut, avant que la pression de l'enveloppe ne soit trop élevée pour libérer du SF_6 .

Gaz: décomposition inconnue mais probablement élevée.

Solides: probablement de grandes quantités de dépôt dont la nature dépend des matériaux ayant été en contact avec l'arc.

d) Même situation que c), mais une partie ou la totalité du gaz a été libérée suite au fonctionnement du dispositif de décharge de pression ou par perforation de la paroi.

Gaz: mélange d'air ambiant et de SF_6 partiellement décomposé. L'hydrolyse éventuelle des produits de décomposition fluorés a pu se produire, provoquant une acidité plus importante que dans les autres cas.

Solides: grandes quantités de dépôts, dont une grande partie a été expulsée.

Les précautions requises dans le cas d) sont données dans l'article 5.3.

4.3.5.2 *Echantillonnage et analyse du SF_6 provenant d'une enveloppe*

S'il est prévu que le SF_6 soit réutilisé sans recyclage, il convient d'effectuer les analyses pour vérifier:

- le taux d'humidité;
- la teneur en oxygène;
- l'acidité;
- le taux de fluorure hydrolysable.

Les méthodes pour effectuer ces analyses sont détaillées dans la CEI 480.

Il convient que le fabricant fournisse les indications sur les limites de concentration maximales permises pour les impuretés citées ci-dessus, en deçà desquelles le SF_6 peut être réutilisé après stockage. Le gaz ne sera cependant pas considéré comme du SF_6 neuf, mais plutôt comme du SF_6 réutilisable sans traitement complémentaire: les précautions de manipulation sont identiques à celles du SF_6 usagé indiquées ci-après.

Si les valeurs limites pour les impuretés ci-dessus sont dépassées, le SF_6 peut être recyclé, en utilisant un dispositif approprié, ou être renvoyé chez un fournisseur pour recyclage.

4.3.6 *Retirer le SF_6 usagé d'une enveloppe*

Avant de retirer le SF_6 de l'enveloppe d'un appareillage, un échantillon peut être prélevé et analysé, pour en connaître le niveau de décomposition (voir 4.3.5.2), avant toute autre manipulation.

b) SF_6 is in an enclosure containing active parts of a circuit-breaker, or linked to such a compartment.

Gas: medium decomposition.

Solids: quantity of deposits will depend upon the current interruption history.

c) SF_6 is in any enclosure in which abnormal arcing has occurred but where the enclosure has not opened to the atmosphere due to pressure relief or burn-through. In this case an internal fault has occurred but a circuit-breaker has cleared the fault before the pressure in the enclosure has risen sufficiently to cause a release of SF_6 .

Gas: unknown but high decomposition should be expected.

Solids: large quantity of deposits expected. Their compositions depend on which materials have been heated by the arc.

d) As c) but where some or all of the SF_6 gas has already been exhausted to the atmosphere due to pressure relief or burn-through.

Gas: a mixture of partially decomposed SF_6 and the ambient air. Hydrolysis of fluoride decomposition products may have occurred, leading to a higher degree of acidity than would occur in the other cases.

Solids: Large quantity of solids, much of which may have been expelled.

Precautions required in case d) are given in clause 5.3.

4.3.5.2 Sampling and testing SF_6 from an enclosure

If it is intended that the SF_6 is to be re-used without processing, tests for the following should be performed:

- moisture content;
- oxygen content;
- acidity;
- hydrolysable fluoride content.

Methods for the above tests are detailed in IEC 480.

Manufacturers' instructions should give permitted concentration limits for each of the above impurities which, if not exceeded, would allow the gas to be used again after storage. The gas should not however be regarded as new SF_6 ; rather as SF_6 which may be re-used without further treatment. The following handling precautions for used SF_6 should be applied.

If the recommended limits for the above values are exceeded, the SF_6 may be re-conditioned using appropriate equipment, or returned to a supplier for re-conditioning.

4.3.6 Removing used SF_6 from an enclosure

Before SF_6 is removed from a switchgear and controlgear enclosure, sampling and testing (see 4.3.5.2) may be carried out so that the level of decomposition is known prior to further handling of the gas.

Il convient d'utiliser l'équipement de récupération du gaz, décrit en 4.2.1, quand cela est possible, afin de permettre la récupération du SF₆ tout en minimisant l'échappement dans l'atmosphère. Un tel équipement comprend au moins un compresseur, des moyens adéquats pour le contrôle du débit de gaz, et une ou plusieurs cuves de stockage. Cet équipement comprendra de préférence des moyens de recyclage du SF₆ contaminé.

Le gaz n'ayant pas été recyclé par l'équipement de récupération peut être renvoyé chez le fournisseur pour remise à l'état neuf.

Il y a lieu d'analyser le gaz récupéré selon la méthode décrite dans la CEI 480, pour en connaître les impuretés, avant de le réutiliser.

Il convient que la documentation du fabricant indique l'équipement approprié pour les manipulations du SF₆, et en fournisse les procédures d'utilisation, sur au moins les points suivants:

- le débit du SF₆ pendant la récupération peut devoir être contrôlé pour empêcher une trop grande quantité de poudre de pénétrer dans le matériel de récupération;
- il convient que le niveau maximal de la pression résiduelle de l'enveloppe pendant la vidange soit précisé. Une pression de quelques centaines de millibars devrait convenir, lorsqu'un seul compresseur est utilisé pour créer un vide partiel. Il peut être préférable dans certains cas d'éviter l'utilisation d'une pompe à vide qui serait trop sensible à la présence de particules poudreuses. L'adjonction d'un filtre à particules pourrait réduire le débit à un niveau inacceptablement faible;
- il convient que toute opération supplémentaire requise soit décrite, comme par exemple, dans le cas d'une purge à l'aide d'air sec ou d'azote, suivie d'un temps de repos pour que les particules poudreuses se déposent avant l'ouverture de l'enveloppe.

4.3.7 Ouverture et pénétration dans une enveloppe

Cette partie concerne les cas a), b), et c) décrits en 4.3.5. Il convient que les instructions du fabricant sur la maintenance, l'extension ou la réparation des installations indiquent les précautions appropriées pour assurer :

- la réduction au minimum du SF₆ résiduel dans l'enveloppe, après vidange;
- la protection du personnel contre les effets du SF₆ résiduel et des impuretés qui y sont associées;
- la compréhension de l'importance d'éliminer l'humidité, minimisant ainsi la formation d'acide par hydrolyse;
- le retrait adéquat des produits de décomposition solides du SF₆. Il y aura lieu d'indiquer les moyens matériels pour y parvenir, comme, par exemple, un aspirateur portant la mention réservé à l'usage du SF₆, qui soit repéré en conséquence et équipé d'un filtre à poussières approprié (voir l'article E.2, point j);
- l'information du personnel sur l'effet irritant des produits de décomposition solides, et leur protection avec des vêtements de sécurité, des dispositifs respiratoires, et une protection oculaire appropriés (voir l'article E.2);
- que des objets comme les outils, les vêtements et les composants retirés soient en état pour une manipulation ultérieure. Le nettoyage avec une solution neutralisante est généralement nécessaire. Il convient d'indiquer les moyens recommandés pour vérifier qu'une solution déjà utilisée est propre à une nouvelle utilisation (voir 6.5.6 et 6.5.7);
- des instructions concernant la manipulation et l'enlèvement des sacs d'aspirateurs ou des dispositifs contenant les produits adsorbants contaminés (voir 6.5.5).