

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61207-3

Première édition
First edition
1998-10

**Analyseurs de gaz – Expression des qualités
de fonctionnement –**

**Partie 3:
Analyseurs d'oxygène paramagnétiques**

Gas analyzers – Expression of performance –

**Part 3:
Paramagnetic oxygen analyzers**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61207-3:1998

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

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 dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

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 in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

61207-3

Première édition
First edition
1998-10

**Analyseurs de gaz – Expression des qualités
de fonctionnement –**

**Partie 3:
Analyseurs d'oxygène paramagnétiques**

Gas analyzers – Expression of performance –

**Part 3:
Paramagnetic oxygen analyzers**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application et objet.....	10
2 Références normatives.....	10
3 Terminologie	12
3.1 Paramagnétisme	12
3.2 Analyseur à équilibrage automatique à méthode de zéro.....	12
3.3 Analyseurs thermomagnétiques (à «vent» magnétique).....	14
3.4 Analyseurs à pression différentielle (Quinke)	14
3.5 Zone dangereuse	14
3.6 Appareils auxiliaires essentiels.....	14
3.7 Point de rosée de l'échantillon	16
3.8 Gaz de référence	16
4 Procédures d'établissement des spécifications	18
4.1 Spécification des unités auxiliaires et services essentiels	18
4.2 Caractéristiques supplémentaires concernant la spécification des qualités de fonctionnement	20
4.3 Aspects importants liés à la spécification des qualités de fonctionnement.....	20
5 Procédures pour les essais de conformité	24
5.1 Remarque introductive	24
5.2 Procédures d'essai.....	26
Annexes	
A Gaz interférents	42
B Méthodes de préparation de la vapeur d'eau dans les gaz d'essai.....	48
Bibliographie	54
Figures	
1 Système à équilibrage magnétique automatique avec courant de réaction.....	30
2 Capteur d'oxygène thermomagnétique	32
3 Capteur d'oxygène à pression différentielle.....	34
4 Systèmes d'échantillonnage types – Système avec filtre, séchage et pompe pour échantillons humides	36
5 Dispositif général d'essai pour gaz secs	38
6 Système d'échantillonnage types – Système à aspiration de vapeur avec lavage à l'eau pour échantillons humides.....	40
B.1 Equipement général d'essai permettant d'alimenter en gaz et en vapeur d'eau des systèmes d'analyse.....	52

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope and object	11
2 Normative references	11
3 Terminology	13
3.1 Paramagnetism	13
3.2 Automatic null balance analyzer	13
3.3 Thermomagnetic (magnetic wind) analyzers	15
3.4 Differential pressure (Quinke) analyzers	15
3.5 Hazardous area	15
3.6 Essential ancillary units	15
3.7 Sample dew point	17
3.8 Reference gas	17
4 Procedures for specification	19
4.1 Specification of essential ancillary units and services	19
4.2 Additional characteristics related to specification of performance	21
4.3 Important aspects related to specification of performance	21
5 Procedures for compliance testing	25
5.1 Introductory remark	25
5.2 Testing procedures	27
Annexes	
A Interfering gases	43
B Methods of preparation of water vapour in test gases	49
Bibliography	55
Figures	
1 Magnetic auto-balance system with current feedback	31
2 Thermomagnetic oxygen sensor	33
3 Differential pressure oxygen sensor	35
4 Typical sampling systems – Filtered and dried system with pump for wet sample	37
5 General test arrangement – Dry gases	39
6 Typical sampling system – Steam-aspirated system with water wash for wet samples ..	41
B.1 Test apparatus to apply gases and water vapour to analysis systems	53

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ANALYSEURS DE GAZ – EXPRESSION DES QUALITÉS DE FONCTIONNEMENT –

Partie 3: Analyseurs d'oxygène paramagnétiques

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 concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels 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.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61207-3 a été établie par le sous-comité 65D: Appareils pour l'analyse de composition, du comité d'études 65 de la CEI: Mesure et commande dans les processus industriels.

La présente norme doit être lue conjointement avec la CEI 61207-1.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
65D/45/FDIS	65D/51/RVD

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GAS ANALYZERS – EXPRESSION OF PERFORMANCE –**Part 3: Paramagnetic oxygen analyzers**

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 co-operation 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 express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are 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.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61207-3 has been prepared by subcommittee 65D: Analyzing equipment, of IEC technical committee 65: Industrial-process measurement and control.

This standard shall be read in conjunction with IEC 61207-1.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
65D/45/FDIS	65D/51/RVD

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

La CEI 61207-3 constitue la partie 3 d'une série de publications, présentées sous le titre général: Analyseurs de gaz – Expression des qualités de fonctionnement.

- partie 1: Généralités
- partie 2: Oxygène contenu dans le gaz (utilisant des capteurs électrochimiques à haute température)
- partie 3: Analyseurs d'oxygène paramagnétiques
- partie 6: Analyseurs photométriques
- partie 7: Analyseurs par infrarouges pour gaz

Les parties 4 et 5 sont à l'étude.

Les annexes A et B sont données uniquement à titre d'information.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61207-3:1998

Withdrawn

IEC 61207-3 constitutes part 3 of a series of publications under the general title: Gas analyzers
– Expression of performance

- part 1: General
- part 2: Oxygen in gas (utilizing high-temperature electrochemical sensors)
- part 3: Paramagnetic oxygen analyzers
- part 6: Photometric analyzers
- part 7: Infra-red analyzers

Parts 4 and 5 are under consideration.

Annexes A and B are for information only.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 61207-3:1998

Withdrawn

INTRODUCTION

Les analyseurs d'oxygène paramagnétiques sont utilisés pour de nombreuses applications industrielles, de laboratoire et autres où le domaine de mesure assigné de l'analyseur se situe entre 0 % et 1 % et entre 0 % et 100 %.

Seuls quelques gaz présentent un paramagnétisme: l'oxygène est particulièrement sensible au paramagnétisme (voir annexe B). Cette propriété particulière de l'oxygène a permis de concevoir des analyseurs capables d'effectuer des mesurages très spécifiques dans la plupart des applications industrielles, par exemple lorsqu'il peut exister une quantité importante d'hydrocarbures résiduels.

Plusieurs techniques différentes de mesurage des propriétés paramagnétiques de l'oxygène sont décrites. Les trois principales méthodes, utilisées commercialement depuis des années, ont évolué au fil du temps. Ces trois méthodes sont les suivantes:

- équilibrage automatique à méthode de zéro;
- «vent» thermomagnétique ou magnétique;
- pression différentielle ou méthode de «Quinke».

Ces méthodes nécessitent toutes que le gaz échantillon soit propre et sec, bien que certaines versions fonctionnent à des températures élevées, afin que les échantillons qui ont des chances de se condenser à des températures inférieures puissent être analysés.

Cette prescription fait qu'il est souvent nécessaire que les analyseurs soient équipés d'un système d'échantillonnage afin de conditionner l'échantillon avant le mesurage.

INTRODUCTION

Paramagnetic oxygen analyzers are used in a wide range of industrial, laboratory and other applications where the rated measuring range of the analyzer is between 0 % and 1 % and between 0 % and 100 %.

Only a few gases display paramagnetism, and oxygen has a particularly strong paramagnetic susceptibility (see annex B). By employing this particular property of oxygen, analyzers have been designed which can be highly specific to measurement in most industrial applications where, for example, high background levels of hydrocarbons may be present.

There are several different techniques described for measuring the paramagnetic properties of oxygen, but three main methods have evolved over many years of commercial application. These are:

- automatic null balance;
- thermomagnetic or magnetic wind;
- differential pressure or "Quinke".

These methods all require the sample gas to be clean and dry, though some versions work at elevated temperatures so that samples that are likely to condense at a lower temperature can be analyzed.

Because of this requirement, analyzers often require a sample system to condition the sample prior to measurement.

ANALYSEURS DE GAZ – EXPRESSION DES QUALITÉS DE FONCTIONNEMENT –

Partie 3: Analyseurs d'oxygène paramagnétiques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61207 s'applique aux trois principales méthodes de mesure des propriétés paramagnétiques de l'oxygène:

- équilibrage automatique à méthode de zéro;
- «vent» thermomagnétique ou magnétique
- pression différentielle ou méthode de «Quinke».

De plus, elle traite des unités auxiliaires essentielles et s'applique aux analyseurs installés à l'intérieur et à l'extérieur.

NOTE – Les applications présentant un risque particulier pour la sécurité peuvent nécessiter des prescriptions supplémentaires relatives aux caractéristiques du système et de l'analyseur qui ne sont pas traitées dans la présente norme.

Cette norme a pour objet de

- spécifier la terminologie et les définitions liées aux qualités de fonctionnement des analyseurs de gaz paramagnétiques utilisés pour le mesurage de l'oxygène dans un gaz source;
- unifier les méthodes utilisées en fournissant et en vérifiant les indications relatives à la qualité de fonctionnement de ces analyseurs;
- spécifier les essais à effectuer afin de déterminer la qualité de fonctionnement et la manière dont il conviendrait de réaliser ces essais;
- stipuler des documents de base permettant d'appliquer les normes d'assurance de la qualité ISO 9001, ISO 9002 et ISO 9003.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 61207. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de la CEI 61207 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 60654-1:1993, *Matériels de mesure et de commande dans les processus industriels – Conditions de fonctionnement – Partie 1: Conditions climatiques*

CEI 61115:1992, *Expression des qualités de fonctionnement des systèmes de manipulation d'échantillon pour analyseurs de processus*

CEI 61207-1:1994, *Expression des qualités de fonctionnement des analyseurs de gaz – Partie 1: Généralités*

GAS ANALYZERS – EXPRESSION OF PERFORMANCE –

Part 3: Paramagnetic oxygen analyzers

1 Scope and object

This part of IEC 61207 applies to the three main methods for measuring paramagnetic properties of oxygen:

- automatic null balance;
- thermomagnetic or magnetic wind;
- differential pressure or “Quinke”.

In addition, it deals with essential ancillary units and applies to analyzers installed both indoors and outdoors.

NOTE – Safety critical appliances may require an additional requirement of system and analyzer specifications not covered in this standard.

This standard is intended to

- specify terminology and definitions related to the functional performance of paramagnetic gas analyzers for the measurement of oxygen in a source gas;
- unify methods used in making and verifying statements on the functional performance of such analyzers;
- specify what tests should be performed to determine the functional performance and how such tests should be carried out;
- provide basic documents to support the application of standards of quality assurance ISO 9001, ISO 9002 and ISO 9003.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 61207. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 61207 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 60654-1:1993, *Industrial-process measurement and control equipment, operating conditions – Part 1: Climatic conditions*

IEC 61115:1992, *Expression of performance of sample handling systems for process analyzers*

IEC 61207-1:1994, *Expression of performance of gas analyzers – Part 1: General*

3 Terminologie

3.1 Paramagnétisme

Lorsque des gaz paramagnétiques sont placés dans un champ magnétique externe, le flux au sein du gaz est plus important qu'il ne le serait dans le vide. Cela démontre que les gaz paramagnétiques présentent une susceptibilité magnétique positive et qu'ils sont donc attirés par la partie du champ magnétique qui présente le flux magnétique le plus fort.

NOTE 1 – Les électrons déterminent les propriétés magnétiques de la matière de deux manières:

- un électron peut être considéré comme une petite sphère chargée négativement qui tourne sur son axe. Cette charge tournante produit un moment magnétique;
- un électron qui décrit une orbite autour d'un noyau produit également un moment magnétique.

C'est la combinaison du «moment cinétique intrinsèque» et du «moment cinétique orbital» qui régit les propriétés magnétiques d'un atome ou d'un ion.

Dans les matériaux paramagnétiques, la principale contribution au moment magnétique provient des électrons orbitaux et de l'orientation de leur rotation qui détermine le paramagnétisme de la molécule d'oxygène et la distingue de la plupart des autres gaz.

NOTE 2 – La susceptibilité des substances diamagnétiques est négative parce que les lignes de force des dipôles induits annulent certaines lignes de force du champ magnétique externe.

NOTE 3 – La susceptibilité magnétique molaire de l'oxygène est inversement proportionnelle à la température absolue.

La susceptibilité molaire de l'oxygène peut être déterminée approximativement à l'aide de l'équation suivante:

Pour l'oxygène:

$$\chi_{\text{mol}} = \frac{8L\beta^2}{3kT} \quad (1)$$

où

χ_{mol} est la susceptibilité molaire de l'oxygène, en unités CGS;

L est le nombre d'Avogadro, soit $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

β est le magnéton de Bohr, soit $0,927 \times 10^{-20} \text{ erg G}^{-1}$;

k est la constante de Boltzmann, soit $1,38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$;

T est la température, en kelvins.

NOTE 4 – Une explication complète du paramagnétisme, du diamagnétisme et du ferromagnétisme peut être trouvée dans les ouvrages de physique et de chimie inorganique. Les explications données dans la présente norme sont destinées à fournir aux utilisateurs d'analyseurs d'oxygène paramagnétiques les bases leur permettant de comprendre les grandes lignes de la propriété physique utilisée.

3.2 Analyseur à équilibrage automatique à méthode de zéro

Le principe de fonctionnement de ce type d'analyseur est le déplacement d'un corps contenant un vide ou un gaz diamagnétique, à partir d'une zone à champ magnétique élevé, par le biais de molécules d'oxygène paramagnétiques (voir figure 1).

L'élément de mesure emploie un haltère en verre dont les sphères contiennent de l'azote, suspendu à une bande de torsion entre des éléments polaires magnétiques qui concentrent le flux autour de l'haltère. L'élément de mesure doit être placé dans un circuit magnétique. L'haltère est dévié lorsque des molécules d'oxygène pénètrent dans l'élément de mesure, une force étant exercée sur l'haltère par les molécules d'oxygène qui sont attirées par la partie la plus intense du champ magnétique. En utilisant des micromesureurs à miroir, une bobine de réaction et une électronique adaptée, il est possible d'obtenir en sortie un signal directement proportionnel à la pression partielle d'oxygène. Le transducteur est habituellement maintenu à une température constante pour empêcher les variations de susceptibilité magnétique liées à la température de provoquer des erreurs. De plus, la température élevée présente une utilité dans les applications où l'échantillon n'est pas particulièrement sec. Certains analyseurs sont conçus pour que le capteur fonctionne à une température de 100 °C, afin de faciliter encore les applications où des condensats se formeraient à une température inférieure.

3 Terminology

3.1 Paramagnetism

When paramagnetic gases are placed within an external magnetic field, the flux within the gas is higher than it would be in a vacuum, thus paramagnetic gases have a positive magnetic susceptibility, and are therefore attracted to the part of the magnetic field with the strongest magnetic flux.

NOTE 1 – Electrons determine the magnetic properties of matter in two ways:

- an electron can be considered as a small sphere of negative charge spinning on its axis. This spinning charge produces a magnetic moment;
- an electron travelling in an orbit around a nucleus will also produce a magnetic moment.

It is the combination of the "spin moment" and the "orbital moment" that governs the resulting magnetic properties of an individual atom or ion.

In paramagnetic materials the main contribution to the magnetic moment comes from unpaired electrons. It is the configuration of the orbital electrons and their spin orientations that establishes the paramagnetism of the oxygen molecule and distinguishes it from most other gases.

NOTE 2 – The susceptibility of diamagnetic substances is negative because lines of force from induced dipoles cancel out some lines of force from the external field.

NOTE 3 – The molar magnetic susceptibility of oxygen is inversely proportional to the absolute temperature.

The molar susceptibility of oxygen can be approximated by the following equation:

$$\text{For oxygen} \quad \chi_{\text{mol}} = \frac{8L\beta^2}{3kT} \quad (1)$$

where

χ_{mol} is the molar susceptibility of oxygen in CGS units;

L is the Avogadro number $6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$;

β is the Bohr magneton $0,927 \times 10^{-20} \text{ erg Gs}^{-1}$;

k is Boltzmann's constant $1,38 \times 10^{-16} \text{ erg K}^{-1}$;

T is the temperature, in kelvins.

NOTE 4 – A full understanding of paramagnetism, diamagnetism and ferromagnetism can be obtained from physics and inorganic chemistry textbooks. The explanation in this standard is to give the user of paramagnetic oxygen analyzers a simple understanding of the physical property utilized.

3.2 Automatic null balance analyzer

This type of analyzer uses, as a general principle of operation, the displacement of a body containing a vacuum or a diamagnetic gas, from a region of high magnetic field by paramagnetic oxygen molecules (see figure 1).

The measuring cell employs a glass dumb-bell, with the spheres containing nitrogen, suspended on a torsion strip between magnetic pole pieces that concentrate the flux around the dumb-bell. The measuring cell has to be placed in a magnetic circuit. The dumb-bell is then deflected when oxygen molecules enter the measuring cell, a force being exerted on the dumb-bell by the oxygen molecules which are attracted to the strongest part of the magnetic field. By use of optical levers, a feedback coil and suitable electronics, an output that is directly proportional to the partial pressure of oxygen can be achieved. The transducer is usually maintained at a constant temperature to prevent the variations in magnetic susceptibility with temperature from introducing errors. Additionally, the elevated temperature helps in applications where the sample is not particularly dry. Some analyzers are designed so that the transducer operates at a temperature in excess of 100 °C to further facilitate applications where condensates would form at lower temperature.

3.3 Analyseurs thermomagnétiques (à «vent» magnétique)

Ce type d'analyseur utilise la dépendance de la susceptibilité magnétique par rapport à la température pour générer un débit de gaz induit magnétiquement qui peut être mesuré par un capteur de débit. Le gaz échantillon passe dans une chambre conçue de manière que le débit soit divisé en deux à l'entrée (voir figure 2).

Les deux débits se recombinaient à la sortie. Le capteur de débit est enroulé autour d'un tube qui relie les deux branches. La moitié du tube de raccordement est placée entre les pôles d'un aimant puissant. Le capteur de débit est constitué de deux bobines de fil électrique dont la première moitié est chauffée à 80 °C environ par le passage d'un courant. Les molécules d'oxygène froides sont déviées par le champ magnétique dans le tube central. Leur susceptibilité magnétique diminue au fur et à mesure qu'elles se réchauffent et d'autres molécules d'oxygène froides pénètrent dans le tube de raccordement. Les molécules d'oxygène chaudes déplacées parcourent le tube et réchauffent la deuxième bobine du capteur de débit. La concentration d'oxygène est proportionnelle au changement de résistance de la seconde bobine, mesuré à l'aide d'un pont de Wheatstone.

Les analyseurs plus récents utilisent des éléments de mesure plus élaborés, des résistances toroïdales au lieu du capteur de débit à deux bobines, et un système de régulation de température pour minimiser les changements de température ambiante.

Cette méthode reposant sur le transfert thermique, la conductivité thermique des gaz résiduels influe sur le mesurage de l'oxygène. Il est donc nécessaire de connaître la composition des gaz résiduels. Dans ce cas également, les analyseurs de gaz plus récents apportent une correction par le biais de dispositifs de compensation supplémentaires.

La sortie des analyseurs thermomagnétiques n'est pas strictement linéaire et il est nécessaire de procéder à un traitement supplémentaire du signal pour obtenir une sortie linéaire.

3.4 Analyseurs à pression différentielle (Quinke)

Ce type d'analyseur utilise un pont de Wheatstone pneumatique établi à l'aide d'un gaz de référence (tel que l'azote). L'élément de mesure est conçu de telle sorte que le débit de gaz de référence soit divisé en deux à l'entrée. Ces deux débits se recombinaient à la sortie du gaz de référence, où l'échantillon est également introduit. Un capteur de pression différentielle (ou un capteur de microdébit) est positionné perpendiculairement aux deux débits de gaz de référence, de sorte que tout déséquilibre est détecté. Un aimant est placé à proximité de la sortie du gaz de référence sur une des branches de l'élément de mesure, de sorte que l'oxygène présent dans l'échantillon est attiré dans la branche en question, ce qui provoque une contre-pression détectée par le capteur de pression (voir figure 3).

Les analyseurs à pression différentielle sont indépendants de la conductivité thermique des gaz résiduels et, comme seul le gaz de référence entre en contact avec le capteur, les problèmes de corrosion sont minimes. Certains instruments utilisent des champs magnétiques en régime pulsé pour améliorer la sensibilité à l'inclinaison et d'autres modèles compensent l'effet des vibrations.

3.5 Zone dangereuse

Zone où il existe un risque de libération de gaz, vapeurs ou poussières inflammables.

3.6 Appareils auxiliaires essentiels

Les appareils auxiliaires essentiels sont ceux sans lesquels l'analyseur ne peut fonctionner dans le respect des spécifications (par exemple systèmes d'étalonnage, systèmes pour gaz de référence, systèmes d'échantillonnage).

3.3 Thermomagnetic (magnetic wind) analyzers

This type of analyzer utilizes the temperature dependence of the magnetic susceptibility to generate a magnetically induced gas flow which can then be measured by a flow sensor. The sample gas passes into a chamber designed so that the inlet splits the flow (see figure 2).

The two flows recombine at the outlet. A connecting tube is placed centrally with the flow sensor wound on it. One half of the connecting tube is placed between the poles of a strong magnet. The flow sensor is effectively two coils of wire, the first half is heated to about 80 °C by passage of a current. The cold oxygen molecules are diverted by the magnetic field into the central tube and as they heat up, their magnetic susceptibility is reduced and more cold oxygen molecules enter the connecting tube. The displaced hot oxygen molecules flow along the tube and heat up the second coil of the flow sensor. The concentration of oxygen is proportional to the change in resistance in the second coil which is measured using a Wheatstone bridge arrangement.

More recent analyzers use more refined measuring cells, torodial shaped resistors, instead of the two coil flow sensor, and employ temperature control to minimize ambient temperature changes.

As this method relies on heat transfer, the thermal conductivity of background gases will affect the oxygen reading and the composition of the background has to be known. Again, more recent analyzers allow for this by utilizing further compensation devices.

Thermomagnetic analyzers do not produce a strictly linear output and additional signal processing is required to linearize the output.

3.4 Differential pressure (Quinke) analyzers

This type of analyzer utilizes a pneumatic Wheatstone bridge established by using a reference gas (such as nitrogen). The measuring cell is designed so that at the reference gas inlet the flow is divided into two paths. These flows recombine at the reference gas outlet, where the sample is also introduced. A differential pressure sensor (or microflow sensor) is positioned across the two reference gas flows so that any imbalance is detected. A magnet is situated in the vicinity of the reference gas outlet in one arm of the measuring cell so that oxygen in the sample is attracted into the arm, thereby causing a back pressure which is detected by the pressure sensor (see figure 3).

Differential pressure analyzers are independent of thermal conductivity from background gases, and as only the reference gas comes in contact with sensor, corrosion problems are minimal. Some instruments use pulsed magnetic fields to improve tilt sensitivity and certain designs compensate for vibration effects.

3.5 Hazardous area

An area where there is a possibility of release of potentially flammable gases, vapours or dust.

3.6 Essential ancillary units

Essential ancillary units are those without which the analyzer will not operate within specifications (e.g. calibration systems, reference gas systems, sample systems).

3.6.1 Systèmes d'échantillonnage

Les prescriptions relatives aux systèmes d'échantillonnage sont présentées de manière détaillée dans la CEI 61115. La figure 4 représente des systèmes d'échantillonnage types.

Un système d'échantillonnage est composé de divers éléments assemblés sur un panneau ou dans le boîtier d'un analyseur. Il a pour but de transporter le gaz échantillon du point d'échantillonnage à l'analyseur et de présenter l'échantillon de manière que des mesurages fiables puissent être effectués. Les composants utilisés peuvent comprendre des

- régulateurs de pression;
- débitmètres;
- unités de filtration;
- pompes;
- vannes (manuelles et/ou électriques);
- pièges à condensats ou séparateurs;
- réfrigérants;
- réchauffeurs;
- unités de séchage;
- unités de lavage.

Ces composants sont habituellement conçus par l'utilisateur ou, plus souvent, par un fabricant, comme système d'échantillonnage, de sorte que les prescriptions relatives à l'analyseur telles qu'elles sont définies dans les spécifications se situent à l'intérieur du domaine de fonctionnement assigné. La conception du système requis dépend donc en grande partie des conditions d'échantillonnage. Les variations de la pression de l'échantillon, de la température, de la charge en poussière et de la pression d'autres gaz et vapeurs influent sur la conception du système d'échantillonnage final.

3.7 Point de rosée de l'échantillon

Le point de rosée d'un échantillon est exprimé en degrés Celsius (°C). Il s'agit de la température à laquelle ou en dessous de laquelle la condensation se produit.

Il convient de faire fonctionner l'analyseur à une température supérieure de 5 °C au minimum à celle du point de rosée de l'échantillon afin d'éviter la formation d'un condensat.

NOTE – La présence de condensation à l'entrée d'un analyseur entraîne habituellement un mauvais fonctionnement. En fonction de la nature de l'échantillon, la vapeur d'eau ou d'autres vapeurs peuvent se transformer en condensat.

3.8 Gaz de référence

L'analyseur «Quinke» nécessite un gaz de référence de composition constante connue. On utilise habituellement de l'azote pur. Dans ce type d'analyseur, le gaz de référence sert à établir dans le capteur des conditions de référence qui permettent de déterminer la pression d'oxygène dans l'échantillon.

3.6.1 Sample systems

For full details of sample systems' requirements, see IEC 61115. See figure 4 for typical sampling systems.

A sample system is a system of component parts assembled on a panel or in an analyzer house with the purpose of transporting the sample gas from the sampling point to the analyzer and presenting the sample in such a manner that reliable measurements can be obtained. The components used may include:

- pressure regulators;
- flow meters;
- filtration units;
- pumps;
- valves (manual and/or electrically operated);
- catch or knockout pots;
- coolers;
- heaters;
- drying units;
- scrubbing units.

These components will usually be designed as a sample system by the user or more often by a manufacturer, so that the analyzer requirements, as defined in the specification, are within the rated operating range. The required system design is therefore very dependent on the sample conditions of the process. Variations in sample pressure, temperature, dust loading and pressure of other gases and vapours will affect the final sample system design.

3.7 Sample dew point

The dew point of a sample is expressed in degrees Celsius (°C) and is the temperature at or below which condensation occurs.

The analyzer should be operated at a minimum of 5 °C above the sample dew point in order to prevent formation of condensate.

NOTE – The presence of condensation at the inlet of an analyzer will usually cause malfunction. Condensate may form from water vapour or other vapours depending on the nature of the sample.

3.8 Reference gas

The "Quinke" analyzer requires a reference gas of known constant composition. Pure nitrogen is usually employed. The reference gas is used, in this type of analyzer, to set up reference conditions in the sensor, so that the pressure of oxygen in the sample can then be determined.

4 Procédures d'établissement des spécifications

Ces procédures sont décrites de manière détaillée dans la CEI 61207-1 qui traite des points suivants:

- prescriptions d'exploitation et de stockage;
- spécification des domaines de mesure et des signaux de sortie;
- limites d'erreur;
- valeurs de référence recommandées et plages des grandeurs d'influence assignées (voir CEI 60654-1).

La présente norme donne les prescriptions relatives aux unités auxiliaires et aux services essentiels. Des caractéristiques supplémentaires pour la spécification des qualités de fonctionnement et des aspects importants des qualités de fonctionnement des analyseurs paramagnétiques sont exposées de manière détaillée.

4.1 Spécification des unités auxiliaires et services essentiels

4.1.1 Système d'échantillonnage

Le système d'échantillonnage doit être spécifié de manière à fournir une quantité d'échantillon se situant dans le domaine des grandeurs d'influence de l'analyseur.

NOTE 1 – Des éléments simples du système d'échantillonnage peuvent être incorporés à l'analyseur. Des débitmètres, des systèmes de régulation de débit, des débitmètres de contournement, des systèmes de régulation de débit de contournement et des filtres à échantillon font souvent partie intégrante de l'analyseur.

NOTE 2 – Si certains éléments du système sont inclus dans l'analyseur, le domaine assigné des grandeurs d'influence est moins strict que celui d'un analyseur sans système d'échantillonnage.

Le système d'échantillonnage allonge le temps de réponse de l'analyseur. C'est pourquoi il convient de spécifier le temps de réponse du système d'échantillonnage.

La composition chimique du débit d'échantillon doit être prise en compte lors de la spécification du système. Il est nécessaire de prendre des précautions particulières pour les échantillons inflammables, toxiques ou corrosifs.

4.1.2 Services

Il est nécessaire d'ajouter aux analyseurs d'oxygène paramagnétiques des systèmes d'étalonnage après installation. Des gaz étalons en bouteille et des dispositifs de régulation de pression sont généralement nécessaires. Les analyseurs de Quinke demandent en outre des dispositifs d'alimentation en gaz de référence.

NOTE – L'azote est habituellement utilisé pour l'étalonnage du zéro. L'air contient de 20,64 % à 20,85 % d'O₂ par volume du fait de la variation d'humidité. C'est pourquoi il convient d'utiliser de l'air sec ou de l'air d'alimentation d'instruments pneumatiques pour l'étalonnage des instruments de mesure.

4.1.2.1 Domaine de pression assigné du gaz étalon et de référence

La pression du gaz étalon et de référence doit se situer dans le domaine de pression d'échantillon assigné à l'analyseur afin de ne pas endommager le capteur paramagnétique.

4.1.2.2 Domaine de débit assigné du débit de gaz étalon et de référence

Le débit de gaz étalon et de référence doit se situer à l'intérieur du domaine du débit d'échantillon assigné à l'analyseur. Pour minimiser les erreurs, il convient que le réglage du débit de gaz étalon soit identique à celui du débit d'échantillon. Des débits de gaz étalon et de référence trop importants peuvent endommager le capteur paramagnétique.

4 Procedures for specification

The procedures are detailed in IEC 61207-1. This covers:

- operation and storage requirements;
- specification of ranges of measurement and output signals;
- limits of errors;
- recommended reference values and rated ranges of influence quantities (see IEC 60654-1).

In this standard, requirements of essential ancillary units and services are given. Additional characteristics for specification of performance and important aspects of performance relevant to paramagnetic analyzers are detailed.

4.1 Specification of essential ancillary units and services

4.1.1 Sampling system

The sampling system shall be specified to supply the sample within the rated range of influence quantities of the analyzer.

NOTE 1 – Simple elements of the sample system may be included in the analyzer. Sample flow meters, sample flow regulation, bypass flowmeters, bypass flow regulations and sample filters are often part of the analyzer.

NOTE 2 – If certain system elements are included in the analyzer, the rated range of influence quantities will be less severe compared to an analyzer without any sampling system.

The sample system will add an additional delay to the response time of the analyzer. Hence the sample system response time should be specified.

The chemical composition of the sample stream shall be considered in the system specification. Special precautions need to be taken for flammable samples, toxic samples or corrosive samples.

4.1.2 Services

Paramagnetic oxygen analyzers will require facilities for calibration after installation. Bottled calibration gases and pressure regulation facilities are generally required. Quinke analyzers will additionally require facilities for supplying the reference gas.

NOTE – Nitrogen is usually employed for zero calibration. Air contains between 20,64 % and 20,85 % O₂ by volume due to varying humidity. Dry air or instrument should therefore be used for span calibrations.

4.1.2.1 Rated range of calibration and reference gas pressure

Calibration and reference gas pressure shall be within the rated range of sample pressure for the analyzer, to prevent possible damage to the paramagnetic sensor.

4.1.2.2 Rated range of calibration and reference gas flow

Calibration and reference gas flow shall be within the rated range of sample flow for the analyzer. For minimum errors, the calibration gas flow should be set the same as for the sample flow. Excessively high calibration and reference gas flows may damage the paramagnetic sensor.

4.2 Caractéristiques supplémentaires concernant la spécification des qualités de fonctionnement

Il peut être demandé de spécifier les caractéristiques suivantes, qui s'ajoutent à celles détaillées dans la CEI 61207-1, pour définir la qualité de fonctionnement d'un analyseur paramagnétique ou son adaptation à une application particulière. En fonction du modèle de l'analyseur ou de l'application, certains de ces termes supplémentaires peuvent être omis.

4.2.1 Classement en zone à risque de l'endroit où l'analyseur doit être implanté. Les analyseurs à usage général ne peuvent être implantés dans une zone à risques.

4.2.2 Il convient de n'échantillonner les gaz ou vapeurs inflammables qu'avec des analyseurs dont il est spécifié qu'ils conviennent à cet usage.

4.2.3 Si le gaz échantillon est toxique, il convient de le spécifier car il peut être nécessaire de suivre des instructions de maintenance particulières pour assurer un fonctionnement sans fuites. On doit également prendre en compte, lors de l'installation de l'analyseur, la façon dont le gaz échantillon est mis à l'air libre, réinjecté dans le processus ou utilisé d'une autre manière.

4.2.4 Il convient de prendre en compte l'orientation de l'analyseur. Dans des installations fixes, il convient de placer les analyseurs en position verticale de façon à minimiser les erreurs dues à l'inclinaison. Pour les installations mobiles (par exemple à bord de navires), il convient de spécifier le domaine d'inclinaison assigné.

4.2.5 Il convient de prendre en compte la susceptibilité de l'analyseur aux vibrations. Il est recommandé d'utiliser des supports antivibrations pour les applications où le niveau des vibrations se situe en dehors du domaine assigné à l'analyseur.

4.2.6 Il convient de prendre en compte le temps de réponse de l'analyseur et de son système d'échantillonnage. Le temps de réponse spécifié pour l'analyseur est habituellement de beaucoup inférieur à celui du système d'échantillonnage, mais il dépend du modèle de système d'échantillonnage.

NOTE – Certains modèles d'analyseurs paramagnétiques comportent des systèmes réglables de débit d'échantillon et de débit de contournement.

4.3 Aspects importants liés à la spécification des qualités de fonctionnement

Bien qu'ils soient traités par la CEI 61207-1, les aspects suivants concernent particulièrement les analyseurs paramagnétiques.

4.3.1 Domaine de température ambiante assignée

4.3.2 Domaine de température assignée du gaz échantillon

NOTE – La susceptibilité magnétique de l'oxygène dépend de la température. La valeur mesurée peut être entachée d'une erreur importante si l'analyseur ne peut, de par sa conception, compenser la température du capteur. En pratique, la température du capteur paramagnétique dépend de la température ambiante et de la température du gaz. Les analyseurs d'oxygène paramagnétiques de processus utilisent habituellement des capteurs à réglage de température (autre la compensation thermique) pour minimiser l'influence des variations de la température de l'échantillon et des variations de la température ambiante. Il se peut que des analyseurs simples ne soient pas équipés de capteurs à température réglée, auquel cas il convient que l'étalonnage précède les mesurages de façon que les effets de la température ambiante et de la température de l'échantillon soient pris en compte.

4.2 Additional characteristics related to specification of performance

The following additional characteristics to those detailed in IEC 61207-1 may be required to be specified to define the performance of a paramagnetic analyzer or its suitability for a particular application. Depending on the analyzer design details or application, some of these additional terms may be omitted.

4.2.1 Hazardous classification of the area in which the analyzer is to be located. General-purpose analyzers are not suitable for location in hazardous areas.

4.2.2 Flammable gases or vapours should only be sampled by analyzers which are specified as suitable.

4.2.3 If the sample gas is toxic, this should be specified, as special maintenance instructions may be required to ensure leak-free operation. Installation of the analyzer shall also take into account how the sample gas is vented, returned to process, or otherwise dealt with.

4.2.4 The attitude of the analyzer should be considered. In fixed installations, analyzers should be located in an upright attitude so that any errors due to tilt are minimized. For moving installations (e.g. ships) the rated range of tilt should be specified.

4.2.5 The vibration sensitivity of the analyzer should be considered. For applications where the vibration levels are outside the rated range of the analyzer, anti-vibration mountings are recommended.

4.2.6 The response time of the analyzer and its sampling system should be considered. The response time specified for the analyzer will usually be considerably less than the sampling system, but is dependent on the sampling system design.

NOTE – Some paramagnetic analyzers are designed with adjustable sample flow and bypass flow sample systems.

4.3 Important aspects related to specification of performance

Although covered in IEC 61207-1, the following aspects are particularly relevant to paramagnetic analyzers.

4.3.1 Rated range of ambient temperature

4.3.2 Rated range of sample gas temperature

NOTE – The magnetic susceptibility of oxygen is temperature-dependent and large errors in the measurement value occur, unless the analyzer is designed to compensate for temperature of the sensor. In practice, the temperature of the paramagnetic sensor depends on ambient temperature and gas temperature. Process paramagnetic oxygen analyzers usually employ temperature-controlled sensors (in addition to temperature compensation) to minimize effects of sample temperature changes and ambient temperature changes. Simple analyzers may not have temperature-controlled sensors in which case calibration should precede measurements so that ambient temperature effects and sample temperature effects are taken into account.

4.3.3 Domaine assigné de pression ambiante

4.3.4 Domaine assigné de pression de l'échantillon

NOTE – Les valeurs mesurées dépendent de la pression de l'échantillon. Si l'analyseur est mis à l'air libre de telle sorte que l'échantillon soit à la pression ambiante à l'intérieur du capteur, les variations du mesurage barométrique entraînent des erreurs de mesurage.

Erreur sur le mesurage d'O₂ (% O₂):

$$\Delta O_m = \frac{P_m - P_c}{P_c} \times O_m \quad (2)$$

où

O_m est la teneur en oxygène relevée lors du mesurage (% O₂);

P_m est la pression (absolue) ambiante lors du mesurage, en millibars (mbar);

P_c est la pression (absolue) ambiante lors de l'étalonnage, en millibars (mbar).

Si l'échantillon est réinjecté dans le processus (on suppose que la pression dans le processus se situe à l'intérieur du domaine assigné de pression d'échantillon), les variations de la pression du processus entraînent des erreurs similaires.

La compensation de la pression barométrique et de la pression de l'échantillon est habituellement proposée par les fabricants d'analyseurs de processus, ce qui fait que ces erreurs sont minimisées.

4.3.5 Plage assignée du débit d'échantillon

Les erreurs de mesurage liées au débit d'échantillon peuvent être minimisées en réglant les débits d'étalonnage sur les débits prévus pour l'échantillon.

4.3.6 Plage assignée pour le point de rosée de l'échantillon

Les échantillons doivent être fournis à l'intérieur du domaine assigné pour le point de rosée de l'échantillon afin d'augmenter la fiabilité de fonctionnement. Il se produit également des différences dans la valeur relevée si le mesurage est effectué sur une base humide et non sur une base sèche.

NOTE 1 – Si le domaine assigné pour le point de rosée de l'échantillon pour un analyseur est bas, il se peut que le système d'échantillonnage doive retirer de la vapeur d'eau de l'échantillon. Si, par exemple, 10 % de vapeur d'eau étaient retirés par le système d'échantillonnage, la valeur relevée correspondante serait, pour l'oxygène, 100/90 fois supérieure à celle de l'échantillon humide.

NOTE 2 – Certains analyseurs d'oxygène sont conçus de manière que le capteur soit réglé à des températures se situant dans le domaine de 60 °C à 120 °C. Cela permettra d'analyser de façon fiable des échantillons relativement humides. Par exemple, un échantillon saturé de vapeur d'eau à 21 °C contient approximativement 2,5 % de vapeur d'eau. Cet échantillon humide se situerait normalement à l'intérieur du domaine assigné pour le point de rosée de l'échantillon, pour un analyseur où le capteur est réglé à 60 °C. Toutefois, la teneur en eau de l'échantillon produit une erreur volumétrique par comparaison avec un mesurage effectué sur une base sèche d'où l'eau a été retirée avant le mesurage.

4.3.7 Domaine assigné pour la teneur en particules de l'échantillon

Les analyseurs d'oxygène paramagnétiques nécessitent habituellement un échantillon relativement propre pour un fonctionnement fiable. Il convient de ne pas dépasser le domaine assigné pour la teneur en particules, défini en masse par mètre cube, ni la taille maximale des particules, exprimée en micromètres.

4.3.3 Rated range of ambient pressure

4.3.4 Rated range of sample pressure

NOTE – Measurement values are dependent on sample pressure. If the analyzer is vented to atmosphere so that the sample within the sensor is at ambient pressure, changes in barometric reading will cause errors in the measured value.

Error in O₂ reading (% O₂):

$$\Delta O_m = \frac{P_m - P_c}{P_c} \times O_m \quad (2)$$

where

O_m is the oxygen reading at time of measurement (% O₂);

P_m is the ambient (absolute) pressure at time of measurement in millibars (mbar);

P_c is the ambient (absolute) pressure at time of calibration in millibars (mbar).

If the sample is returned to the process stream (assuming process pressure is within the rated range of sample pressure), variations in process pressure will cause similar errors.

Barometric pressure compensation and sample pressure compensations are usually offered by manufacturers of process analyzers so that these errors are minimized.

4.3.5 Rated range of sample flow

Errors in indicated value due to sample flow can be minimized by setting the calibration flow rates to the expected sample flow rates.

4.3.6 Rated range of sample dew point

Samples shall be supplied within the rated range of sample dew point to increase performance reliability. Also differences in indicated value will occur if the measurement is made on a wet basis compared to a dry basis.

NOTE 1 – If the rated range of sample dew point for an analyzer is low, then the sampling system may have to remove water vapour from the sample. If for example 10 % water vapour were removed by the sample system, the corresponding indicated oxygen value would be a 100/90 times greater than the value in the wet sample.

NOTE 2 – Some oxygen analyzers are designed so that the sensor is controlled at temperatures within the range 60 °C to 120 °C. This enables relatively wet samples to be analyzed reliably. For example a sample saturated with water vapour at 21 °C contains approximately 2,5 % water vapour. This wet sample would normally be within the rated range of sample dew point for an analyzer wherein the sensor is controlled at 60 °C. However, the water content in the sample will produce a volumetric error compared to a measurement made on a dry basis where the water has been removed prior to measurement.

4.3.7 Rated range of sample particulate content

Paramagnetic oxygen analyzers usually require a relatively clean sample to ensure reliable operation. The rated range of particulates defined in mass per cubic metre, and maximum particulate size in micrometres should not be exceeded.

4.3.8 Domaine assigné des erreurs d'interférence

NOTE – Les analyseurs d'oxygène paramagnétiques sont conçus pour mesurer spécifiquement le magnétisme du gaz échantillon. L'oxygène possédant une forte susceptibilité magnétique, le mesurage est très spécifique. Voir toutefois l'annexe A pour ce qui concerne les interférences des autres gaz communs.

Certains analyseurs d'oxygène présentent des erreurs d'interférence dues à des propriétés des gaz autres que la susceptibilité magnétique. Par exemple, des gaz de conductivité thermique élevée contenus dans l'échantillon peuvent provoquer des erreurs dans la valeur indiquée par les analyseurs à «vent» magnétique, bien que les analyseurs modernes puissent les compenser.

La teneur en vapeur d'eau doit se situer dans le domaine assigné du point de rosée de l'échantillon (voir 4.3.6). Il peut se produire des erreurs d'interférence autres que celles liées aux effets volumétriques.

4.3.9 Plage assignée d'erreur de linéarité

Certains analyseurs sont à linéarité inhérente et ne présentent que de très faibles erreurs de linéarité.

4.3.10 Les domaines assignés des grandeurs d'influence pour les conditions climatiques, les conditions mécaniques et les conditions d'alimentation électriques sont spécifiés dans la CEI 60654-1. De plus, les analyseurs d'oxygène paramagnétiques peuvent être affectés par la présence à proximité de matériaux magnétiques.

5 Procédures pour les essais de conformité

5.1 Remarque introductive

Les essais abordés dans le présent article s'appliquent à l'analyseur complet tel qu'il est fourni pas le fabricant, y compris tous les équipements auxiliaires essentiels. L'analyseur aura été réglé par le fabricant, ou conformément aux instructions de ce dernier, avant les essais.

5.1.1 Matériel d'essai

Le matériel d'essai suivant est nécessaire pour la vérification des valeurs confirmant la qualité de fonctionnement des analyseurs d'oxygène paramagnétiques.

- a) Matériel de mélange des gaz pour préparer les gaz d'essai (il est possible d'utiliser des gaz étalons certifiés).
- b) Matériel destiné à conduire les gaz d'essai jusqu'à l'analyseur à la pression, au débit et à la température requis. Les gaz doivent être commutés pour permettre le mesurage du temps de réponse.
- c) Matériel destiné à mesurer les erreurs d'interférence. Ce matériel comprend des barboteurs à contrôle de température permettant de mesurer les effets de la vapeur d'eau.
- d) Une chambre climatique est requise pour mesurer les erreurs d'influence, comme la température ou l'humidité.
- e) Matériel destiné à déterminer les erreurs d'influence dues aux variations de la tension d'alimentation, de la fréquence et aux coupures d'alimentation.
- f) Matériel destiné à déterminer les erreurs d'influence dues à la susceptibilité électromagnétique. Il peut être nécessaire de déterminer les émissions par rayonnement.
- g) Matériel destiné à déterminer les erreurs d'influence dues aux vibrations.

La figure 5 représente le dispositif général pour l'essai des gaz secs.

4.3.8 Rated range of interference errors

NOTE – Paramagnetic oxygen analyzers by design specifically measure the magnetism of the sample gas. Oxygen has a high magnetic susceptibility and the measurement is therefore quite specific, but see annex A for interference from other common gases.

Some oxygen analyzers will have interference errors from properties of gases other than magnetic susceptibility. For example gases of high thermal conductivity in the sample may introduce errors in indicated value in magnetic wind analyzers, though modern analyzers may compensate for this.

Water vapour content shall be in the rated range of sample dew point (see 4.3.6). Interference errors, other than those due to volumetric effects may occur.

4.3.9 Rated range of linearity error

Some analyzers are inherently linear and have very small linearity errors.

4.3.10 Rated range of influence quantities for climatic conditions, mechanical conditions and main supply conditions are specified in IEC 60654-1. In addition, paramagnetic oxygen analyzers may be affected by the presence of nearby magnetic material.

5 Procedures for compliance testing

5.1 Introductory remark

The tests considered in this clause apply to the complete analyzer as supplied by the manufacturer and include all essential ancillary equipment. The analyzer will be set up by the manufacturer, or in accordance with his instruction, prior to testing.

5.1.1 Test equipment

The following test equipment is necessary for verification of values that confirm the performance of paramagnetic oxygen analyzers.

- a) Gas mixing equipment to prepare the required test gases (certified calibration gases can be used).
- b) Equipment to present the test gases to the analyzer at the required pressure, flow and temperature. Gases shall be switched over to enable response time measurements.
- c) Equipment to measure interference errors. This will also include temperature controlled bubblers so that the effects of water vapour can be measured.
- d) An environmental chamber will be required to measure appropriate influence errors, such as temperature or humidity.
- e) Equipment for determining influence errors from variation in supply voltage, frequency and supply interruption.
- f) Equipment to determine influence errors due to electromagnetic susceptibility. Radiated emissions may have to be determined.
- g) Equipment to determine influence errors under vibration.

Figure 5 shows the general test arrangement for dry gases.

5.2 Procédures d'essai

La CEI 61207-1 fournit des détails concernant les procédures d'essais appropriées qui suivent:

- erreur intrinsèque;
- erreur de linéarité;
- erreur de répétabilité;
- fluctuation du signal de sortie;
- dérive;
- temps de retard, temps de montée, temps de descente;
- temps de préchauffage;
- variations (erreurs d'influence);
- erreurs d'interférence.

Tous les équipements auxiliaires destinés au fonctionnement correct de l'analyseur doivent être maintenus dans les conditions de référence.

Les précisions d'essai complémentaires exigées pour les analyseurs d'oxygène paramagnétiques sont donnés ci-dessous.

5.2.1 Erreur d'interférence

La valeur d'essai et les caractéristiques des erreurs d'interférence doivent, préalablement à l'essai, faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

Le fabricant a l'obligation d'indiquer les composants (et leur concentration), ainsi que les paramètres dont il estime par expérience qu'ils engendreront une interférence égale ou supérieure à la concentration minimale détectable. Cela comprend la pression du gaz échantillon, si aucune compensation de la pression n'est fournie.

Les erreurs d'interférence sont déterminées en soumettant en premier lieu l'analyseur au gaz étalon puis, tour à tour, à des gaz qui contiennent la plus forte concentration probable de composants interférents, puis enfin à des gaz contenant la moitié de cette concentration, ces gaz étant autrement identiques au gaz étalon.

Il est possible d'utiliser un gaz de zéro lorsque l'erreur d'interférence ne risque pas de varier de manière significative sur l'ensemble du domaine de mesure.

Chaque essai est répété trois fois et les erreurs moyennes sont déterminées et enregistrées en termes de concentration équivalente du composant à déterminer.

5.2.2 Echantillons humides

Si une exigence impose la réalisation des essais sur le domaine assigné du point de rosée, la mesure des erreurs d'interférence dues à la vapeur d'eau, les prescriptions suivantes s'appliquent.

L'interférence de la vapeur d'eau peut être déterminée, après dilution, par le même mode opératoire que celui indiqué en 5.2.1.

Cependant, comme la méthode de préparation des gaz contenant une concentration connue de vapeur d'eau nécessite un soin particulier, il est permis d'appliquer les modes opératoires suivants.

5.2 Testing procedures

The following relevant testing procedures are detailed in IEC 61207-1:

- intrinsic error;
- linearity error;
- repeatability error;
- output fluctuation;
- drift;
- delay time, rise time, fall time;
- warm up time;
- variations (influence errors);
- interference errors.

Any ancillary equipment for the correct functioning of the analyzer shall be kept under reference conditions.

Additional test details required for paramagnetic oxygen analyzers are given below.

5.2.1 Interference error

The value for testing and statement of interference errors shall be agreed between the manufacturer and user prior to testing.

The manufacturer bears an obligation to indicate components (and their concentrations) and parameters which he expects from experience, to provide interference equal to, or greater than the minimum detectable concentration. This will include sample pressure if pressure compensation is not provided.

Interference errors are determined by first presenting the analyzer with calibration gas and then sequentially with gases which contain the highest expected concentration of interfering components, and then at half that level, and which are otherwise identical to the calibration gas.

Zero calibration gas may be used where the interference error is not expected to vary significantly through the effective range.

Each test is repeated three times, and the average errors are determined and recorded in terms of the equivalent concentration of the component to be determined.

5.2.2 Wet samples

If it is required that tests are performed on the rated range of dew point, or to measure interference errors due to water vapour, the following is relevant.

Water vapour interference, after allowance for dilution, can be determined by the same procedure as stated in 5.2.1.

However, as the method of preparation of gases with a known concentration of water vapour requires care, the following procedures may be applied.

Toutes les tuyauteries, à partir du point d'addition de vapeur d'eau ou de vapeur d'un autre produit condensable, jusqu'à et y compris l'entrée d'échantillon de l'analyseur, doivent être maintenues à une température supérieure au point de rosée. Voir figure 6.

Les conditions de référence seront celles de gaz d'essai secs.

Pour les analyseurs nécessitant un essai à des points de rosée élevés, le barboteur ainsi que la tuyauterie et l'élément de mesure peuvent fonctionner à des températures élevées. La pression partielle pour la vapeur d'eau peut être calculée entre 0 °C et 100 °C, comme dans l'équation (B.1) de l'annexe B.

5.2.3 Temps de retard, temps de montée, temps de descente

Lors de la détermination de ces temps de réponse, il est important de tenir compte des effets du tuyau et des composants traversés par l'échantillon, étant donné que les valeurs mesurées sont spécifiées au niveau de l'entrée d'échantillon de l'analyseur. En outre, les valeurs de réponse mesurées nécessitent normalement un débit maximal de l'échantillon dans son domaine assigné, de même qu'un débit de contournement maximal, si l'analyseur dispose de cette fonction.

The temperature of all pipework from the point of water vapour or other condensable vapour addition, up to the analyzer sample inlet, shall be maintained above the dew point. See figure 6.

The reference conditions will be those for dry test gases.

For analyzers requiring testing at high dew points, the bubbler and sample pipework and cell may be operated at elevated temperatures. The partial pressure for water vapour may be calculated within the range 0 °C to 100 °C as in equation (B.1) in annex B.

5.2.3 Delay time, rise time, fall time

In determining these response times, it is important to consider the effects of the sample pipe and components, as the stated values will be specified at the sample inlet of the analyzer. Also, stated response values will usually require that sample flow rate is at the maximum within its rated range, similarly with the bypass flow if this function is fitted to the analyzer.

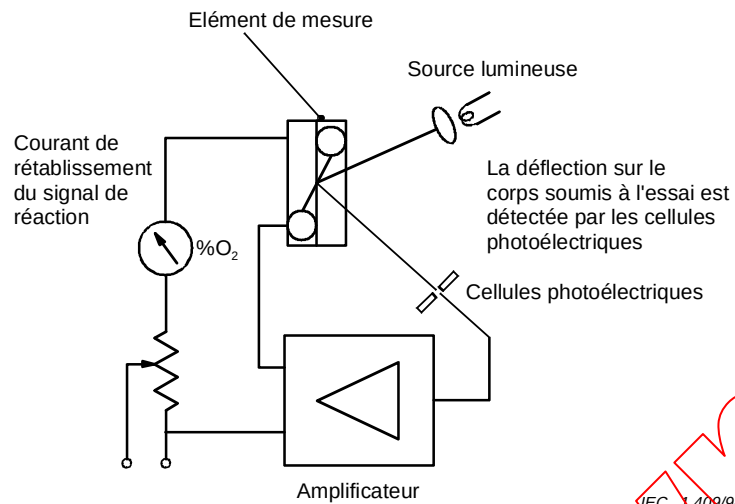
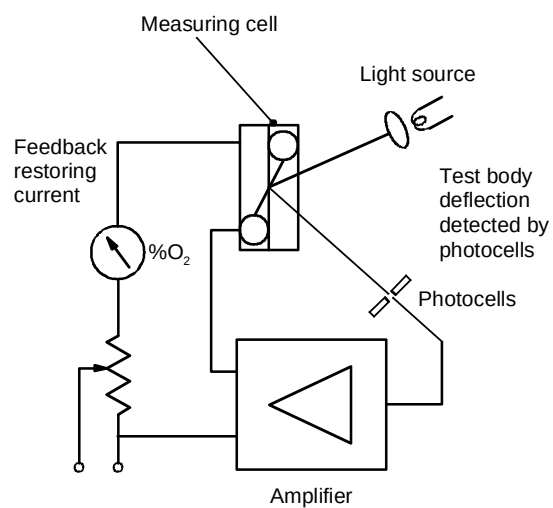


Figure 1 – Système à équilibrage magnétique automatique avec courant de réaction



IEC 1409/98

Figure 1 – Magnetic auto-balance system with current feedback

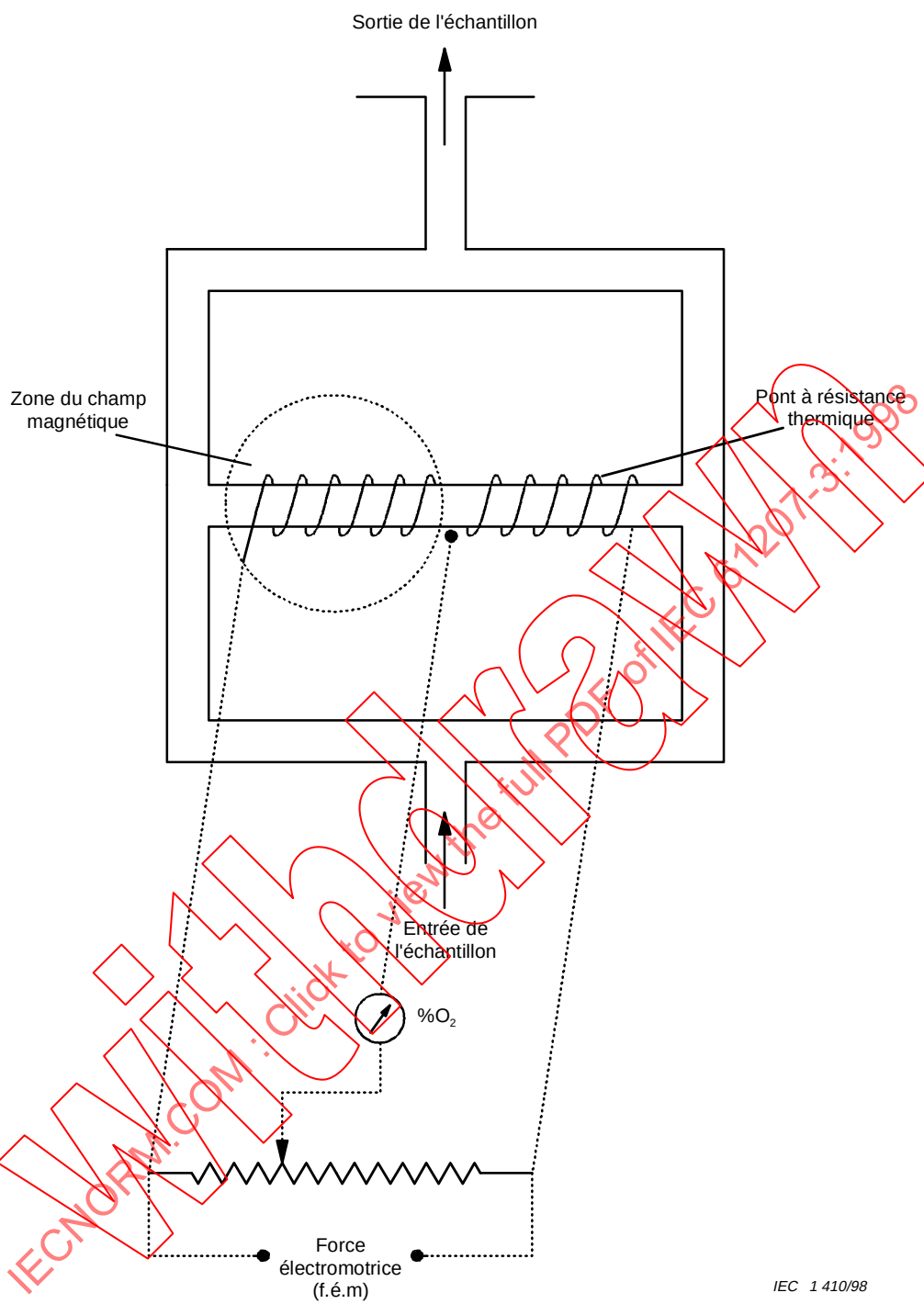
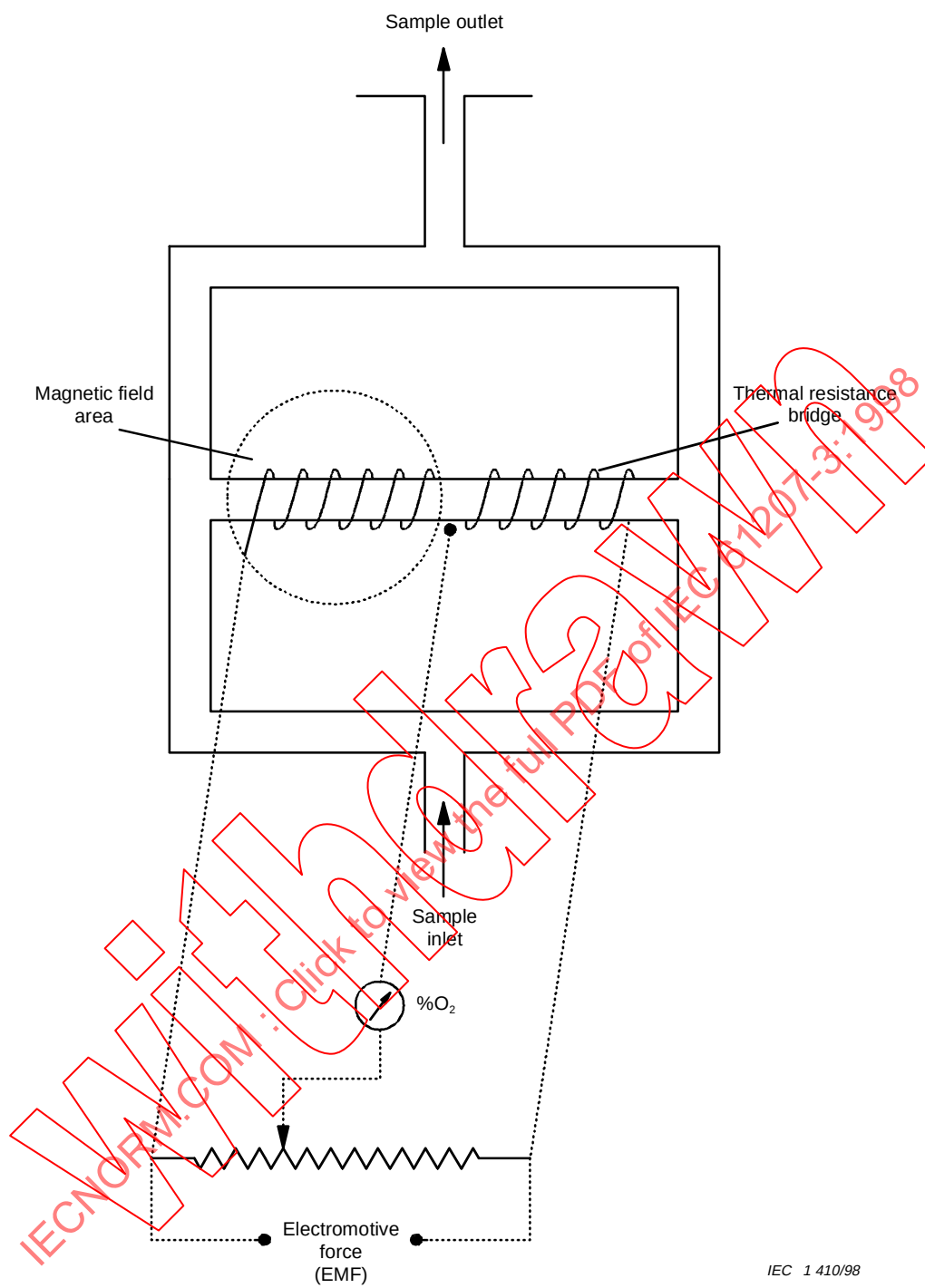


Figure 2 – Capteur d'oxygène thermomagnétique

**Figure 2 – Thermomagnetic oxygen sensor**

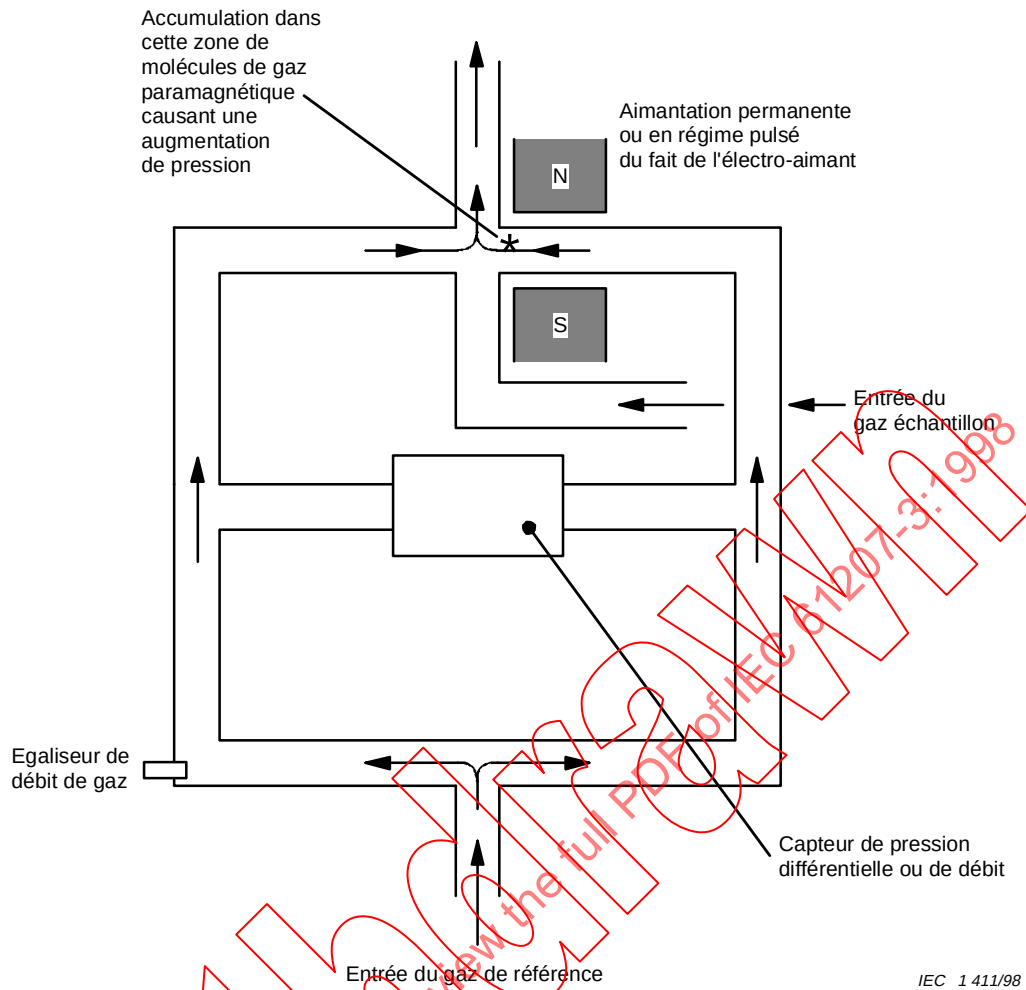


Figure 3 - Capteur d'oxygène à pression différentielle

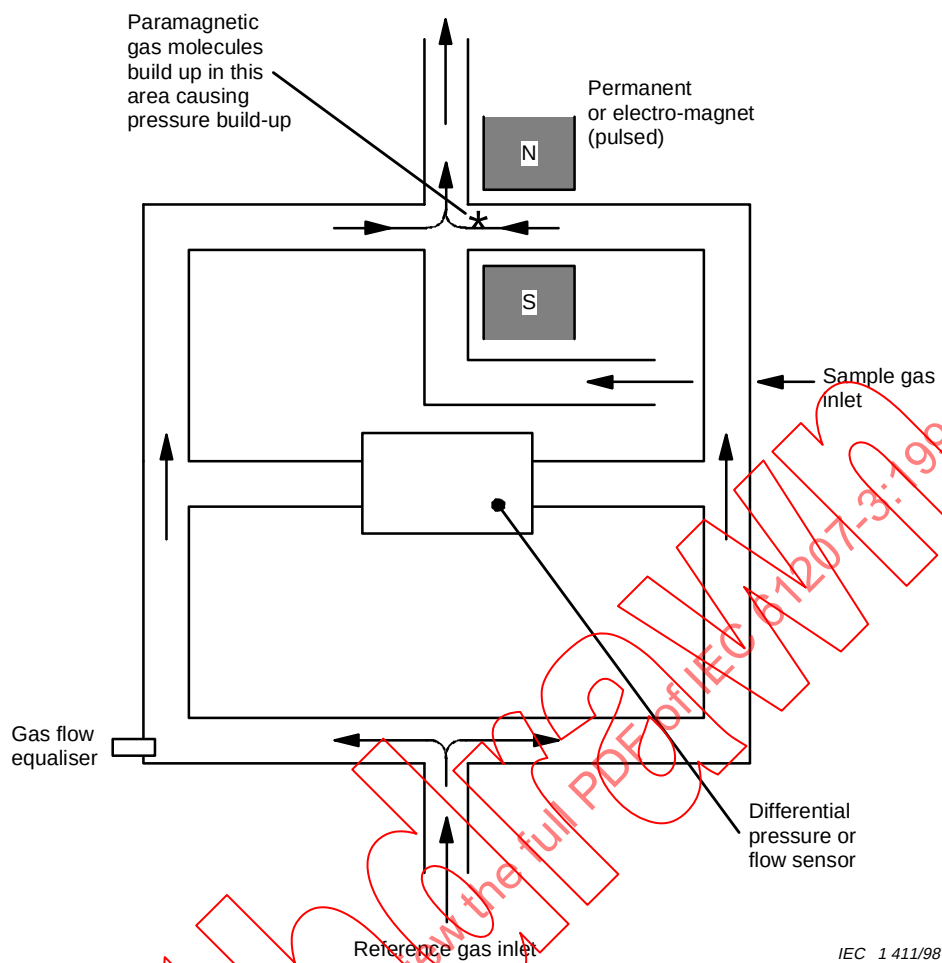


Figure 3 – Differential pressure oxygen sensor

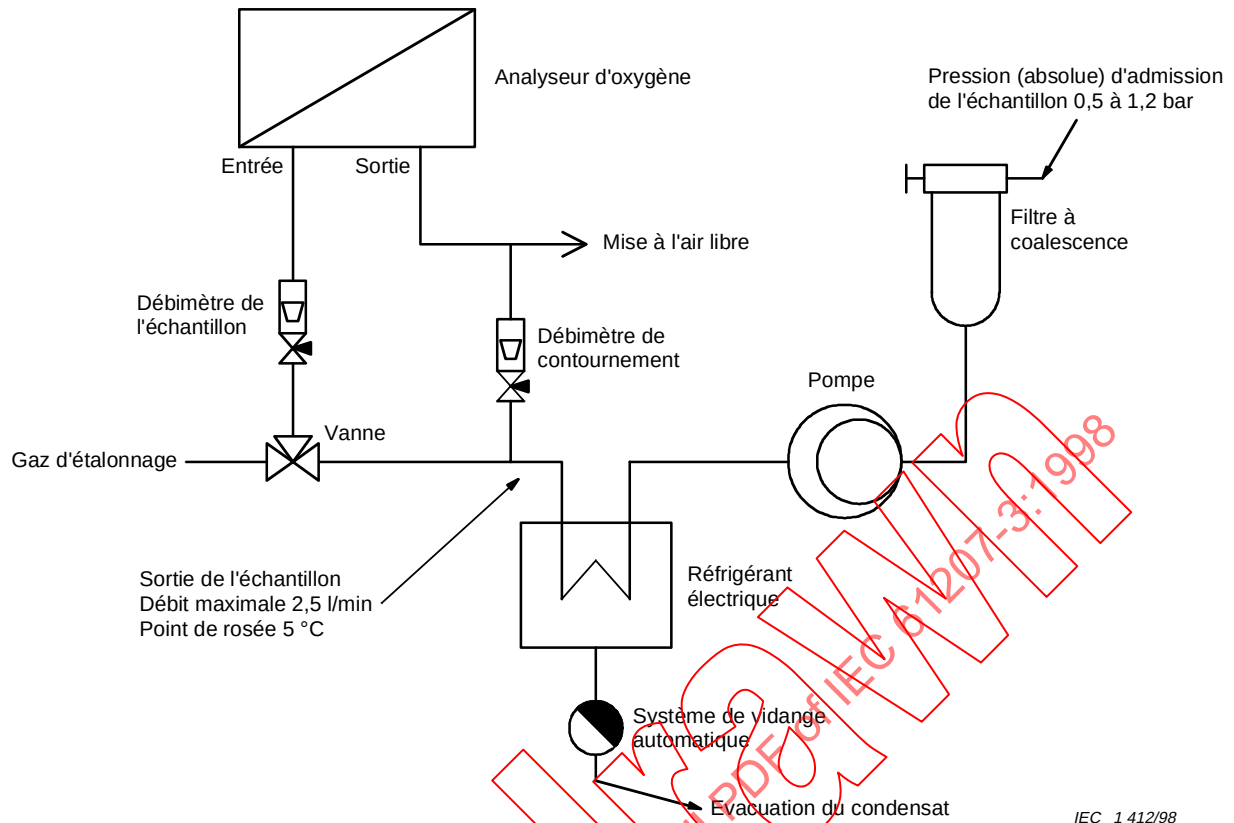
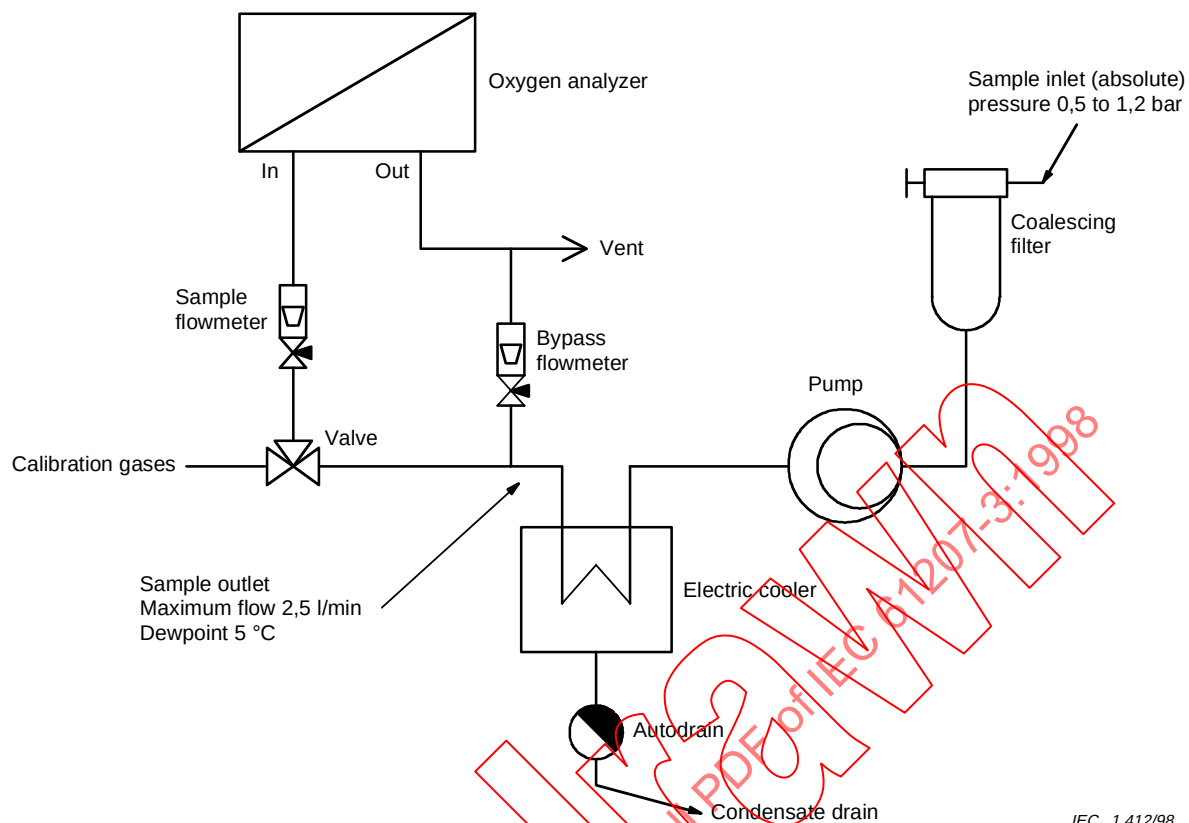
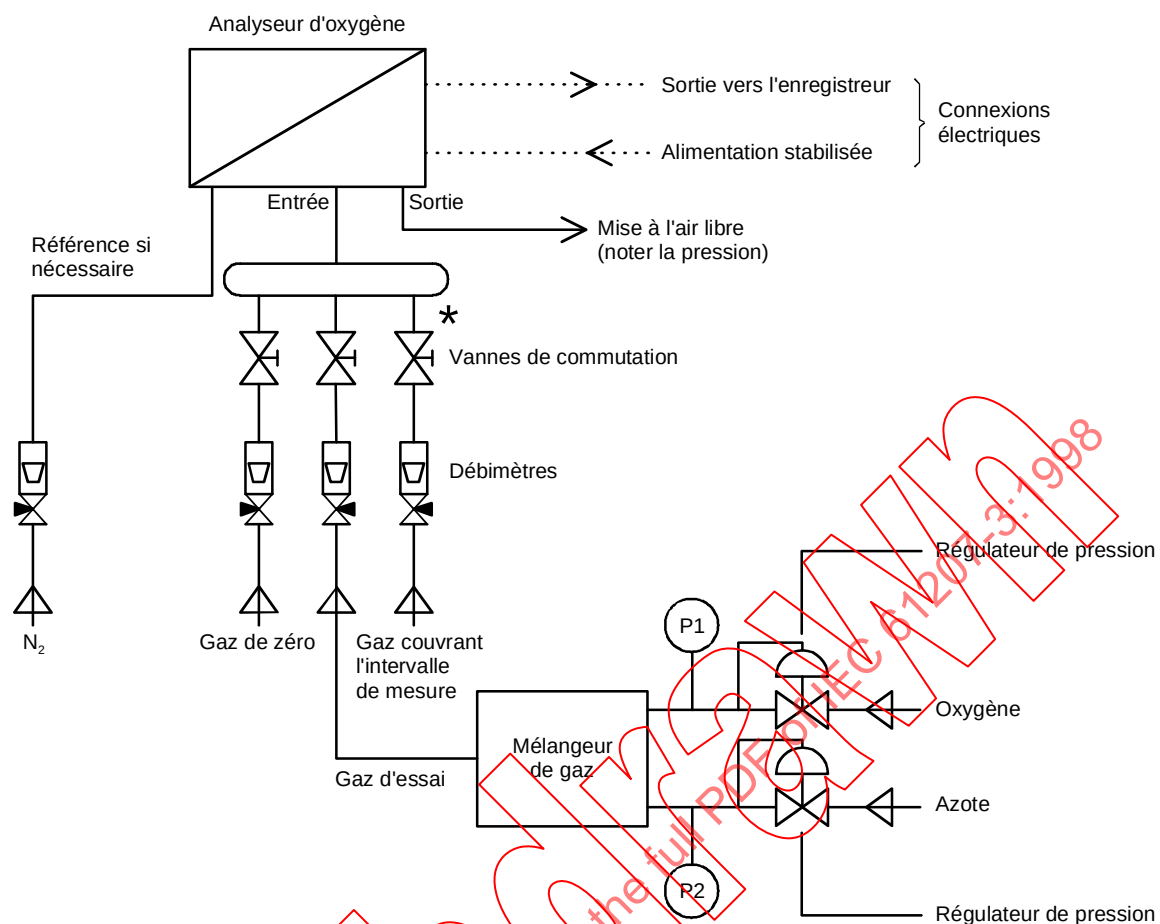


Figure 4 – Système d'échantillonnage types – Système avec filtre séchage et pompe pour échantillons humides



IEC 1412/98

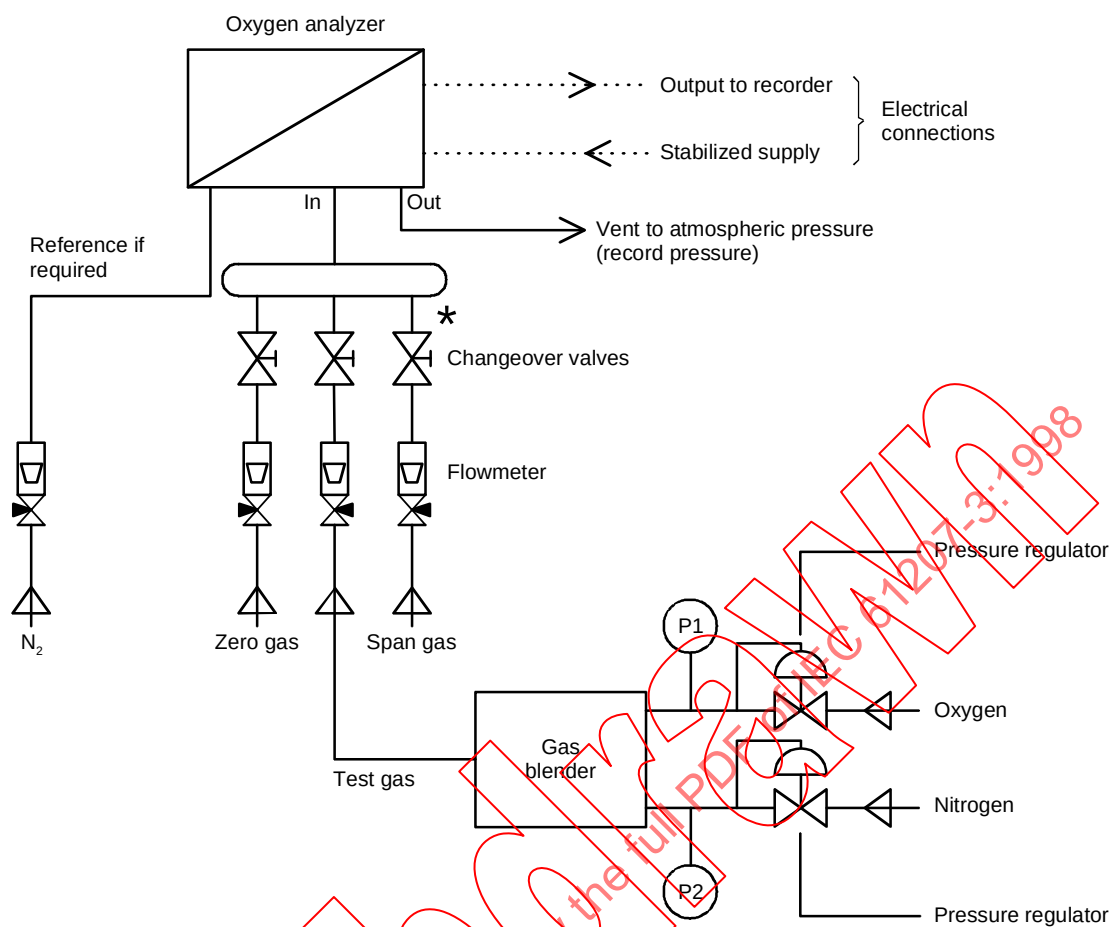
Figure 4 – Typical sampling systems – Filtered and dried system with pump for wet samples



IEC 1413/98

* Réduire au minimum la longueur des canalisations d'extrémité afin d'éviter des erreurs dans le mesurage du temps de réponse.

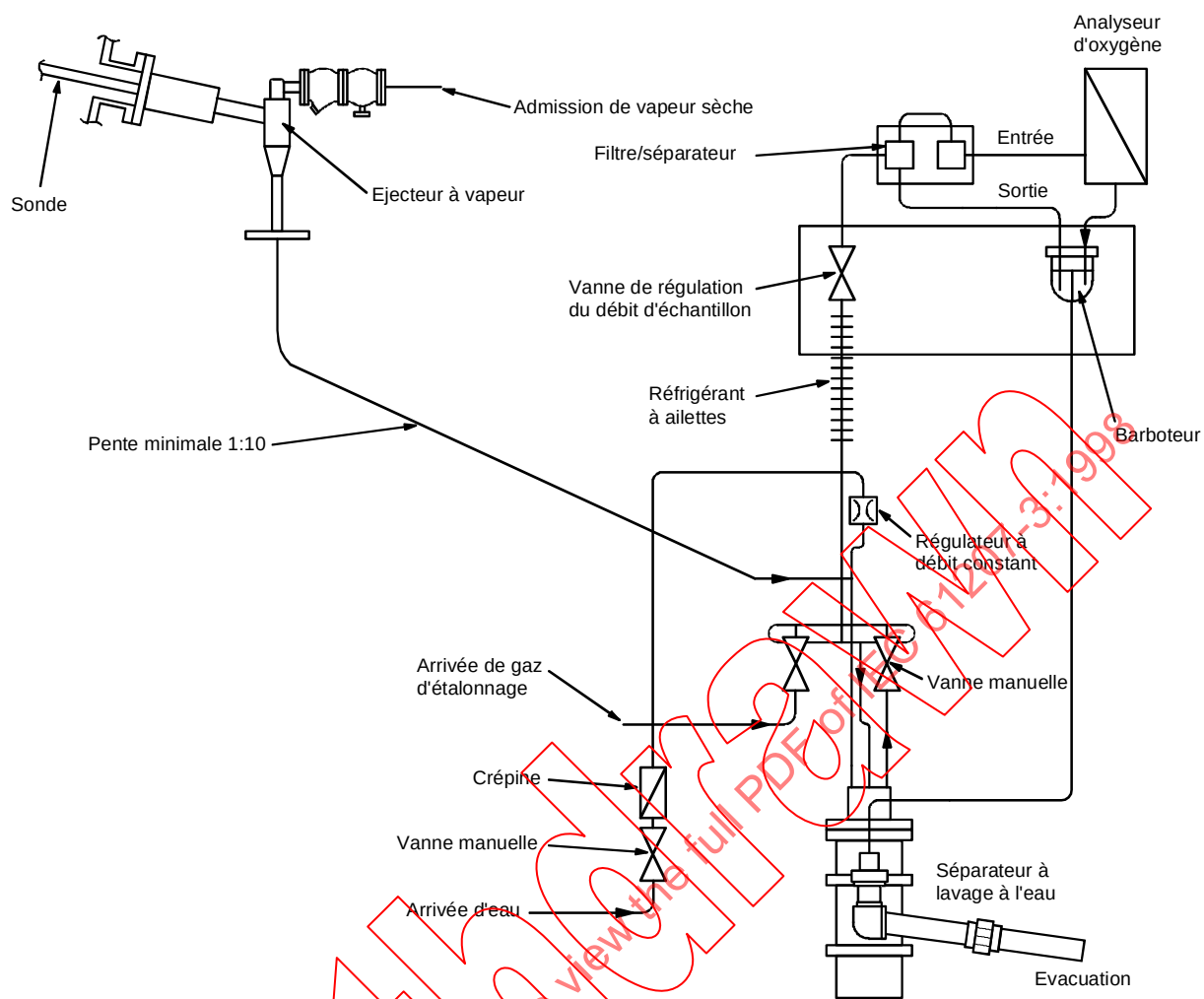
Figure 5 – Dispositif général d'essai pour gaz secs



IEC 1 413/98

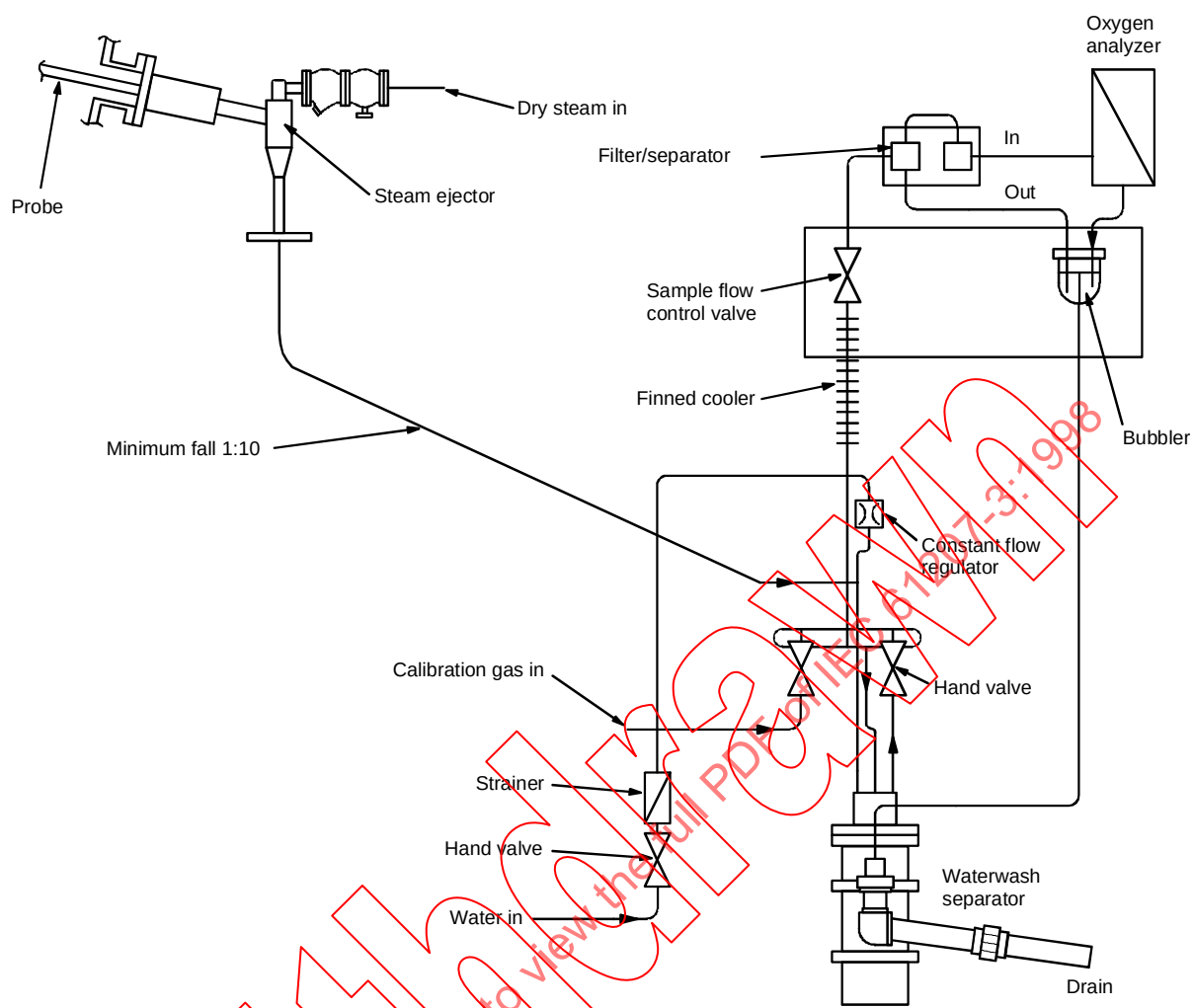
* Deadlegs to be minimized in length to avoid errors in response time measurement.

Figure 5 – General test arrangement – Dry gases



IEC 1 414/98

Figure 6 – Système d'échantillonnage types – Système à aspiration de vapeur avec lavage à l'eau pour échantillons humides



IEC 1414/98

Figure 6 – Typical sampling system – Steam-aspirated system with water wash for wet samples

Annexe A (informative)

Gaz interférents

L'oxygène est un gaz paramagnétique, c'est-à-dire qu'il est attiré par un champ magnétique. Tous les autres gaz sont virtuellement diamagnétiques, c'est-à-dire qu'ils sont repoussés par un champ magnétique. Les analyseurs d'oxygène paramagnétique sont habituellement étalonnés sur une échelle normalisée, à 0 pour l'azote, à 100 pour l'oxygène. Pour les mesures de grande précision, il peut s'avérer nécessaire de déplacer la valeur de zéro dans l'étalonnage, afin de compenser la présence de gaz résiduel. Le tableau A.1 donne les facteurs de correction pour de nombreux gaz courants. Certaines de ces valeurs sont calculées, d'autres mesurées. Il convient par conséquent de les considérer comme des valeurs indicatives plutôt qu'absolues.

Exemple 1: un analyseur étalonné avec N_2 comme gaz de zéro et O_2 comme gaz correspondant à l'intervalle de mesure présente, lorsque 100 % du CO_2 l'a traversé, un résultat de $-0,30 \% O_2$. Si le but de la mesure est de trouver la quantité d'oxygène dans le CO_2 , la mesure est fautive. Il existe alors deux façons de compenser cette erreur:

- CO_2 est utilisé comme gaz de zéro.
- N_2 est utilisé comme gaz de zéro, mais le zéro subit un décalage tel qu'il est égal à la valeur inverse du gaz résiduel (c'est-à-dire $+0,30 \% O_2$).

Exemple 2: si le gaz résiduel est un mélange, on utilise la somme proportionnelle des erreurs de zéro afin de calculer le décalage du zéro. En admettant que N_2 est utilisé comme gaz de zéro, et que le gaz résiduel est composé de 12 % de CO_2 , 5 % de CO, 5 % de n-Octane, 78 % de N_2 , le décalage du zéro sera:

12 % de CO_2	= 12 % de $-0,30$	= $-0,04$
5 % de CO	= 5 % de $+0,07$	= $+0,00$
5 % de n-Octane	= 5 % de $-2,78$	= $-0,14$
78 % de N_2	= 78 % de $0,00$	= $+0,00$
Total:		= $-0,18$

Dans ce cas, le décalage du zéro serait de $+0,18$.

Une autre solution consiste à utiliser, comme dans l'exemple 1, le gaz résiduel comme gaz de zéro.

NOTE 1 – Le dioxyde d'azote équilibre le tetroxyde d'azote. Les proportions relatives connaissent cependant une grande variation en fonction de la température. Etant donné que le dioxyde d'azote est paramagnétique et que le tetroxyde d'azote est diamagnétique, la susceptibilité molaire relative du gaz d'équilibre varie également.

NOTE 2 – Dans le tableau ci-dessous l'erreur de zéro est considérée de 100 % par volume de gaz interférent et la température est de $60^\circ C$. Les sensibilités relatives pour des températures différentes peuvent être obtenues auprès des fabricants d'instruments de mesure, également pour d'autres gaz non référencés ici.

Annex A (informative)

Interfering gases

Oxygen is a paramagnetic gas, i.e. attracted into a magnetic field. Virtually all other gases are diamagnetic, i.e. repelled from a magnetic field. Paramagnetic oxygen analyzers are usually calibrated on a scale which is normalized for nitrogen at 0 and oxygen at 100. For highly accurate measurements it may be necessary to introduce a zero offset into the calibration to compensate for the background gas. Table A.1 below gives the correction factors for many common gases. Some values given are calculated, others measured, and as such should be considered as indicative rather than absolute values.

Example 1: an analyzer calibrated with N₂ as the zero gas and O₂ as the span gas will, when 100 % CO₂ is passed through it, show a reading of –0,30 % O₂. If the purpose is to measure oxygen in CO₂ then this will give an error. There are two ways to compensate for this:

- a) CO₂ is used as the zero gas.
- b) N₂ is used as the zero gas, but the zero is set to an offset equal but opposite to the background gas (i.e. +0,30 % O₂).

Example 2: if the background gas is a mixture then the proportional sum of the zero errors is used to calculate the zero offset. Assuming N₂ is used as the zero gas, a background gas with a composition of 12 % CO₂, 5 % CO, 5 % n-Octane, 78 % N₂, the zero offset will be:

12 % CO ₂	= 12 % of –0,30	= –0,04
5 % CO	= 5 % of +0,07	= +0,00
5 % n-Octane	= 5 % of –2,78	= –0,14
78 % N ₂	= 78 % of 0,00	= +0,00
Total:		= –0,18

In this case zero offset would be set at +0,18.

Alternatively, as in example 1, the actual background gas could be used as the zero gas.

NOTE 1 – Nitrogen dioxide exists in equilibrium with dinitrogen tetroxide. The relative proportions vary greatly with temperature. As nitrogen dioxide is paramagnetic and dinitrogen tetroxide is diamagnetic, the relative molar susceptibility of the equilibrium gas also varies.

NOTE 2 – The table below is for a temperature of 60 °C, and the zero error assumes 100 % by volume of interference gas. Relative susceptibilities for other temperatures may be available from instrument manufacturers' and for other gases not listed.

Tableau A.1 – Facteurs de correction du zéro pour des gaz courants

Gaz	Formule	susceptibilité magnétique molaire $\times 10E^{-6}$	Erreur de zéro pour 60 °C
Acéaldéhyde	CH ₃ CHO	-22,70	-0,35
Acide acétique	CH ₃ CO ₂ H	-31,50	-0,64
Acétone	CH ₃ COCH ₃	-33,70	-0,71
Acétylène	HCCH	-20,80	-0,29
Nitrile acrylique	CH ₂ =CHCN	-24,10	-0,40
Gaz ammoniac	NH ₃	-18,00	-0,20
Argon	Ar	-19,60	-0,25
Benzène	C ₆ H ₆	-54,84	-1,41
Chlorure de bore	BCl ₃	-59,90	-1,57
Brome	Br ₂	-73,50	-2,02
n-Butane	C ₄ H ₁₀	-50,30	-1,26
Isobutane	(CH ₃) ₂ CHCH ₃	-51,70	-1,30
Butène-1	CH ₃ CH ₂ CH=CH ₂	-41,10	-0,96
Isobutylène	(CH ₃) ₂ CH=CH ₂	-44,40	-1,06
Ethylacétylène	CH ₃ C ₃ H ₂	-43,50	-1,03
Dioxyde de carbone	CO ₂	-21,00	-0,30
Sulfure de carbone	CS ₂	-42,30	-0,99
Monoxyde de carbone	CO	-9,80	0,07
Tétrachlorure de carbone	CCl ₄	-66,60	-1,79
Tétrafluorure de carbone	CF ₄	-31,20	-0,63
Chlore	Cl ₂	-40,50	-0,94
Chloroforme	CHCl ₃	-59,30	-1,55
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	-68,13	-1,84
Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	-59,18	-1,55
Cyclopropane	C ₃ H ₆	-39,90	-0,92
Cumène	(CH ₃) ₂ CHC ₆ H ₅	-89,53	-2,55
Diacétylène	C ₄ H ₂	-37,50	-0,84
Dichloréthylène	(CHCl) ₂	-49,20	-1,22
2,2, difluoro-1-chloroéthane	CClH ₂ -CHF ₂	-52,40	-1,33
1,2, difluoro-1,2, dichloréthylène	CFCI=CFCI	-60,00	-1,58
Difluoro-dichlorométhane (Fréon 12)	CCl ₂ F ₂	-52,20	-1,32
Diméthoxy méthane	CH ₂ (OCH ₃) ₂	-47,30	-1,16
Diméthylamine	(CH ₃) ₂ NH	-39,90	-0,92
Diméthyléther	CH ₃ OCH ₃	-26,30	-0,47
Diméthyléthylamine	(CH ₃) ₂ NC ₂ H ₅	-63,60	-1,69
Ethane	CH ₃ CH ₃	-26,80	-0,49
Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH	-33,60	-0,71
Ethylamine	C ₂ H ₅ NH ₂	-39,90	-0,92
Ethylbenzène	C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃	-77,20	-2,14
Bromure d'éthyle	CH ₃ CH ₂ Br	-54,70	-1,40
Chlorure d'éthyle	CH ₃ CH ₂ Cl	-46,00	-1,12
Ethylène	CH ₂ CH ₂	-18,80	-0,22
Ethylène glycol	CH ₂ OHCH ₂ OH	-38,80	-0,88
Oxyde d'éthylène	(CH ₂) ₂ O	-30,70	-0,61
Mercaptan éthylique	C ₂ H ₅ OSO ₃ H	-47,00	-1,15
Bromométhane de fluochlorure	CFCIBrH	-58,00	-1,51
Fluorodichloro-méthane (Fréon 21)	Cl ₂ CHF	-48,80	-1,21
Furane	C ₄ H ₄ O	-43,09	-1,02
Halothane	C ₂ HBrClF ₃	-78,80	-2,19
Hélium	He	-1,88	0,33
n-heptane	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	-85,24	-2,40
n-hexane	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₄	-73,60	-2,02
Hydrogène	H ₂	-3,98	0,26
Bromure d'hydrogène	HBr	-35,30	-0,76
Chlorure d'hydrogène	HCl	-22,60	-0,35
Iodure d'hydrogène	HI	-48,20	-1,19
Sélénure d'hydrogène	H ₂ Se	-39,20	-0,89

Table A.1 – Zero correction factors for common gases

Gas	Formula	Molar magnetic susceptibility $\times 10E^{-6}$	Zero error 60 °C
Acetaldehyde	CH ₃ CHO	-22,70	-0,35
Acetic acid	CH ₃ CO ₂ H	-31,50	-0,64
Acetone	CH ₃ COCH ₃	-33,70	-0,71
Acetylene	HCCH	-20,80	-0,29
Acrylonitrile	CH ₂ =CHCN	-24,10	-0,40
Ammonia	NH ₃	-18,00	-0,20
Argon	Ar	-19,60	-0,25
Benzene	C ₆ H ₆	-54,84	-1,41
Boron chloride	BCl ₃	-59,90	-1,57
Bromine	Br ₂	-73,50	-2,02
n-Butane	C ₄ H ₁₀	-50,30	-1,26
iso-Butane	(CH ₃) ₂ CHCH ₃	-51,70	-1,30
Butene-1	CH ₃ CH ₂ CH=CH ₂	-41,10	-0,96
iso-Butylene	(CH ₃) ₂ CH=CH ₂	-44,40	-1,06
Butyne-1 (ethylacetylene)	CH ₃ C ₃ H ₂	-43,50	-1,03
Carbon dioxide	CO ₂	-21,00	-0,30
Carbon disulphide	CS ₂	-42,20	-0,99
Carbon monoxide	CO	-9,80	0,07
Carbon tetrachloride	CCl ₄	-66,60	-1,79
Carbon tetrafluoride	CF ₄	-31,20	-0,63
Chlorine	Cl ₂	-40,50	-0,94
Chloroform	CHCl ₃	-59,30	-1,55
Cyclohexane	C ₆ H ₁₂	-68,13	-1,84
Cyclopentane	C ₅ H ₁₀	-59,18	-1,55
Cyclopropane	C ₃ H ₆	-39,90	-0,92
Cumene	(CH ₃) ₂ CHC ₆ H ₅	-89,53	-2,55
Diacetylene	C ₄ H ₂	-37,50	-0,84
Dichlorethylene	(CHCl) ₂	-49,20	-1,22
2,2, Difluoro-1-chloroethane	CClH ₂ -CHF ₂	-52,40	-1,33
1,2, Difluoro-1,2, dichlorethylene	CFCl=CFCl	-60,00	-1,58
Difluoro-dichloro-methane (Freon 12)	CCl ₂ F ₂	-52,20	-1,32
Dimethoxy methane	CH ₂ (OCH ₃) ₂	-47,30	-1,16
Dimethylamine	(CH ₃) ₂ NH	-39,90	-0,92
Dimethylether	CH ₃ OCH ₃	-26,30	-0,47
Dimethylethylamine	(CH ₃) ₂ NC ₂ H ₅	-63,60	-1,69
Ethane	CH ₃ CH ₃	-26,80	-0,49
Ethanol	CH ₃ CH ₂ OH	-33,60	-0,71
Ethylamine	C ₂ H ₅ NH ₂	-39,90	-0,92
Ethylbenzene	C ₆ H ₅ CH ₂ CH ₃	-77,20	-2,14
Ethylbromide	CH ₃ CH ₂ Br	-54,70	-1,40
Ethylchloride	CH ₃ CH ₂ Cl	-46,00	-1,12
Ethylene	CH ₂ CH ₂	-18,80	-0,22
Ethylene glycol	CH ₂ OHCH ₂ OH	-38,80	-0,88
Ethylene oxyde	(CH ₂) ₂ O	-30,70	-0,61
Ethylmercaptan	C ₂ H ₅ OSO ₃ H	-47,00	-1,15
Flurochlorobromo-methane	CFCIBrH	-58,00	-1,51
Fluorodichloro-methane (Freon 21)	Cl ₂ CHF	-48,80	-1,21

Tableau A.1 (fin)

Gaz	Formule	Susceptibilité magnétique molaire $\times 10E^{-6}$	Erreur de zéro pour 60 °C
Acide sulfhydrique	H ₂ S	-25,50	-0,44
Isoprène	C ₅ H ₈	-44,80	-1,08
Isopropanol	(CH ₃) ₂ CHOH	-47,60	-1,17
Cétène	CH ₂ CO	-15,70	-0,12
Krypton	Kr	-28,80	-0,55
Méthane	CH ₄	-17,40	-0,18
Acétate de méthyle	CH ₃ COCH ₃	-42,60	-1,00
Méthanol	CH ₃ OH	-21,40	-0,31
Méthylcyclopentane	C ₆ H ₁₂	-70,20	-1,91
Chlorure de méthylène	CH ₂ Cl ₂	-46,60	-1,14
Méthyléthylcétone	CH ₃ COCH ₂ CH ₃	-45,50	-1,10
Fluorure de méthyle	CH ₃ F	-25,50	-0,44
Formiate de méthyle	HCOOCH ₃	-32,00	-0,66
Iodure de méthyle	CH ₃ I	-57,20	-1,48
Méthylisobutylcétone (MIBC)	C ₄ H ₉ COCH ₃	-69,30	-1,88
Méthyl mercaptan	CH ₃ SH	-35,30	-0,76
Hexafluorure de molybdène	MoF ₆	-26,00	-0,46
Néon	Ne	-6,70	0,17
Oxyde nitrique	NO	1 461,00	42,94
Oxyde azoté	N ₂ O	-18,90	-0,23
Azote	N ₂	-12,00	0,00
Dioxyde d'azote	NO ₂	150,00	20,00
n-Nonane	C ₉ H ₂₀	-108,13	-3,16
n-Octane	C ₈ H ₁₈	-96,63	-2,78
Oxygène	O ₂	3 449,00	100,00
n-pentane	C ₅ H ₁₂	-63,10	-1,68
Phénol	C ₆ H ₅ OH	-60,21	-1,58
Phosphine	PH ₃	-26,00	-0,46
Propane	C ₃ H ₈	-38,60	-0,87
Propène	CH ₃ CH=CH ₂	-31,50	-0,64
Amine propylique	C ₃ H ₇ NH ₂	-52,40	-1,33
Chlorure propylique	C ₃ H ₇ Cl	-56,10	-1,45
Propylène	C ₃ H ₆	-31,50	-0,64
Oxyde de propylène	OCH ₂ CHCH ₃	-42,50	-1,00
Fluorure propylique	C ₃ H ₇ F	-52,20	-1,32
Silane	SiH ₄	-20,50	-0,28
Styrène	C ₆ H ₅ CH=CH ₂	-68,20	-1,85
Dioxyde de soufre	SO ₂	-18,20	-0,20
Fluorure de soufre	SF ₆	-44,00	-1,05
Tétrachloroéthylène	Cl ₂ C=CCl ₂	-81,60	-2,28
Tétrahydrofurane	C ₄ H ₈ O	-52,00	-1,31
Toluène	C ₆ H ₅ CH ₃	-66,11	-1,78
Trichloréthylène	CHCl=CCl ₂	-65,80	-1,77
Trifluorochloréthylène	C ₂ F ₃ Cl	-49,10	-1,22
1,1,2, trichloréthane (Fréon 113)	CHCl ₂ -CH ₂ Cl	-66,20	-1,78
Triméthylamine	(CH ₃) ₃ N	-51,70	-1,30
Fluorure de tungstène	WF ₆	-40,00	-0,92
Uréthane	CO(NH ₂)OC ₂ H ₅	-57,00	-1,48
Bromure de vinyle	CH ₂ =CHBr	-44,80	-1,08
Chlorure de vinyle	CH ₂ =CHCl	-35,60	-0,77
Fluorure de vinyle	CH ₂ =CHF	-28,80	-0,55
Eau	H ₂ O	-13,00	-0,03
Xénon	Xe	-43,90	-1,05
Xylène	(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄	-77,78	-2,16

NOTE – Les valeurs de susceptibilité magnétique molaire contenues dans ce tableau utilisent les unités CGS. Pour les convertir en unités SI, les multiplier par $4\pi \times 10^{-3}$.

Table A.1 (concluded)

Gas	Formula	Molar magnetic susceptibility $\times 10^{-6}$	Zero error 60 °C
Furan	C ₄ H ₄ O	-43,09	-1,02
Halothane	C ₂ HBrClF ₃	-78,80	-2,19
Helium	He	-1,88	0,33
n-Heptane	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₃	-85,24	-2,40
n-Hexane	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH ₄	-73,60	-2,02
Hydrogen	H ₂	-3,98	0,26
Hydrogen bromide	HBr	-35,30	-0,76
Hydrogen chloride	HCl	-22,60	-0,35
Hydrogen iodide	HI	-48,20	-1,19
Hydrogen selenide	H ₂ Se	-39,20	-0,89
Hydrogen sulphide	H ₂ S	-25,50	-0,44
Isoprene	C ₅ H ₈	-44,80	-1,08
Isopropanol	(CH ₃) ₂ CHOH	-47,60	-1,17
Ketene	CH ₂ CO	-15,70	-0,12
Krypton	Kr	-28,80	-0,55
Methane	CH ₄	-17,40	-0,18
Methyl acetate	CH ₃ COCH ₃	-42,60	-1,00
Methanol	CH ₃ OH	-21,40	-0,31
Methyl cyclopentane	C ₆ H ₁₂	-70,20	-1,91
Methylene chloride	CH ₂ Cl ₂	-46,60	-1,14
Methylethyl ketone	CH ₃ COCH ₂ CH ₃	-45,50	-1,10
Methyl fluoride	CH ₃ F	-25,50	-0,44
Methyl formate	HCOOCH ₃	-32,00	-0,66
Methyl iodide	CH ₃ I	-57,20	-1,48
Methyl iso-butyl ketone (MIBK)	C ₄ H ₈ COCH ₃	-69,30	-1,88
Methyl mercaptan	CH ₃ SH	-35,30	-0,76
Molybdenum hexafluoride	MoF ₆	-26,00	-0,46
Neon	Ne	-6,70	0,17
Nitric oxide	NO	1 461,00	42,94
Nitrous oxide	N ₂ O	-18,90	-0,23
Nitrogen	N ₂	-12,00	0,00
Nitrogen dioxide	NO ₂	150,00	20,00
n-Nonane	C ₉ H ₂₀	-108,13	-3,16
n-Octane	C ₈ H ₁₈	-96,63	-2,78
Oxygen	O ₂	3 449,00	100,00
n-Pentane	C ₅ H ₁₂	-63,10	-1,68
Phenol	C ₆ H ₅ OH	-60,21	-1,58
Phosphine	PH ₃	-26,00	-0,46
Propane	C ₃ H ₈	-38,60	-0,87
Propene	CH ₃ CH=CH ₂	-31,50	-0,64
Propylamine	C ₃ H ₇ NH ₂	-52,40	-1,33
Propyl chloride	C ₃ H ₇ Cl	-56,10	-1,45
Propylene	C ₃ H ₆	-31,50	-0,64
Propylene oxide	OCH ₂ CHCH ₃	-42,50	-1,00
Propyl fluoride	C ₃ H ₇ F	-52,20	-1,32
Silane	SiH ₄	-20,50	-0,28
Styrene	C ₆ H ₅ CH=CH ₂	-68,20	-1,85
Sulphur dioxide	SO ₂	-18,20	-0,20
Sulphur fluoride	SF ₆	-44,00	-1,05
Tetrachloroethylene	Cl ₂ C=CCl ₂	-81,60	-2,28
Tetrahydrofuran	C ₄ H ₈ O	-52,00	-1,31
Toluene	C ₆ H ₅ CH ₃	-66,11	-1,78
Trichloro-ethylene	CHCl=CCl ₂	-65,80	-1,77
Trifluoro-chloro-ethylene	C ₂ F ₃ Cl	-49,10	-1,22
1,1,2, Trichlo-ethane (Freon 113)	CHCl ₂ -CH ₂ Cl	-66,20	-1,78
Trimethylamine	(CH ₃) ₃ N	-51,70	-1,30
Tungstenfluoride	WF ₆	-40,00	-0,92
Urethane	CO(NH ₂)OC ₂ H ₅	-57,00	-1,48
Vinyl bromide	CH ₂ =CHBr	-44,80	-1,08
Vinyl chloride	CH ₂ =CHCl	-35,60	-0,77
Vinyl fluoride	CH ₂ =CHF	-28,80	-0,55
Water	H ₂ O	-13,00	-0,03
Xenon	Xe	-43,90	-1,05
Xylene	(CH ₃) ₂ C ₆ H ₄	-77,78	-2,16

NOTE – Molar magnetic susceptibility values in this table use the CGS units. For conversion to SI units, multiply by $4\pi \times 10^{-3}$.

Annexe B (informative)

Méthodes de préparation de la vapeur d'eau dans les gaz d'essai

Pour la vapeur d'eau:

$$\text{Pression partielle} = \text{Antilog}_{10} \frac{(t-6,9566)}{33,449+0,13907(t-6,9566)} \text{ kNm}^{-2} \quad (\text{B.1})$$

où

t est la température du point de rosée en degrés Celsius.

Pour le mélange de gaz secs et de vapeur d'eau dans les canalisations au-dessus de 100 °C, voir figure B.1b.

$$C_{\text{eau}} = \frac{0,455 MT}{(f+0,00455 MT)} \quad (\text{B.2})$$

$$C_x = \frac{C1_x}{100} (100 - C_{\text{eau}}) \quad (\text{B.3})$$

où

C_{eau} est la concentration de vapeur d'eau dans le mélange final de gaz, en pourcentage à 101,3 kNm⁻²;

$C1_x$ est la concentration en composant x dans le gaz sec avant le mélange avec l'eau, exprimée dans toute unité de mesure;

C_x est la concentration x dans le mélange final de gaz, exprimé dans les mêmes unités que $C1_x$;

M est le débit d'adjonction d'eau à l'état liquide, exprimé en grammes par unité de temps;

f est le débit du gaz sec au point de mélange, en décimètres cubes par unité de temps;

T est la température de mesure à laquelle se réfère f , exprimée en kelvins.

Exemple correspondant à la figure B.1a:

La solubilité des gaz acides est considérablement réduite si le pH de l'eau est ramené en dessous de 2 par l'adjonction d'acide sulfurique. Les effets sur la pression de vapeur comprise entre 0,01 et 0,1 d'acide sulfurique molaire est inférieure à 1 %.

Température de saturation = 15 °C

$$\text{Pression partielle de vapeur d'eau} = \text{Antilog}_{10} \frac{(15-6,9566)}{33,449+0,13907(15-6,9566)} \text{ kNm}^{-2} = 1,71 \text{ kNm}^{-2}$$

Pour les gaz traversant le barboteur à une pression de 101,3 kNm⁻²

$$\text{Concentration} = \frac{1,71}{101,3} \times 100 = 1,69 \%$$

$$\text{Taux de dilution} = 1 - 0,0169 = 0,983$$

Annex B (informative)

Methods of preparation of water vapour in test gases

For water vapour:

$$\text{Partial pressure} = \text{Antilog}_{10} \frac{(t - 6,9566)}{33,449 + 0,13907(t - 6,9566)} \text{ kNm}^{-2} \quad (\text{B.1})$$

where

t is the dew point temperature in degrees Celsius.

For mixing dry gases and water vapour in pipework above 100 °C, see figure B.1b.

$$C_{\text{water}} = \frac{0,455 MT}{(f + 0,00455 MT)} \quad (\text{B.2})$$

$$C_x = \frac{C1_x}{100} (100 - C_{\text{water}}) \quad (\text{B.3})$$

where

C_{water} is the concentration of water vapour in the final gas mixture, in percent at 101,3 kNm⁻²;

$C1_x$ is the concentration of component x in the dry gas prior to mixture with water, in any units;

C_x is the concentration x in the final gas mixture, in the same units as $C1_x$;

M is the rate of addition of liquid water, in grams per unit time;

f is the flow rate of dry gas to the mixing point, in cubic decimetres per unit time;

T is the measurement temperature to which f refers, in kelvins.

Example for figure B.1a:

The solubility of acidic gases is much reduced if the pH of the water is reduced below 2 by the addition of sulphuric acid. The effect on vapour pressure in the range 0,01 to 0,1 molar sulphuric acid is less than 1 %.

At saturation temperature = 15 °C

$$\text{Partial pressure of water vapour} = \text{Antilog}_{10} \frac{(15 - 6,9566)}{33,449 + 0,13907(15 - 6,9566)} \text{ kNm}^{-2} = 1,71 \text{ kNm}^{-2}$$

For gas passing through the bubbler at a pressure of 101,3 kNm⁻²

$$\text{Concentration} = \frac{1,71}{101,3} \times 100 = 1,69 \%$$

$$\text{Dilution ratio} = 1 - 0,0169 = 0,983$$