

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60695-11-30

Première édition
First edition
2001-08

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 11-30:
Flammes d'essai –
Historique et développement de 1979 à 1999**

Fire hazard testing –

**Part 11-30:
Test flames –
History and development from 1979 to 1999**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC/TR 60695-11-30:2001

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**RAPPORT
TECHNIQUE
TECHNICAL
REPORT**

**CEI
IEC**

TR 60695-11-30

Première édition
First edition
2001-08

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 11-30:
Flammes d'essai –
Historique et développement de 1979 à 1999**

Fire hazard testing –

**Part 11-30:
Test flames –
History and development from 1979 to 1999**

© IEC 2001 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 Varembe 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

V

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

SOMMAIRE

AVANT PROPOS	6
INTRODUCTION	10
1 Domaine d'application	12
2 Documents de référence.....	12
3 Flammes d'essai.....	14
3.1 Méthode d'utilisation	14
3.2 Taille et type des flammes d'essai à l'étude.....	14
3.3 Type de carburants gazeux à utiliser	18
3.4 Discussion – Optimisation de la forme du brûleur	18
3.5 Optimisation de la flamme d'essai de 1 kW	22
3.6 Optimisation de la flamme d'essai de 500 W	22
3.7 Optimisation de la flamme d'essai de 50 W	24
4 Vérification des flammes d'essai.....	26
4.1 Expériences initiales	26
4.2 Evaluation de la méthode de flux de chaleur	26
4.3 Evaluation de la méthode de vitesse d'augmentation de température	28
5 Facteurs d'influence dans les méthodes pour l'évaluation du comportement au feu des spécimens de petite taille.....	28
5.1 Position relative de la flamme d'essai et du spécimen	30
5.2 Détails concernant les chambres d'essai	30
Bibliographie.....	66
Figure 1 – Brûleur au gaz industriel standard.....	32
Figure 2 – Flamme prémélangée – Brûleur Meeker	34
Figure 3 – Brûleur dans un spectromètre d'absorption atomique propriétaire (exemple seulement).....	36
Figure 4 – Détails du brûleur de ASA 2122-1	38
Figure 5 – Brûleur au gaz propane – Extrait du Journal Officiel des Communautés Européennes	40
Figure 6 – Brûleur standard avec tube de mélange allongé	42
Figure 7 – Caractéristiques visuelles de la flamme avec des tubes de mélange de longueurs différentes utilisant le brûleur de la figure 6	44
Figure 8 – Brûleur de 1 kW – Montage général	46
Figure 9 – Brûleur de 1 kW – Disposition de l'alimentation	48
Figure 10 – Détails du brûleur de 500 W – Conception initiale	50

CONTENTS

FOREWORD.....	7
INTRODUCTION.....	11
1 Scope	13
2 Reference documents	13
3 Test flames	15
3.1 Method of use	15
3.2 Size and type of test flames under consideration.....	15
3.3 Type of fuel gases to be used.....	19
3.4 Discussion – optimizing the shape of the burner hardware	19
3.5 Optimization of the 1 kW test flame	23
3.6 Optimization of the 500 W test flame	23
3.7 Optimization of the 50 W test flame	25
4 Confirmation of the test flame	27
4.1 Initial experiments	27
4.2 Assessment of the heat flux method	27
4.3 Assessment of the rate of rise temperature method	29
5 Factors of influence in methods to assess the burning behaviour of small test specimens.....	29
5.1 Relative position of the test flame and the test specimen.....	31
5.2 Test chamber details	31
Bibliography.....	67
Figure 1 – Standard gas industry burner	33
Figure 2 – A pre-mixed flame – Meeker Burner	35
Figure 3 – The burner in a proprietary atomic absorption spectrometer (example only)	37
Figure 4 – Burner details from ASA 2122-1	39
Figure 5 – Propane burner from the Official Journal of the European Communities	41
Figure 6 – Standard burner with extended mixing tube.....	43
Figure 7 – Visual characteristics of the flame with different length mixing tubes using the burner of figure 6	45
Figure 8 – 1 kW burner – General assembly	47
Figure 9 – 1 kW burner – Supply arrangement	49
Figure 10 – 500 W burner details – Original design	51

Figure 11 – Détails du brûleur de 500 W – Première amélioration	52
Figure 12 – Détails du brûleur de 500 W – Deuxième approche	54
Figure 13 – Montage expérimental utilisant un appareil de mesure de flux de chaleur.....	56
Figure 14 – Disposition de l'essai de vérification	58
Figure 15 – Calibre d'écartement	60
Figure 16 – Brûleur de 50 W – Positions de la flamme d'essai	62
Figure 17 – Temps de conformité.....	64
Tableau 1 – Hauteurs des flammes d'essai utilisées ou à l'étude à l'ISO/ à la CEI	16
Tableau 2 – Types de gaz, spécifiés dans les normes CEI, environ 1979.....	16

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60695-11-30:2001

Figure 11 – 500 W burner details – First improvement	53
Figure 12 – 500 W burner details – Second approach	55
Figure 13 – Experimental arrangement using a heat flux meter	57
Figure 14 – Confirmatory test arrangement	59
Figure 15 – Clearance gauge	61
Figure 16 – 50 W burner – Test flame positions	63
Figure 17 – Conformity times	65
Table 1 – Test flame heights in use or under consideration in IEC/ISO	17
Table 2 – Types of gas, specified in IEC standards, circa 1979	17

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60695-11-30:2001

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 11-30: Flammes d'essai – Historique et développement de 1979 à 1999

AVANT PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique 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, spécifications techniques, 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 du présent rapport technique 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 tâche principale des comités d'études de la CEI est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il 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.

La CEI 60695-11-30, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 89 de la CEI: Essais relatifs aux risques du feu.

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

Projet d'enquête	Rapport de vote
89/438/CDV	89/474/RVC

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 11-30: Test flames –
History and development from 1979 to 1999**

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 specifications, 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 technical report may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC 60695-11-30, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

Enquiry draft	Report on voting
89/438/CDV	89/474/RVC

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2010. A cette date, la publication sera

- reconduite;
- supprimée;
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

Ce document, purement informatif, ne doit pas être considéré comme une Norme internationale.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60695-11-30:2001

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2010. At this date, the publication will be

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

This document which is purely informative is not to be regarded as an International Standard.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC TR 60695-11-30:2001

INTRODUCTION

L'origine de la plupart des feux est une source de faible importance, en général une source de chaleur imprévue qui apparaît à proximité d'un matériau combustible, par exemple dans un matériel électrotechnique, un fil en surchauffe ou un composant qui connaît une défaillance à proximité d'un élément de support, de telle manière que la décomposition du matériau intervient en produisant des vapeurs inflammables.

Si la source de chaleur est trop faible par rapport à la masse localisée de matériau, les dommages peuvent n'être que ponctuels sans transformation en feu. La quantité d'énergie nécessaire pour qu'un matériau se consume dépend de nombreux facteurs y compris la forme de la pièce réalisée dans ce matériau, sa couleur, sa diffusivité thermique et sa masse, son émissivité, etc. en plus de sa composition chimique.

Des matériaux combustibles différents ont besoin de quantités de chaleur différentes avant que l'allumage puisse se produire. Pour une combustion continue, il est nécessaire que la vitesse à laquelle le matériau qui se consume perd de la chaleur soit inférieure à la somme de la vitesse à laquelle il reçoit de la chaleur des sources extérieures et de la vitesse à laquelle le processus de combustion génère de la chaleur.

L'examen du comportement des matériaux, des composants, des sous-ensembles et des produits lorsqu'ils sont soumis à une source thermique, qui est vital pour l'établissement de mesures de sécurité, est extrêmement difficile dans un environnement complexe. Etant donné que de nombreuses caractéristiques du processus de combustion ne sont pas encore complètement comprises, seules quelques-unes d'entre elles peuvent être analysées et seulement dans des situations qui sont bien définies et dans lesquelles le nombre de facteurs impliqués est maintenu à un minimum.

Les essais de contrôle de la qualité pour le comportement au feu des matériaux simulent, en général, une étape spécifique d'un feu, l'application d'une source de chaleur définie sur une éprouvette avec une forme et des dimensions spécifiées.

Il y a environ vingt-cinq ans, le Comité Consultatif de la Sécurité de la CEI (ACOS) a reconnu

- a) qu'il semblait y avoir une croissance exponentielle du nombre et des types de flammes d'essai utilisées dans les méthodes d'essai pour l'examen du comportement au feu,
- b) que beaucoup de ces flammes étaient très proches, et
- c) que beaucoup d'entre elles étaient spécifiées de manière imprécise.

Il avait été demandé au sous-comité 50D: Risques du feu, comité en charge de ces questions avant le CE 89, d'examiner quelles étaient les flammes d'essai utilisées, dans le but d'en ramener le nombre à un minimum tout en améliorant en même temps leur spécification.

INTRODUCTION

Most fires start from a small source, usually in the context of an unforeseen source of heat occurring near to a combustible material, e.g. in electrotechnical equipment, an overheated wire or a failed component near to a support part, such that decomposition of the material occurs, producing flammable vapours which may be ignited.

If the heat source is too small in relation to the localized mass of material, only localized damage may occur without progression to a fire. The amount of energy a material needs for it to combust is dependent upon many factors including the shape of the piece of material, its colour, thermal diffusivity and mass, emissivity, etc. besides its chemical constitution.

Different combustible materials need different amounts of heat to be applied before ignition can occur. Continued combustion requires that the rate of loss of heat by the burning material needs to be less than the sum of the rate of heat it receives from extraneous sources and the rate of heat generated by the combustion process.

The examination of the behaviour of materials, components, sub-assemblies and products when stressed by a thermal source, which is vital in the setting up safety measures, is exceedingly difficult in a complex environment. Since many features of the combustion process are not yet clearly understood, only some of them can be analyzed, and only in situations that are well defined and in which the number of factors involved is kept to a minimum.

Quality control tests for the burning behaviour of materials usually simulate one specific stage of a fire: the application of a defined heat source to a test piece of specified shape and dimensions.

Some twenty-five years ago, the IEC Advisory Committee on Safety (ACOS) recognized that

- a) there appeared to be an explosive growth in the number and type of test flames that were being used in test methods for the examination of burning behaviour,
- b) many of those flames were very similar, and
- c) many of them were poorly specified.

Subcommittee 50D: Fire hazards, the forerunner of TC 89, was asked to examine the test flames that were in use with a view to reducing the number to a minimum whilst at the same time improving their specification.

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 11-30: Flammes d'essai – Historique et développement de 1979 à 1999

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique révisé les travaux menés par le SC 50D de la CEI, puis par le CE 89, pour le développement de flammes d'essai de meilleure qualité, plus petites et permettant une plus grande reproductibilité. Il examine des éléments qui, une fois rassemblés, constituent un essai de laboratoire à petite échelle pour l'étude du comportement au feu et montre comment ces paramètres ont été spécifiés plus en détails pour essayer d'obtenir des résultats plus précis et présentant une meilleure reproductibilité.

2 Documents de référence

CEI 60332-1:1993, *Essais des câbles électriques soumis au feu – Partie 1: Essais sur un conducteur ou câble isolé vertical*

CEI 60695-2-2:1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2: Méthodes d'essai – Section 2: Essai au brûleur-aiguille*

CEI 60695-2-4/0:1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2: Méthodes d'essai – Section 4/Feuille 0: Méthodes d'essai à la flamme de type à diffusion et de type à prémélange*

CEI 60695-2-4/1:1991, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 2: Méthodes d'essai – Section 4/Feuille 1: Flamme d'essai à prémélange de 1 kW nominal et guide*

CEI 60695-11-3:2000, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-3: Flammes d'essai – Flammes de 500 W – Appareillage et méthodes d'essai de vérification*

CEI 60695-11-4:2000, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-4: Flammes d'essai – Flammes de 50 W – Appareillages et méthodes d'essai de vérification*

CEI 60695-11-10:1999, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontale et verticale à la flamme de 50 W*

CEI 60695-11-20:1999, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-20: Flammes d'essai – Méthodes d'essai à la flamme de 500 W*

CEI 60695-11-40:—, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-40: Flammes d'essai – Essais de confirmation – Document guide*¹

¹ A publier.

FIRE HAZARD TESTING –

Part 11-30: Test flames – History and development from 1979 to 1999

1 Scope

This technical report reviews the work of IEC SC 50D, and latterly IEC TC 89, in the development of higher quality, more reproducible small test flames. It examines the series of elements that together make up a small laboratory scale test for the examination of burning behaviour and shows how these parameters have been more closely specified in an attempt to obtain more precise and reproducible results.

2 Reference documents

IEC 60332-1:1993, *Tests on electric cables under fire conditions – Part 1: Test on a single vertical insulated wires or cable*

IEC 60695-2-2:1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 2: Needle-flame test*

IEC 60695-2-4/0:1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 4/Sheet 0: Diffusion type and premixed type flame test methods*

IEC 60695-2-4/1:1991, *Fire hazard testing – Part 2: Test methods – Section 4/Sheet 1: 1 kW nominal pre-mixed test flame and guidance*

IEC 60695-11-3:2000, *Fire hazard testing – Part 11-3: Test flames – 500 W flames – Apparatus and confirmational test methods*

IEC 60695-11-4:2000, *Fire hazard testing – Part 11-4: Test flames – 50 W flames – Apparatus and confirmational test methods*

IEC 60695-11-10:1999, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 60695-11-20:1999, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*

IEC 60695-11-40:—, *Fire hazard testing – Part 11-40: Test flames – Confirmatory tests – Guidance document*¹

¹ To be published.

3 Flammes d'essai

3.1 Méthode d'utilisation

Dans la majorité des procédures d'essai, par exemple la CEI 60695-11-10 et la CEI 60695-11-20, une flamme d'essai est appliquée à une partie spécifique d'une éprouvette pendant une certaine durée (le temps d'application) puis elle est retirée. Le comportement est observé pendant et après le processus. Il est possible que la flamme d'essai n'ait pas d'influence ou qu'une flamme se développe et s'éteigne après un certain temps ou bien il peut apparaître une flamme qui grandit avec le temps. Dans certaines méthodes, si la combustion initiale de l'éprouvette s'arrête, il est alors autorisé d'appliquer la flamme d'essai une nouvelle fois pour un certain nombre d'applications.

Dans les essais caractéristiques de combustion des matériaux plastiques, l'éprouvette, qui fait normalement 125 mm de long $\pm 0,05$ mm $\times$ 13 mm de large $\pm 0,05$ mm $\times$ 0,8 mm à 6 mm d'épaisseur $\pm 0,05$ mm, est montée horizontalement ou verticalement, la flamme d'essai étant appliquée à une extrémité. Si le spécimen se consume, il peut être nécessaire de permettre à la flamme d'essai de suivre l'extrémité qui se rétracte sous l'effet de la combustion du spécimen.

Dans les essais sur les produits, il est admis que la flamme d'essai soit appliquée à toute partie qui est susceptible d'être soumise à une flamme en cas de défaut. Le point d'application est fréquemment à l'intérieur de l'appareil, par exemple à l'intérieur d'un appareil domestique.

C'est pour ces raisons que le matériel utilisé pour produire la flamme d'essai doit être de taille suffisamment faible, avoir une masse minimale et être facilement manœuvrable.

3.2 Taille et type des flammes d'essai à l'étude

Les résultats d'une enquête menée par le SC 50D en 1979 [1]² sont donnés aux tableaux 1 et 2 et on peut voir que trois flammes symétriques d'un point de vue circulaire ont été choisies pour la normalisation, d'une hauteur de 20 mm, 125 mm et 175 mm respectivement et que les gaz combustibles étaient dans de nombreux cas peu spécifiés.

² Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie.

3 Test flames

3.1 Method of use

In the majority of test procedures, e.g. IEC 60695-11-10 and IEC 60695-11-20, a test flame is applied to a specific part of a test piece for a certain length of time (the application time) and then withdrawn. The behaviour during and after this process is observed. There may be no influence of the test flame, or a flame may develop which extinguishes after a certain time, or a flame may result which increases in size with time. In some methods, if the initial burning of the test piece extinguishes, then the test flame may be re-applied for a number of applications.

In combustion characteristic tests on plastic materials, the test piece, typically dimensioned $125 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ long, $13 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ wide and $0,8 \text{ mm}$ to $6 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ thick, is mounted horizontally or vertically with the test flame applied to one end. If the test specimen burns away, there may be a need to allow the test flame to follow the retracting burning end of the test specimen.

In tests on products, the test flame may be applied to any part that is likely to be stressed with a flame in the event of a fault. The application point is frequently inside a device, e.g. inside a domestic appliance.

For these reasons, the hardware that is used to produce the test flame has to be sufficiently small, of minimum mass and easily manoeuvrable.

3.2 Size and type of test flames under consideration

The results of a survey made by SC 50D in 1979 [1]² are shown in tables 1 and 2 where it can be seen that three circularly symmetrical flames were selected for standardization, namely 20 mm, 125 mm and 175 mm in height and that the fuel gases were, in many cases, very sparsely specified.

² Figures in square brackets refer to the bibliography.

Tableau 1 – Hauteurs des flammes d'essai utilisées ou à l'étude à l'ISO/ à la CEI

Hauteur totale de la flamme mm	Hauteur du cône intérieur mm	Nombre total de références normatives
19	–	2
19 ± 1	–	1
20 ± 2	–	1
25	–	5
25 ± 1	–	1
25 ± 2	–	1
30 (flamme à ailettes)	6	1
75	25	1
100	–	1
100	50	2
125	35	1
125	40	3
127	38	2
175*	55	2
* Hauteur de flamme préférentielle, SC 50D(Secrétariat)21, 1981.		

Tableau 2 – Types de gaz, spécifiés dans les normes CEI, environ 1979

1	Carburant hydrocarbure gazeux, par exemple 93 % propane
2	Gaz naturel
3	Gaz naturel (37 MJ/m ³)
4	Gaz ordinaires
5	Propane
6	Gaz du domaine public
7	Méthane industriel
8	Gaz de ville
9	Non spécifié

Il avait été suggéré d'examiner les méthodes d'essai utilisant une flamme de 25 mm pour voir si une flamme de 20 mm de haut serait adaptée, en éliminant ainsi la nécessité d'avoir des flammes de 25 mm.

Les flammes sont composées de mélanges comprenant un oxydant (normalement l'oxygène) et un réducteur (le carburant) qui donnent une réaction chimique exothermique.

Dans la majorité des feux, le carburant se vaporise et se consume en utilisant l'oxygène de l'air environnant. L'efficacité de la combustion dépend beaucoup de la disponibilité en oxygène et du degré de mélange avec le carburant vaporisé.

Les flammes à diffusion décrites dans la CEI 60695-2-4/0 sont produites en laboratoire d'une manière similaire, c'est-à-dire qu'un flux de gaz sortant d'un tuyau se consume avec l'air environnant (oxygène). Elles sont donc faciles à produire et constituent également une excellente simulation des flammes de la majorité des feux réels, mais leurs dimensions et la distribution de température dépendent beaucoup de la vitesse de sortie du tuyau du gaz et de la vitesse de l'air local.

Table 1 – Test flame heights in use or under consideration in IEC/ISO

Overall flame height mm	Inner cone height mm	Total number of standard references
19	–	2
19 ± 1	–	1
20 ± 2	–	1
25	–	5
25 ± 1	–	1
25 ± 2	–	1
30 (wing flame)	6	1
75	25	1
100	–	1
100	50	2
125	35	1
125	40	3
127	38	2
175*	55	2
* Preferred flame height, SC 50D(Secretariat)21, 1981		

Table 2 – Types of gas, specified in IEC standards, circa 1979

1	Gaseous hydrocarbon fuel, e.g. 93 % propane
2	Natural gas
3	Natural gas (37 MJ/m ³)
4	Ordinary gases
5	Propane
6	Public utility gas
7	Technical grade methane
8	Town gas
9	Unspecified

It was suggested that those methods that used the 25 mm high flame should be examined to see whether the 20 mm high flame would be suitable, thereby removing the need for a 25 mm flame.

Flames consist of mixtures of an oxidizer (typically oxygen) and a reducer (the fuel) chemically reacting exothermically.

In the majority of fires, the fuel vaporizes and combusts using oxygen from the surrounding air. The efficiency of combustion depends very strongly on the availability of oxygen and the degree of mixing with the fuel vapour.

Diffusion flames as described in IEC 60695-2-4/0 are produced in the laboratory in a similar manner, i.e. a flow of fuel gas out of a pipe combusts with the surrounding air (oxygen). They are, therefore, easy to produce and are also an excellent simulation of the flames in the majority of real fires, but their dimensions and temperature distribution are very dependent on the exit velocity of the gas from the pipe and the local air velocity.

On utilise des flammes à diffusion produites en utilisant des vitesses de sortie de gaz relativement élevées dans des environnements sans courants d'air, c'est-à-dire le brûleur aiguille (CEI 60695-2-2). Toutefois, dans des situations de faible vitesse du gaz, elles sont trop instables et donnent des résultats d'essai avec de fortes variations.

Dans la majorité des cas, les flammes d'essai sont «prémélangées», c'est-à-dire qu'elles sont produites en mélangeant une part de l'air de combustion avec la base oxydante avant le point de combustion à l'extrémité du tube du brûleur. L'air restant est pris dans l'atmosphère qui entoure la flamme d'essai comme dans le cas des flammes à diffusion.

La qualité d'une flamme prémélangée dépend beaucoup du degré de mélange de l'oxydant et du carburant et de leur vitesse de sortie du tube du brûleur par rapport à la vitesse maximale de la flamme.

3.3 Type de carburants gazeux à utiliser

Différents pays ont développé différents types de produits de carburants gazeux, par exemple le gaz de houille qui est produit par la distillation destructive de la houille et qui se compose essentiellement d'un mélange d'hydrogène et de méthane, et le gaz naturel qui est une ressource naturelle et qui se compose essentiellement de méthane et d'autres types paraffiniques, etc. Plus récemment, des versions liquéfiées de types de gaz nominalelement simples, avec toute une gamme de puretés, ont été mises sur le marché (gaz en bouteilles, «GPL»).

Il convient qu'une Norme internationale se fonde sur des éléments facilement disponibles dans le monde entier et qui satisfont aux exigences de la tâche; il a ainsi été décidé de recommander l'utilisation de types de gaz nominalelement simples en bouteille.

Etant donné que les différents types de gaz possèdent différentes caractéristiques de combustion, il avait été envisagé de normaliser l'utilisation universelle du propane comme carburant pour les flammes d'essai, mais les divergences en matière de pratiques d'assurance incendie dans le monde ont rendu cela impossible.

Finalement, le sous-comité SC 50D a recommandé que les carburants gazeux des flammes d'essai soient limités au méthane et au propane, avec des puretés minimales de 99 % et 98 % respectivement, au moins en cas de litige, s'il ne s'agit pas d'essais individuels de série. Les niveaux de pureté ont été pris des normes concernant l'évaluation des performances des appareils à gaz commerciaux et domestiques [2].

Le recours à l'utilisation de gaz provenant de sources liquéfiées en bouteilles a soulevé le problème de la température du gaz. Il pourrait être nécessaire de contrôler la température du gaz mesurée par un débitmètre et fourni au brûleur.

3.4 Discussion – Optimisation de la forme du brûleur

Le débat porte sur

- a) la méthode de fourniture du carburant et de l'oxydant au brûleur,
- b) la précision avec laquelle le carburant et l'oxydant peuvent être fournis,
- c) la qualité de leur mélange,
- d) le rapport de la vitesse de sortie sur la vitesse maximale de la flamme, et
- e) l'encombrement maximal admissible du matériel.

Traditionnellement, les petites flammes prémélangées de type Bunsen ou Tirrill étaient produites en laboratoire en faisant passer un carburant gazeux à travers un jet dans un dispositif venturi où le débit volume de l'oxydant (air) était contrôlé par un clapet réducteur réglable autour de l'admission venturi.

Diffusion flames, produced using relatively high gas exit velocities in essentially draught-free surroundings, are used, i.e. the needle flame (IEC 60695-2-2). Under low gas velocity situations, however, they are too unstable and give widely varying test results.

In the majority of cases, test flames are "pre-mixed", i.e. they are produced by mixing a proportion of the combustion air with the oxidizing base prior to the point of combustion at the end of the burner tube. The remaining air is taken from the atmosphere surrounding the test flame in a similar manner to that produced by diffusion flames.

The quality of a pre-mixed flame is very dependent on the degree of mixing of the oxidant and fuel and their exit velocity from the burner tube in relation to the maximum flame velocity.

3.3 Type of fuel gases to be used

Different countries have developed different types of commodity fuel gases, e.g. coal gas which is produced by the destructive distillation of coal and consists of a mixture of mainly hydrogen and methane, natural gas which is a natural resource and consists of mainly methane and other paraffinic types, etc. More recently, liquefied versions of nominally single gas types, covering a range of purities, have become available (bottled gases, "LPG").

An International Standard should be based on items that are easily available around the world and which meet the requirements of the task and it was decided to recommend the use of nominally single types of bottled gases.

Because the different types of gases have different burning characteristics, it was hoped to universally standardize the use of propane as the fuel for test flames, but the differing fire insurance practices around the world prevented this.

Subcommittee SC 50D finally recommended that test flame fuel gases should be limited to methane and propane, with minimum purities of 99 % and 98 %, respectively, at least in the event of a dispute, if not for routine testing. The purity levels were taken from standards covering the assessment of the performance of commercial and domestic gas appliances [2].

Recourse to the use of gas from bottled liquefied sources raises the problem of gas temperature. There could be a need to control the temperature of the gas being metered through a flowmeter and supplied to the burner.

3.4 Discussion – optimizing the shape of the burner hardware

The debate revolves around

- a) the method by which fuel and oxidant are fed to the burner,
- b) the precision with which the fuel and oxidant can be supplied,
- c) the quality of their mixing,
- d) the ratio of exit velocity to maximum flame velocity, and
- e) the maximum allowable bulk of the hardware.

Traditionally, small pre-mixed flames of the Bunsen or Tirrill type were produced in the laboratory by passing a fuel gas through a jet in a venturi arrangement where the volume flow rate of oxidant (air) was controlled by a variable restrictor around the venturi inlet.

Ces brûleurs avaient l'avantage d'être petits et manœuvrables: ils étaient alimentés par un seul tuyau, mais la précision de la flamme d'essai était faible car elle dépendait beaucoup de l'acuité et des capacités de l'opérateur qui réglait la hauteur totale de la flamme, la hauteur du cône bleu et la couleur de manière visuelle. Cet inconvénient est pris en compte pour la mesure du gaz et de l'oxydant dans toute nouvelle conception.

Quoiqu'il en soit, une énorme quantité de données existait sur le comportement au feu des matériaux et des produits à la suite de l'utilisation de ce type de source : le but était de rendre les méthodes plus précises sans enlever de valeur à l'expérience dans la mesure du possible.

Plusieurs domaines de l'industrie exigent des flammes d'essai très stables et reproductibles et les recherches dans les ouvrages sur ce sujet ont révélé ce qui suit:

- 1) dans l'industrie professionnelle du gaz, un brûleur normalisé était utilisé pour évaluer la «qualité du gaz». Le brûleur [3] tel qu'il est représenté à la figure 1, possède un très long tube de mélange et, comme aide supplémentaire pour la stabilité/reproductibilité de la flamme, le tube de mélange est entouré d'une gaine à température contrôlée et il est en partie isolé thermiquement de la flamme par un collier en céramique;
- 2) l'appareil utilisé pour la production de flammes à température normalisée [4] [5] utilise une chambre de mélange avec dispositif anti-retour de flamme comme représenté à la figure 2. Ce dispositif multi-tubes agit aussi selon le principe de Meeker, en fournissant une flamme avec une grande surface/un grand volume de température très uniforme. Cela est reproductible à ± 2 K sur des mois dans des conditions prescrites de débits de gaz et d'oxydant;
- 3) la flamme dans un spectromètre d'absorption atomique propriétaire est produite en utilisant le principe de Meeker à partir d'un mélange de gaz et d'oxydant qui a été mélangé [6] mécaniquement comme représenté à la figure 3;
- 4) l'Association Australienne de Normalisation a publié une norme en 1978 [7], dans laquelle un brûleur à prémélange propriétaire a été modifié pour incorporer des orifices de précision pour le carburant gazeux et les flux d'oxydants comme représenté à la figure 4. Le brûleur pouvait fonctionner à des pressions d'alimentation prescrites;
- 5) la commission des Communautés Européennes a publié une directive [8] dans laquelle une flamme au propane était utilisée. La directive incluait un ensemble complet de dessins d'ingénierie de matériel et le brûleur (voir figure 5) était alimenté en propane à un débit prescrit. Le flux d'air oxydant était déterminé par la géométrie fixe. Ensuite le document indiquait que si d'autres gaz devaient être utilisés pour chauffer, il faudrait choisir des brûleurs, une consommation de gaz et un flux d'air en entrée de manière à ce que, pour des mesures comparatives avec des substances inertes, des courbes de température/de temps similaires à celles obtenues avec du propane dans les tubes remplis soient enregistrées. Dans ce cas, le brûleur était utilisé comme source de chaleur et pas comme source potentielle d'allumage, ce qui est considéré comme une application moins exigeante.

A ce moment-là, le groupe a conclu qu'il était recommandé qu'une spécification pour une flamme d'essai comprenne

- i) le type de gaz et sa pureté,
- ii) les débits et les températures du gaz et de l'oxydant,
- iii) les dessins d'ingénierie complets du brûleur, et
- iv) l'indication que le brûleur doit être démontable pour les besoins du nettoyage.

La forme et la conception dépendraient de l'équilibre entre la stabilité adéquate de la flamme et le besoin de manœuvrabilité, qui dépendrait de la taille et du mode d'utilisation réels de la flamme.

These burners had the advantages of being small and manoeuvrable: they were supplied by only one pipe, but the precision of the test flame was low because it was very dependent upon the acuity and the capability of the operator who adjusted the overall flame height, the blue cone height and the colour by visual means. There is a strong case for metering the gas and oxidant in any new design.

Even so, an enormous quantity of data on the burning behaviour of materials and products existed following the use of that type of source – the target had to be to make the methods more precise without making the experience valueless wherever possible.

Several areas of industry require highly stable and reproducible test flames, and literature searches revealed the following:

- 1) in the professional gas industry, a standard burner was used to assess "gas quality". The burner [3], as shown in figure 1, has a very long mixing tube and, as a further aid to flame stability/reproducibility, the mixing tube is surrounded by a temperature controlled jacket and is partially thermally insulated from the flame by a ceramic collar;
- 2) apparatus used for the production of standardized temperature flames [4] [5] utilizes a mixing chamber with a flame trap as shown in figure 2. The multi-tubed trap also acts on the Meeker principle, providing a flame with a large area/volume of very uniform temperature. This is reproducible to ± 2 K over periods of months under conditions of prescribed gas and oxidant flow rates;
- 3) the flame in a proprietary atomic absorption spectrometer is produced using the Meeker principle from a gas and oxidant mixture that has been mechanically stirred [6] as shown in figure 3;
- 4) the Australian Standards Association published a standard in 1978 [7], in which a proprietary pre-mixed burner was modified to incorporate precision orifices for the fuel gas and oxidant flows as shown in figure 4. The burner was operated at prescribed supply pressures;
- 5) the Commission of the European Communities published a directive [8] in which a propane flame was used. The directive included a full set of engineering drawings of the hardware, and the burner (see figure 5) was supplied with propane at a prescribed flow rate. The flow of oxidant air was determined by the fixed geometry. The document further stated that if other heating gases were to be used, appropriate burners, gas consumption and in-flow of air would have to be chosen so that, for comparative measurements with inert substances, similar temperature/time curves as for the heating with propane in the filled tubes would be registered. In that case, the burner was being used as a source of heat and not as a potential ignition source, which is regarded as a less demanding application.

At this time, the group concluded that a specification for a test flame should preferably include

- i) gas type and purity,
- ii) gas and oxidant flow rates and temperatures,
- iii) complete engineering drawings of the burner, and
- iv) some indication that the burner be demountable for cleaning purposes.

The shape and design would depend upon the balance between adequate flame stability and the need for manoeuvrability, which in turn would depend upon the actual flame size and mode of use.

3.5 Optimisation de la flamme d'essai de 1 kW

Il avait été décidé de se concentrer sur le développement de la flamme de 1 kW (hauteur totale nominale 175 mm) destinée à être utilisée dans l'industrie des câbles, car à l'époque il n'existait pas de moyens fiables pour produire cette flamme: le gaz choisi était le propane utilisé avec (si possible) un tube de brûleur simple, comme décrit dans la CEI 60695-2-4/1.

Utiliser le jet de gaz comme force d'entraînement dans un venturi présente l'inconvénient d'envoyer un flux de gaz à grande vitesse au-dessus du centre du tube du brûleur. La stabilité de flamme optimale dépend de la vitesse du mélange gaz/oxydant provenant du tube du brûleur: si elle est trop faible, la flamme bouge facilement dans un courant d'air, si elle est trop élevée, la flamme tend à sautiller et à la limite brûle au-dessus du tube du brûleur. Il a été observé que la modification de la longueur d'un tube de brûleur de type venturi, utilisant du propane, de 60 mm à 458 mm comme représenté aux figures 6 et 7, était destinée à faire passer la hauteur de la flamme de 70 mm à 160 mm et d'agir sur la stabilité de la flamme en passant d'une flamme bruyante au-dessus du tube du brûleur à une flamme silencieuse avec un cône bleu bien défini et une enveloppe extérieure. Ces résultats justifient la nécessité d'une spécification pour inclure les dessins d'ingénierie tels que le diamètre interne du tube, la longueur du tube, le diamètre du jet de gaz, la conception venturi, etc. qui influencent tous la qualité de la flamme.

Bien qu'une flamme stable ait été obtenue, cela avait nécessité un tube de mélange d'environ 450 mm de longueur – des tentatives pour réduire la taille globale du brûleur en enroulant le tube produisaient des flammes asymétriques.

Il a été décidé, à contrecœur, que le recours à un stabilisateur de flamme était nécessaire. La préférence a été donnée à une conception démontable pour surmonter le difficile problème du nettoyage des débris d'essai de l'espace étroit et des trous.

Il convient d'indiquer que plusieurs constructeurs de brûleurs ont été contactés pour la fourniture d'un dispositif approprié mais qu'ils ont refusé de donner leur autorisation à la publication de leurs schémas. C'est pour cette raison que le SC 50D a décidé de développer son propre brûleur.

Un dessin de l'assemblage général du brûleur final de 1 kW comme représenté à la figure 8 montre

- a) le jet de gaz, entouré par un collecteur double à travers lequel on fournit de l'air mesuré. Le montage double montre l'air qui entre dans le tube du brûleur à travers trois trous, retenant ainsi un élément de symétrie circulaire;
- b) le jet de gaz démontable, le stabilisateur de flamme et le tube du brûleur.

Le diamètre de l'orifice du jet de gaz a été choisi en relation avec la forme et la stabilité nécessaires de la flamme.

Le dispositif d'alimentation du brûleur est représenté à la figure 9.

3.6 Optimisation de la flamme d'essai de 500 W

Alors qu'il n'y avait pas de méthode appropriée pour produire une flamme de 1 kW, ce qui a laissé toute liberté de conception au SC 50D, la situation avec la flamme de 500 W était complètement inverse. Elle avait été utilisée depuis des décennies et il y avait une grande expérience commerciale, mais la taille, la forme, la couleur de la flamme d'essai et son mode précis d'utilisation dépendaient de l'acuité, des capacités et de l'interprétation de l'opérateur.

3.5 Optimization of the 1 kW test flame

It was decided to concentrate on the development of the 1 kW flame (nominal overall height 175 mm) intended for use in the cable industry because there was at that time no reliable means of producing the flame. The chosen gas was propane used with (hopefully) a plain burner tube as described in IEC 60695-2-4/1.

Utilizing the gas jet as the driving force in a venturi has the disadvantage of sending a stream of high velocity gas up the centre of the burner tube. Optimum flame stability is dependent upon the velocity of the merging gas/oxidant mixture from the burner tube: too low and the flame moves easily in a draught, too high and the flame tends to jump, and at the limit burns above the burner tube. The observed effect of changing the length of a venturi style burner tube using propane from 60 mm to 458 mm as shown in figures 6 and 7 was to change the flame height from 70 mm to 160 mm, and the flame stability from fiercely roaring above the burner tube to a silent flame with a well defined blue cone and outer envelope. These results justify the need for any specification to include engineering drawings as tube inner diameter, tube length, gas jet diameter, venturi design, etc.; all influence the flame quality.

Although a stable flame had been achieved, this had required a mixing tube of approximately 450 mm in length – attempts to reduce the overall size of the burner by coiling the tube produced asymmetrical flames.

It was reluctantly decided that recourse to a flame stabilizer was necessary. The preference was for a demountable design to overcome the difficult problem of cleaning out test debris from the narrow annular gap and holes.

It should be stated that several burner manufacturers were approached with a view to their supplying a suitable unit but they refused to allow drawings to be published. It was for this reason that SC 50D decided to develop its own burner.

A general assembly drawing of the final 1 kW burner as shown in figure 8 shows

- a) the gas jet, surrounded by a double manifold through which metered air is supplied. The double arrangement shows the air entering the burner tube through three holes, thereby retaining an element of circular symmetry;
- b) the demountable gas jet, flame stabilizer and burner tube.

The diameter of the orifice in the gas jet was chosen in relation to the required flame shape and stability.

The supply arrangement for the burner is shown in figure 9.

3.6 Optimization of the 500 W test flame

Whereas there was no adequate method of producing the 1 kW flame, allowing SC 50D freedom of design, the situation with the 500 W flame was completely the reverse. It had been in use for decades and there was a wealth of commercial experience. However, the size, shape, colour of the test flame, and its precise mode of use, were dependent upon the acuity, capability and interpretation of the operator.

La CEI 60695-11-3 et la CEI 60695-11-4 ont fait prendre conscience de la situation aux organismes nationaux de normalisation et aux autorités réglementaires, et un niveau jusqu'alors inconnu de coopération a été obtenu. Le fabricant du brûleur le plus utilisé pour 500 W a autorisé la publication de ses schémas assurant ainsi virtuellement que tout nouveau développement serait fondé sur sa conception.

Le groupe de travail a essentiellement appliqué sa philosophie à l'amélioration du brûleur, avec principalement deux solutions techniques, la différence résidant dans l'équilibre entre la stabilité de la flamme et la facilité de manipulation.

Les croquis de la conception originale et les deux améliorations proposées sont représentés aux figures 10, 11 et 12 où l'on peut voir que dans le modèle original la taille effective du jet de gaz (orifice) était réglée au moyen d'une soupape à pointeau. Cela a présenté l'avantage qu'une large gamme de flammes d'essai a pu être produite à partir d'une pièce mais les inconvénients de la conception étaient nombreux:

- a) fréquemment, on retrouvait le pointeau endommagé car il avait été vissé trop fort sur le siège de soupape rendant la flamme non circulaire à cause d'un couple excessif pendant le processus d'assemblage ou en raison d'une mauvaise utilisation de la soupape pour régler le flux de gaz;
- b) la présence rare de matériau d'emballage dans la zone de l'orifice; et
- c) les volumes de gaz et d'air utilisés étaient réglés par l'opérateur qui devait juger de manière visuelle la taille et la couleur de la flamme.

La figure 11 montre la première proposition d'amélioration: les trous d'entrée d'air d'origine ont été fermés et l'air est fourni par l'accès d'entrée de gaz d'origine. La soupape à pointeau et le siège ont été retirés et un orifice de gaz fixe et un tube d'entrée de gaz ont été montés à leur place. La conception du brûleur a donc été fixée sans réglages de l'opérateur et il était utilisé avec des fournitures de gaz et d'air mesurées.

Des enregistrements vidéo ont montré une flamme plutôt instable attribuée à l'asymétrie de l'entrée d'air, mais le tube d'alimentation supplémentaire mis à part, le brûleur n'était pas plus encombrant que le modèle précédent.

La figure 12 présente la seconde approche où un collecteur d'air a été construit autour des trous d'entrée d'air d'origine. La flamme qui en résulte est très stable mais l'inconvénient est l'augmentation marginale de la taille du brûleur.

Les dispositifs d'alimentation de ces brûleurs sont similaires à ceux utilisés pour la flamme de 1 kW.

3.7 Optimisation de la flamme d'essai de 50 W

Le développement d'une flamme d'essai optimale de 50 W est dérivé de celui d'une flamme d'essai optimale de 500 W. Malgré des paramètres différents pour la flamme de 50 W comme partie du développement initial, la vitesse du gaz n'était pas aussi critique que pour la flamme de 500 W. Au début, la taille de la flamme et la couleur ont été les seuls facteurs problématiques dans l'établissement de la flamme d'essai. La préoccupation a donc été de déterminer des paramètres uniformes permettant d'établir la cohérence. Une étude a été conduite sur les types de gaz et les quantités de gaz (débit) ayant donné un gaz méthane industriel à un débit de 965 ml/min pour la flamme d'essai de 500 W et de 105 ml/min pour celle de 50 W.

Pour la flamme de 50 W, la position de la soupape à pointeau du matériel de la méthode A n'est pas aussi critique que celle pour la flamme d'essai de 500 W car l'air et le gaz sont en quantité très inférieure dans la flamme d'essai de 50 W. Le paramètre essentiel dans la production de la flamme d'essai de 50 W est le contrôle du flux de gaz. L'utilisation de débitmètres est cruciale pour la régulation du débit de flux gazeux.

IEC 60695-11-3 and IEC 60695-11-4 had the effect of making national standards organizations and regulatory authorities more aware of the situation and a hitherto unknown level of cooperation was received. The manufacturer of the most widely used burner for 500 W agreed to allow publication of the drawings, thereby virtually ensuring that any new developments would be based on his design.

Essentially, the working group applied its chosen philosophy to the improvement of the burner, with principally two engineering solutions, the difference being in the balance between flame stability and ease of handling.

Sketches of the original design and the two proposed improvements are shown in figures 10, 11 and 12 where it can be seen that in the original model the effective size of the gas jet (orifice) was adjusted by means of a needle valve. This had the advantage that a wide range of test flames could be produced from one piece of hardware, but the disadvantages of the design were numerous:

- a) frequently, the needle was found to be damaged by it having been screwed down too hard onto the valve seat, making the flame non-circular because of excessive torque during the assembly process or misuse of the valve to adjust the gas flow;
- b) the rare presence of packing material was found in the area of the orifice; and
- c) the volumes of gas and air used were set by the operator who had to visually judge the flame size and colour.

Figure 11 shows the first proposed improvement: the original air entry holes were closed and air was supplied via the original gas entry port. The needle valve and seat were removed and a fixed gas orifice and gas entry tube mounted in its place. The burner design was, therefore, fixed with no operator adjustments and it was used with metered supplies of gas and air.

Video recordings showed a rather unstable flame which was presumed to be the result of the asymmetric manner of air entry, but apart from the additional supply tube, the burner was no more bulky than the previous model.

Figure 12 shows the second approach where an air manifold was constructed around the original air entry holes. The resulting flame is very stable but the penalty is a marginal increase in the size of the burner.

The supply arrangements for these burners are similar to those used with the 1 kW flame.

3.7 Optimization of the 50 W test flame

Development of an optimum 50 W test flame was secondary to an optimum 500 W test flame. Although the 50 W flame was not subjected to the same parameters as part of the initial development, the velocity of the gas was not as critical as that of the 500 W flame. Initially the flame size and colour were the only disconcerting factors in the establishment of the test flame. This led to the concern of determining uniform parameters to establish consistency. A study of gas types and amounts of gas (flow rate) was conducted with a resultant technical grade methane gas at a flow rate of 965 ml/min for the 500 W test flame and a flow rate of 105 ml/min for the 50 W test flame.

For the 50 W flame, the position of the needle valve of the method A equipment is not as critical as that of the 500 W test flame because the air and gas is much less in the 50 W test flame. The crucial parameter in producing the 50 W test flame is controlling the gas flow. The use of flow meters is critical in regulating the gas flow rate.

Il convient de se référer à la CEI 60695-11-4 pour les méthodes d'essai et les appareils nécessaires. Comme noté dans la CEI 60695-11-4, trois méthodes d'essai ont été développées pour la flamme de 50 W. La méthode A spécifie l'utilisation d'un tube unique d'alimentation de gaz, une soupape à pointeau pour régler la pression de retour de gaz, un débitmètre pour régler le débit de gaz et des accès d'air réglables sur le tube du brûleur. Elles ont été développées comme des améliorations techniques à la technologie précédente. Les méthodes B et C utilisent deux tubes d'alimentation, un pour le gaz et l'autre pour l'air, et du matériel non réglable. Il a également été développé pour améliorer la reproductibilité et réduire l'implication de l'opérateur.

4 Vérification des flammes d'essai

4.1 Expériences initiales

Lorsqu'on évalue le comportement au feu des matériaux, il y a toujours le risque que des débris tombent sur le tube du brûleur ou affectent le matériel d'une autre manière. A l'initiative de la Commission Européenne, il a été décidé de développer une méthode de vérification de la flamme d'essai.

Deux approches initiales ont été essayées:

- a) mesure de la vitesse d'augmentation de la température d'une cible, et
- b) mesure du flux de chaleur provenant d'une cible dans la flamme.

Il a été reconnu que les méthodes de flux de chaleur étaient utilisées pour étalonner les sources de chaleur radiante utilisées dans les essais au feu [9].

Dans les expériences d'origine, des panneaux de 150 mm × 150 mm × 0,5 mm d'épaisseur en acier inoxydable et en cuivre poli, montés à 45° par rapport à l'horizontal, quelques 65 mm au-dessus d'une flamme de 175 mm comme représenté à la figure 13, ont été utilisés séparément comme cibles pour l'appareil de mesure du flux de chaleur et aussi comme masse thermique pour l'expérience de vitesse d'augmentation de la température. Un thermocouple était fixé à cet effet au centre du dos de la plaque.

Une déformation importante de la plaque en acier inoxydable a été observée en raison des contraintes thermiques, et le matériau a été rejeté.

La plaque en cuivre s'est très rapidement oxydée sur sa surface supérieure stabilisant ainsi l'émissivité, mais la surface inférieure a présenté des effets différents des parties réductrices et oxydantes de la flamme.

Les résultats des expériences de flux de chaleur semblaient encourageants et il a été décidé d'explorer la géométrie optimale du système.

Les courbes de la vitesse d'augmentation de la température étaient largement dispersées. Cela a été attribué aux pertes de chaleur importantes et incontrôlables du système. Il a été décidé d'examiner la température/ le comportement dans le temps d'une petite masse suspendue dans la partie supérieure de la flamme comme représenté à la figure 14.

4.2 Evaluation de la méthode de flux de chaleur

La méthode de flux de chaleur a été étudiée dans trois laboratoires. On a réalisé un total de 24 évaluations individuelles du flux rayonné par la cible en plaque de cuivre couvrant deux séparations de dispositif de mesure de flux/cible.

Reference should be made to IEC 60695-11-4 for test methods and the apparatus required. As noted in IEC 60695-11-4, three test methods were developed for the 50 W flame. Method A specifies the use of a single gas supply tube, a needle valve to adjust the gas back pressure, a flow meter to adjust the gas flow rate and adjustable air ports on the burner tube. They have been developed as technical enhancements to previous technology. Methods B and C use two supply tubes, one for gas and the other for air, and non-adjustable hardware. This has also been developed to improve the reproducibility and reduce operator involvement.

4 Confirmation of the test flame

4.1 Initial experiments

Assessing the burning behaviour of materials always carries the risk of debris falling into the burner tube or otherwise affecting the equipment. Following the lead of the European Commission, it was decided to develop a method of confirming the test flame.

Two initial approaches were tried:

- a) measuring the rate of rise of temperature of a target, and
- b) measuring the heat flux from a target in the flame.

It was recognized that heat flux methods were used to calibrate radiant heat sources used in fire testing [9].

In the initial experiments, 150 mm × 150 mm × 0,5 mm thick sheets of polished stainless steel and copper, mounted at 45° to the horizontal, some 65 mm above a 175 mm flame as shown in figure 13, were used separately as the targets for the heat flux meter, and also as the thermal mass for the temperature rate of rise experiment. A thermocouple was centrally attached to the back of the plate for this purpose.

Severe buckling of the stainless steel plate was experienced due to the thermal stresses, and the material was rejected.

The copper plate became oxidized on its upper surface very quickly, thus stabilizing the emissivity, but the lower surface showed differing effects of the reducing and oxidizing parts of the flame.

The results of the heat flux experiments looked encouraging and it was agreed to explore the optimum geometry for the system.

The temperature rate of rise curves were widely scattered. This was attributed to the large and uncontrollable heat losses from the system. It was decided to examine the temperature/time behaviour of a small mass suspended in the upper part of the flame as shown in figure 14.

4.2 Assessment of the heat flux method

The heat flux method was investigated in three laboratories. A total of 24 individual assessments of the flux radiated from the copper plate target were made covering two flux meter/target separations.

Les résultats ont été très décevants – les niveaux de flux mesurés à une distance de 30 mm étaient compris entre 0,46 W/cm² et 0,80 W/cm² et entre 0,65 W/cm² et 0,94 W/cm² à une distance de 15 mm. Deux laboratoires ont utilisé le même modèle de dispositif de mesure de flux et le rapport du flux mesuré à 30 mm et à 15 mm pour leurs deux laboratoires étaient en accord à quelques pourcents près, mais les niveaux absolus dans les deux conditions variaient de 40 %. Le comportement du troisième dispositif de mesure de flux par rapport à la séparation de la plaque était substantiellement différent. Tous les modèles avaient un très mauvais rapport signal/bruit.

Ces résultats différents ont été attribués

- a) aux différents angles d'acceptation pour les dispositifs de mesure,
- b) aux variations importantes de l'émissivité de la surface de cuivre de point en point, et
- c) aux effets variés des courants de convection.

4.3 Evaluation de la méthode de vitesse d'augmentation de température

La vitesse d'augmentation de la température d'un petit cylindre en cuivre suspendu dans la partie supérieure de la flamme a été étudiée par cinq laboratoires représentant au total 116 évaluations individuelles du temps nécessaire pour que la température passe de 100 °C à 700 °C en utilisant deux montages d'expérience différents. La plage des valeurs pour l'un des systèmes était suffisamment proche pour recommander l'utilisation de ce groupe.

Cependant, il faut tenir compte du fait que dans ce type d'expérience, tandis que la masse du cylindre solide en cuivre est placée dans une position fixe par rapport au brûleur, toute modification dans les débits de gaz/d'oxydant ou dans la taille du jet de gaz/le diamètre du tube/la longueur du tube modifieront les dimensions de la flamme ce qui aura pour effet de modifier la partie de la flamme que le cylindre reçoit, influençant ainsi la durée nécessaire à l'échauffement du bloc.

La figure 17 montre les limites de temps pour porter la température d'un bloc de 300 °C à 700 °C en utilisant une plage de débits de gaz et d'oxydant pour un montage mécanique fixe. On peut noter qu'en raison de l'interaction entre les débits de gaz/d'oxydant et la taille de la flamme, des temps de vérification ne représentent pas une condition spécifique mais doivent être pris en compte avec d'autres exigences.

La CEI 60695-11-40 est à l'état de projet pour offrir un guide aux comités de produits sur les facteurs affectant la conception optimale des méthodes d'essai de vérification de la vitesse d'augmentation de la température de la flamme. Une des tâches encore en suspens consiste à développer une méthode pour vérifier que le petit cylindre en cuivre et sa suspension thermocouple utilisés dans les essais de vérification, ont été correctement réalisés et n'ont pas été endommagés par l'utilisation.

5 Facteurs d'influence dans les méthodes pour l'évaluation du comportement au feu des spécimens de petite taille

Les normes sur la flamme d'essai exigent que la flamme remplisse les critères d'essai de vérification et demandent à l'opérateur de vérifier que la flamme paraisse symétrique et normale et qu'elle ait approximativement la hauteur correcte.

Ces exigences s'expliquent par le fait que le matériel peut très facilement subir des dégradations dues aux débris provenant des essais, et l'essai de vérification est reconnu comme constituant une partie majeure – mais seulement une partie – des exigences.

The results were very disappointing – measured flux levels at a distance of 30 mm ranged between 0,46 W/cm² and 0,80 W/cm² and between 0,65 W/cm² and 0,94 W/cm² at a distance of 15 mm. Two laboratories used the same model of flux meter and the ratio of measured flux at 30 mm and 15 mm for their two laboratories agreed, to within a few per cent, but the absolute levels under both conditions varied by 40 %. The behaviour of the third flux meter with respect to plate separation was substantially different. All of the models had a very poor signal-to-noise ratio.

The varied results were attributed to

- a) different acceptance angles for the meters,
- b) significant variations in the emissivity of the copper surface from point to point, and
- c) varied effects of convection currents.

4.3 Assessment of the rate of rise temperature method

The rate of rise of temperature of a small copper cylinder suspended in the upper part of the flame was investigated by five laboratories making a total of 116 individual assessments of the time taken for the temperature to increase from 100 °C to 700 °C using two differing experimental arrangements. The range of values for one of the systems was sufficiently close for the group to be able to recommend its use.

However, it must be realised that in this type of experiment, whilst the mass of the solid copper cylinder is fixed in position with respect to the burner, any changes in gas/oxidant flow rates or in the gas jet size/tube diameter/tube length dimensions will change the dimensions of the flame which will have the effect of changing the part of the flame that the cylinder senses, thereby influencing the time for the block to heat up.

Figure 17 shows contours of time to heat a block from 300 °C to 700 °C using a range of gas and oxidant flow rates for a fixed mechanical arrangement. It can be seen that because of the interaction between gas/oxidant flow rates and flame size, confirmatory times do not represent a specific condition but need to be taken into account with other requirements.

IEC 60695-11-40 is being drafted to give guidance to product committees on factors affecting the optimum design of rate of rise of temperature flame confirmatory test methods. One outstanding task is to develop a method of confirming that the small copper cylinder and its thermocouple suspension, used in the confirmatory tests, has been correctly made and has not been damaged by use.

5 Factors of influence in methods to assess the burning behaviour of small test specimens

Test flame standards require the flame to meet confirmatory test criteria and also ask the operator to check that the flame appears symmetrical and normal and is approximately the correct height.

The object behind these requirements is that it is very easy for the equipment to become degraded by debris from the tests and the confirmatory test is recognized as a major part but only one part of the requirements.

5.1 Position relative de la flamme d'essai et du spécimen

Une flamme à prémélange n'est pas une zone homogène de gaz excités. Elle possède une structure complexe dans laquelle les températures varient de la température ambiante dans la région centrale bleue du cône à environ 1 000 °C dans la partie supérieure. L'importance de la position relative de la flamme et du spécimen dépendra beaucoup de leurs tailles respectives. Si la flamme est bien plus grande et enveloppe le spécimen, alors la position précise est probablement moins importante que dans le cas où le spécimen est plus grand ou d'une taille similaire à la flamme d'essai.

Le CE 89 de la CEI a recommandé l'utilisation de dispositifs sur le haut du brûleur pour guider l'opérateur lorsqu'on lui demande de positionner la flamme [9] (voir la figure 15), par exemple à 10 mm de l'extrémité du spécimen ou pour vérifier la hauteur approximative de la flamme.

Une indication de l'effet de la position d'une flamme de 50 W (approximativement 20 mm de haut) sur le résultat d'essai est présentée à la figure 16 où la position B avec un espace de 13 mm constitue un essai plus sévère qu'un espacement de 10 mm ou de 5 mm. Etant donné que le coin d'un spécimen est plus facile à allumer que le bord inférieur, on peut se demander quel aurait été le résultat si la flamme avait été appliquée sur le coin avec un espace de 13 mm – en théorie, cela aurait constitué l'essai le plus sévère.

5.2 Détails concernant les chambres d'essai

Dans cet essai, le critère de réussite exige de l'opérateur qu'il détermine le temps dont un spécimen a besoin pour s'enflammer lui-même après retrait de la flamme d'essai. L'aptitude de l'opérateur à voir une flamme dépend de la taille et de la couleur de la flamme par rapport à la couleur de ce qui entoure la flamme, c'est-à-dire les parois de la chambre d'essai et le niveau de la lumière ambiante. Si des rayons solaires passent à travers la fenêtre du laboratoire et atteignent la zone d'essai, les durées apparentes après la flamme seront très inférieures à celles qui auraient été observées pour des essais dans l'obscurité.

Le niveau maximal de lumière ambiante recommandé est de 20 lx dans la zone d'essai, et on recommande des surfaces de couleur noire autour du site d'essai.

Il semble qu'il existe des prescriptions conflictuelles en matière de plage admise de vitesses de l'air à proximité des essais. D'une part, il y a la nécessité de s'assurer que la concentration locale en oxygène ne tombe pas de manière suffisante pour influencer le résultat d'essai, mais d'autre part, lorsqu'on utilise de petites flammes, il est recommandé que la vitesse de l'air ne soit pas trop élevée pour éviter d'influencer le résultat en faisant dévier la flamme. Lorsqu'on utilise des chambres d'essai de 0,5 m³ à 1 m³, il peut être nécessaire d'utiliser différentes procédures opérationnelles en fonction de la taille de la flamme d'essai.

Un clapet de fermeture positif peut être nécessaire pour assurer que l'environnement ne présente pas de courants d'air.

5.1 Relative position of the test flame and the test specimen

A pre-mixed flame is not a homogenous zone of excited gases. It has a complex structure in which the gas temperature ranges from near ambient in the central blue cone region to approximately 1 000 °C in the upper part. The importance of the relative position of the flame and test specimen will be very dependent on their relative sizes. If the flame is much larger, such that it envelopes the test specimen, then accurate positioning is probably less important than when the test specimen is larger or of a similar size to the test flame.

IEC/TC 89 has recommended the use of devices on the top of the burner to guide the operator when he is asked to position the flame [9] (see figure 15), for instance 10 mm from the test specimen end, or to check the approximate height of the flame.

An indication of the effect of position of a 50 W (approximately 20 mm high) flame on the test result is shown in figure 16 where position B with a 13 mm spacing is a more severe test than either a 10 mm spacing or a 5 mm spacing. As the corner of a test specimen is easier to ignite than the bottom edge, one wonders what the result would have been if the flame had been applied to the corner at 13 mm spacing – theoretically, it should have been the most severe test.

5.2 Test chamber details

In that test the pass criteria requires the operator to determine the time that the test specimen itself flames after the test flame has been withdrawn. The ability of the operator to see a flame depends on the size and colour of the flame in relation to the colour of the surroundings to the flame, i.e. the test chamber walls and the ambient light level. If sunlight streams through the laboratory window into the test area, the apparent after-flame times will be much lower than for tests made in the dark.

The recommended maximum ambient light levels is 20 lx in the test area and dark coloured surfaces around the test cabinet.

There appears to be conflicting requirements concerning the allowable range of air velocities in the vicinity of a test. On the one hand there is a need to ensure that the local oxygen concentration does not fall sufficiently to influence the test result, but, on the other hand, when using small flames, the air velocity should not be so high that it influences the result by deflecting the flame. Where 0,5 m³ to 1 m³ test chambers are used there may be a need to use different operational procedures, dependent upon the size of the test flame.

A positive closing damper may be necessary to ensure that a draught-free environment is accomplished.

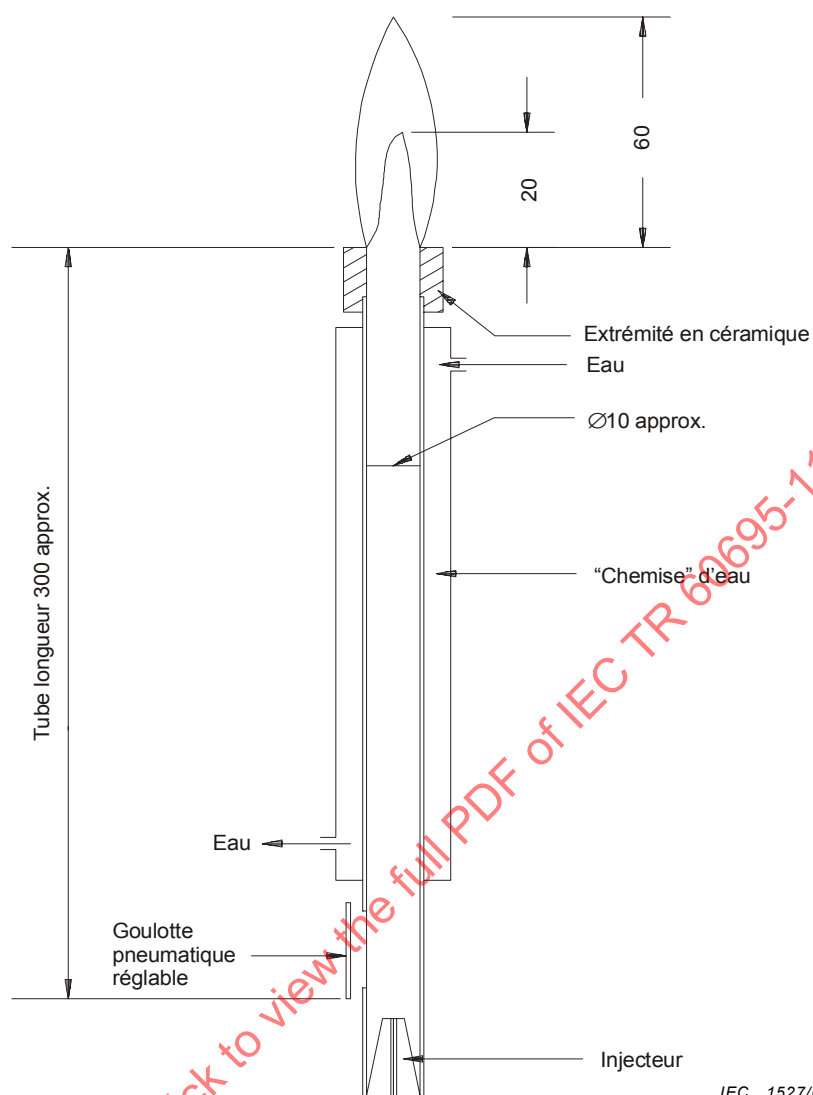
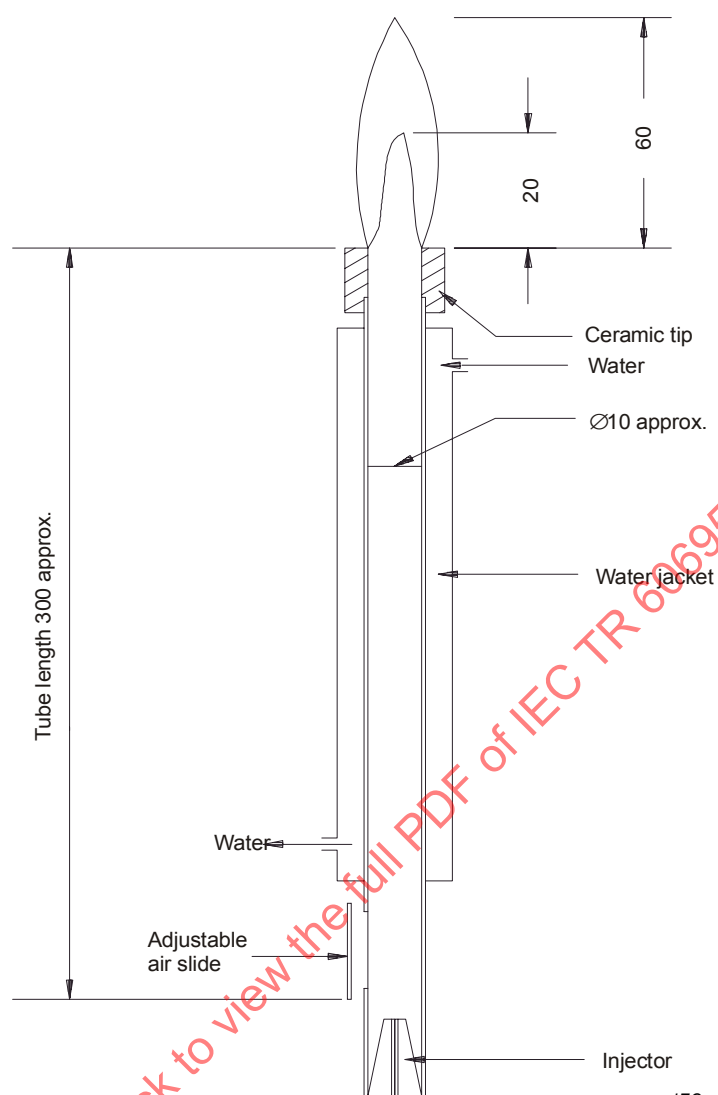


Figure 1 – Brûleur au gaz industriel standard



IEC 1527/01

*Dimensions in millimetres***Figure 1 – Standard gas industry burner**

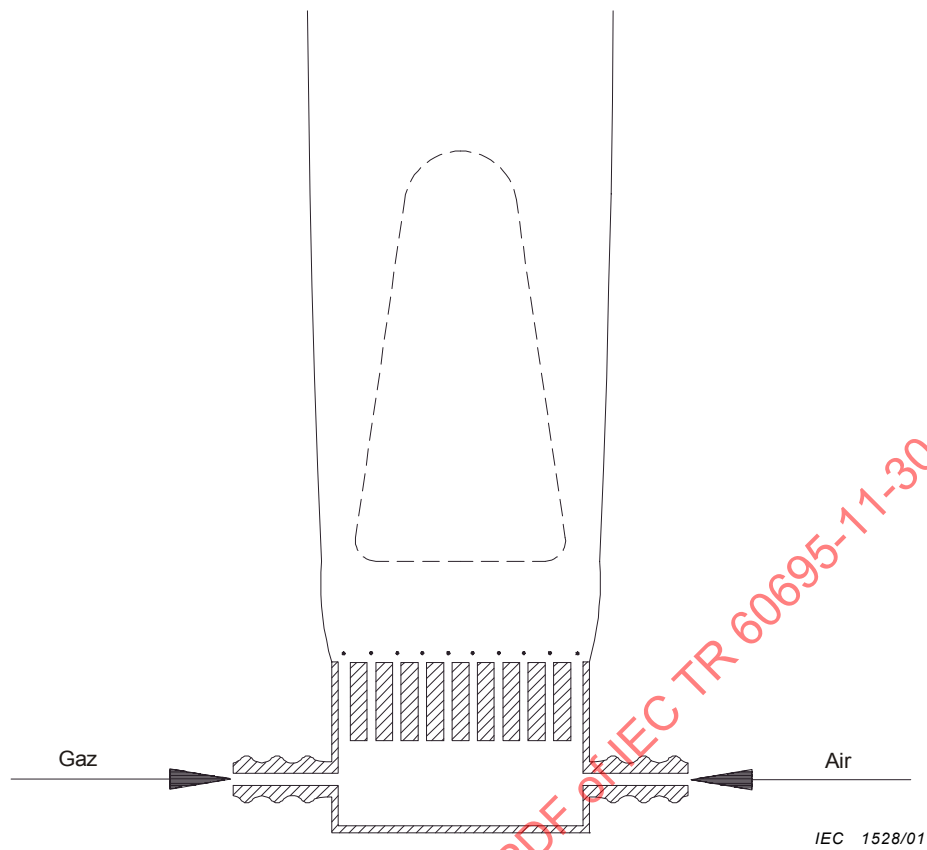


Figure 2 – Flamme prémélangée – Brûleur Meeker

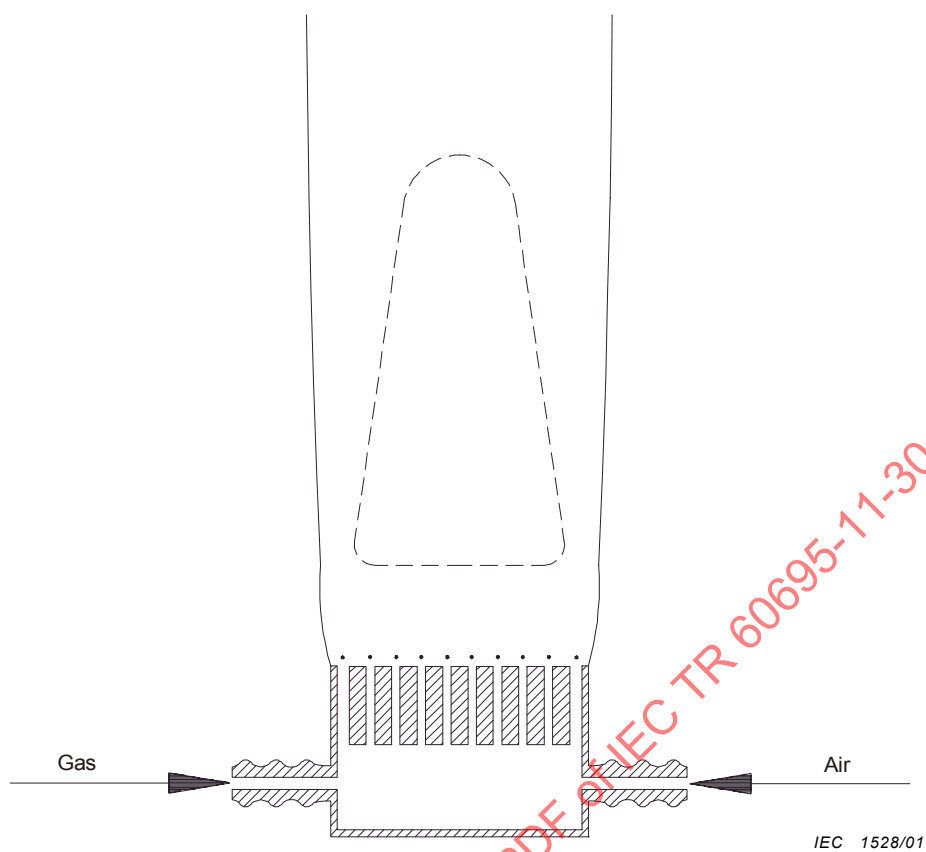
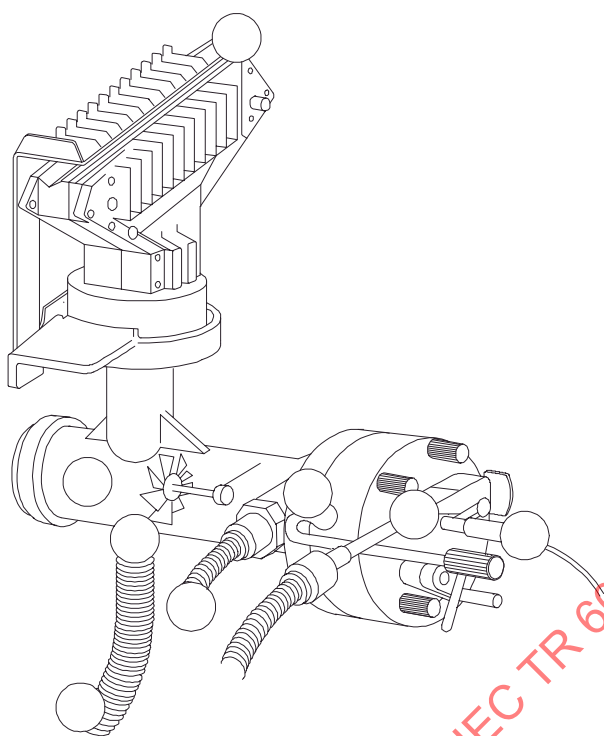
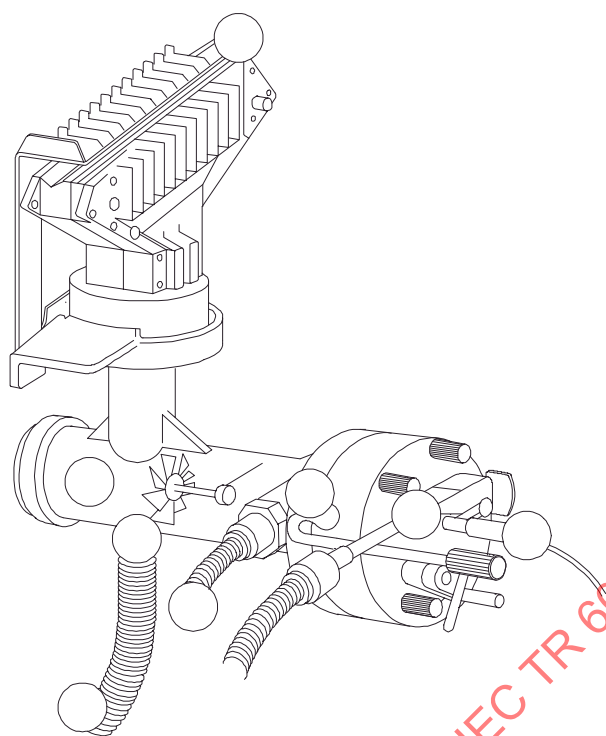


Figure 2 – A pre-mixed flame – Meeker Burner



IEC 1529/01

**Figure 3 – Brûleur dans un spectromètre d'absorption atomique propriétaire
(exemple seulement)**



IEC 1529/01

Figure 3 – The burner in a proprietary atomic absorption spectrometer (example only)

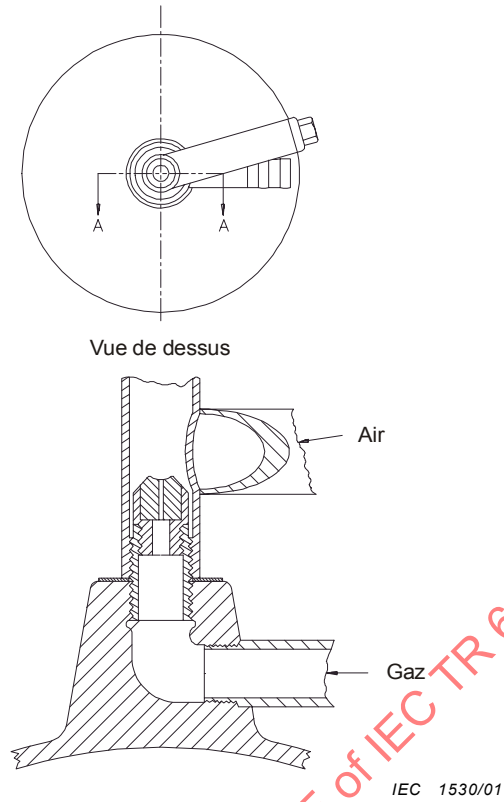


Figure 4 – Détails du brûleur de ASA 2122-1

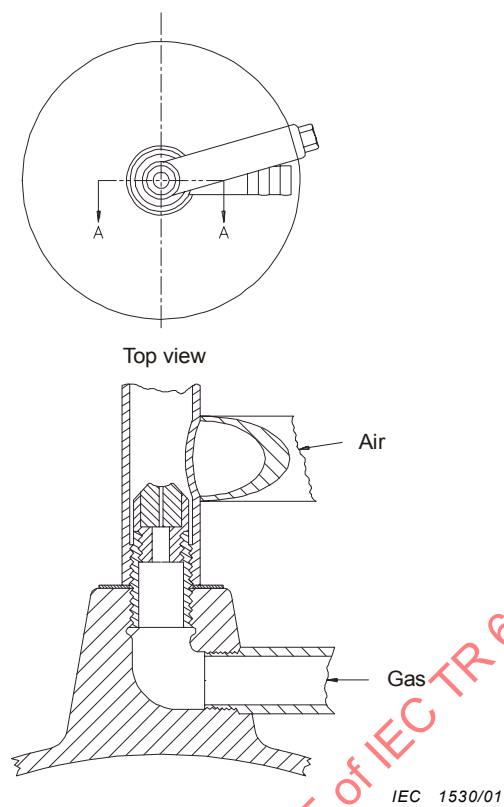
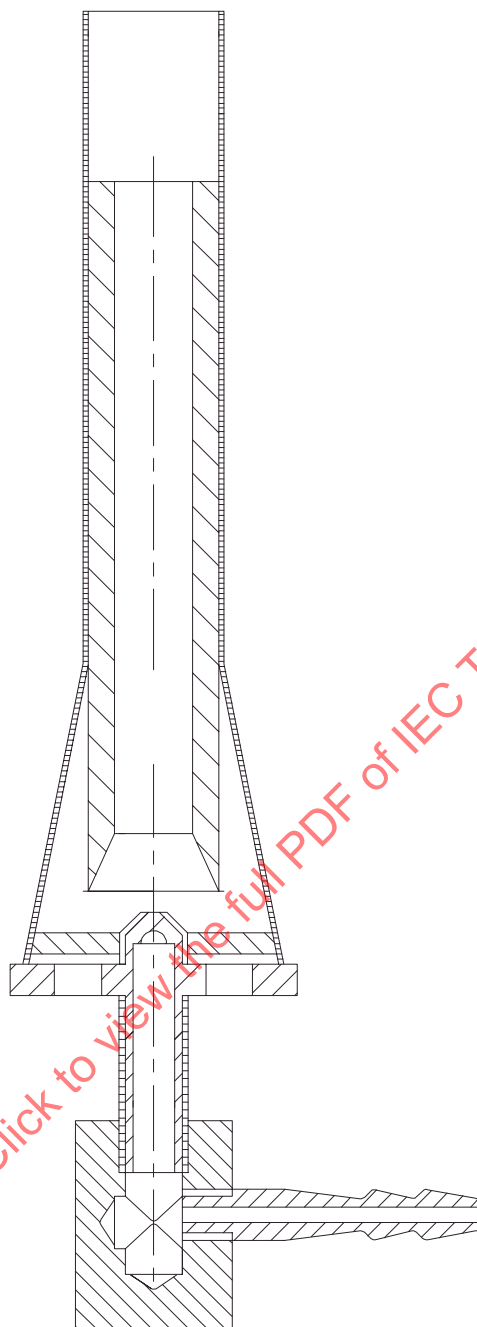
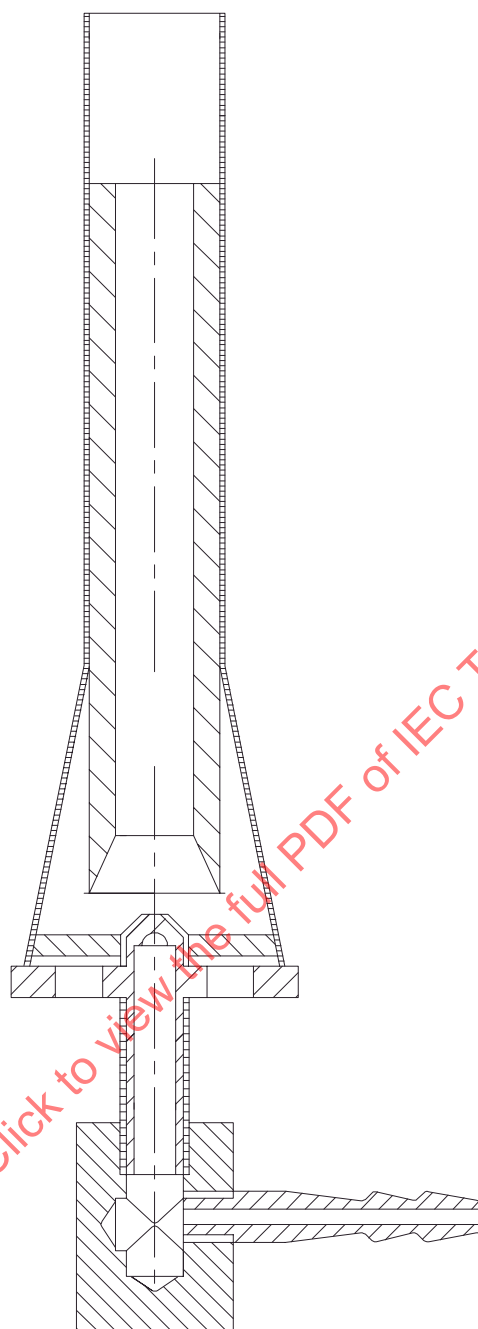


Figure 4 – Burner details from ASA 2122-1



IEC 1531/01

Figure 5 – Brûleur au gaz propane – Extrait du Journal Officiel des Communautés Européennes



IEC 1531/01

Figure 5 – Propane burner from the Official Journal of the European Communities

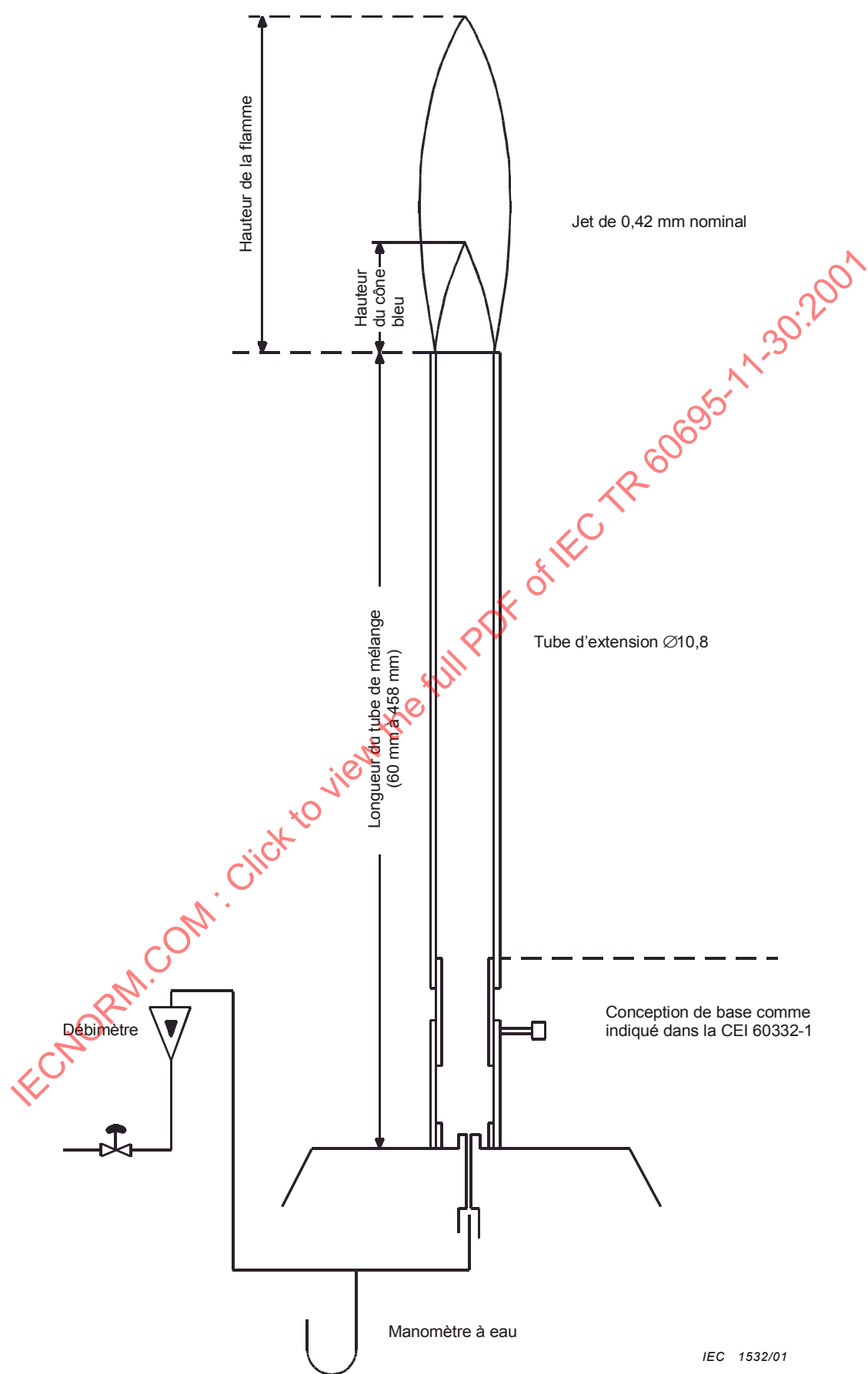


Figure 6 – Brûleur standard avec tube de mélange allongé

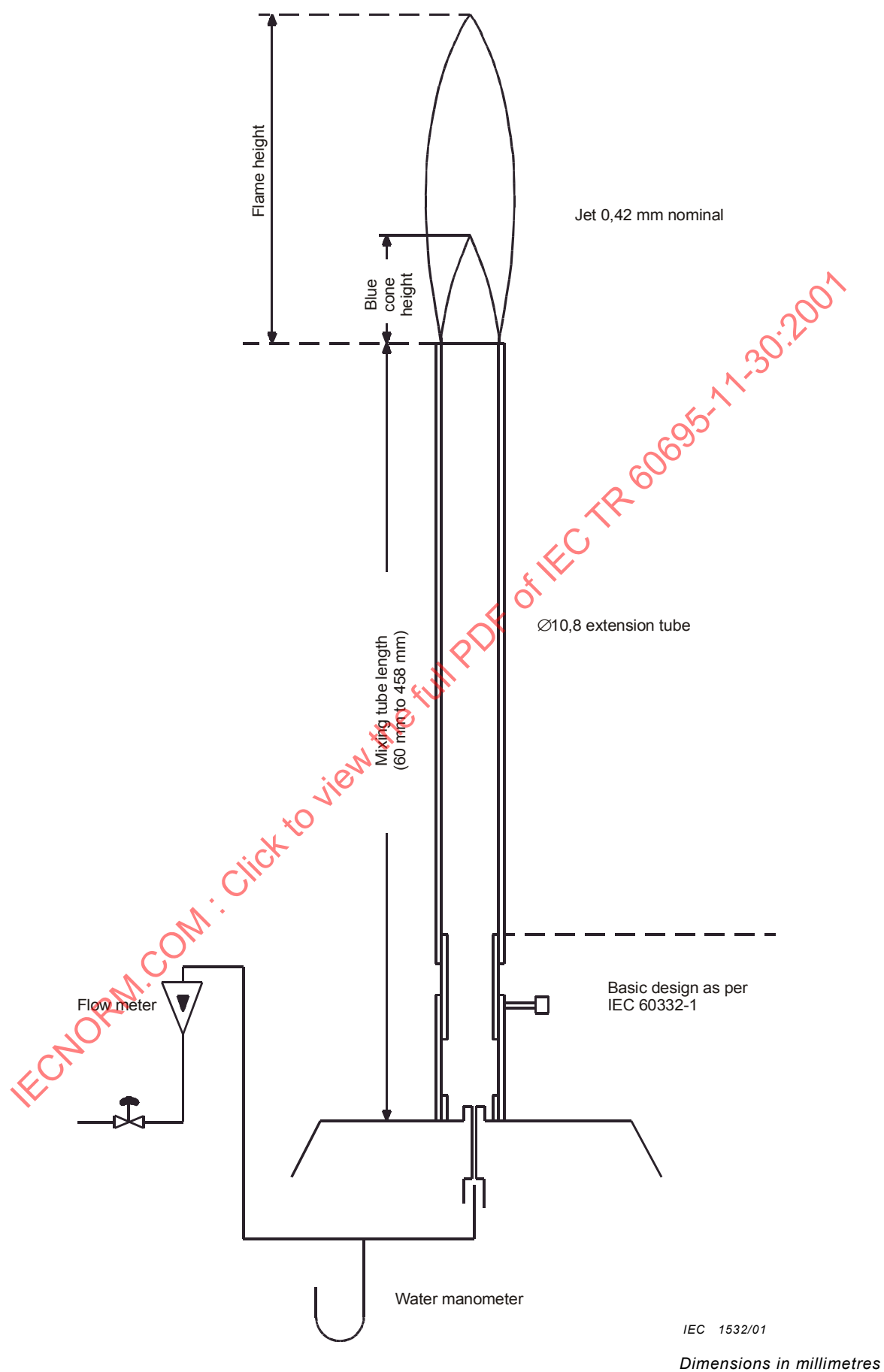


Figure 6 – Standard burner with extended mixing tube

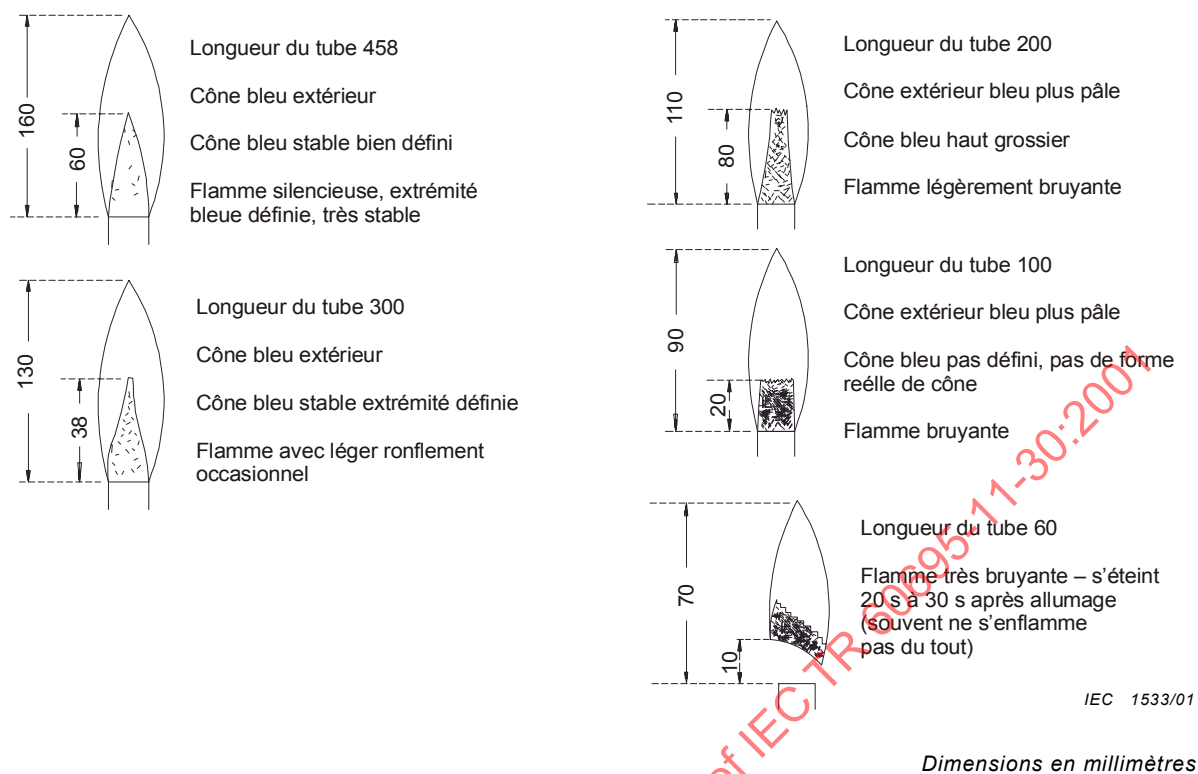


Figure 7 – Caractéristiques visuelles de la flamme avec des tubes de mélange de longueurs différentes utilisant le brûleur de la figure 6

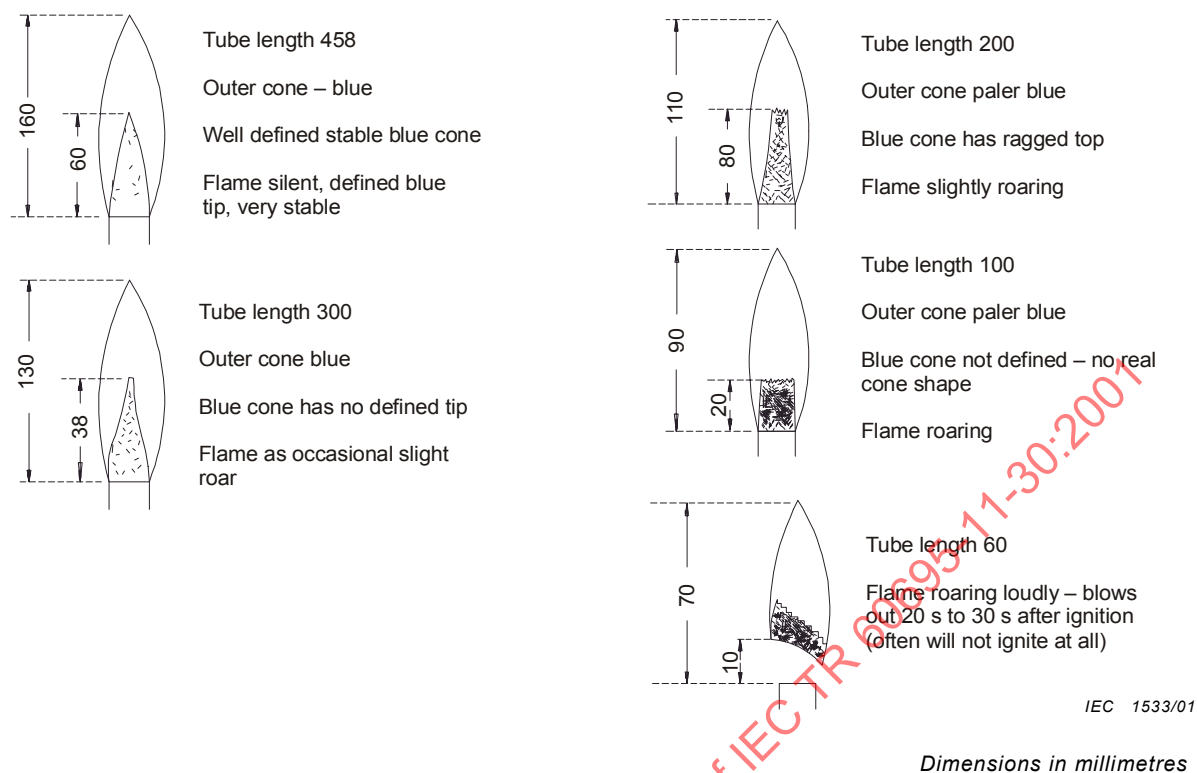
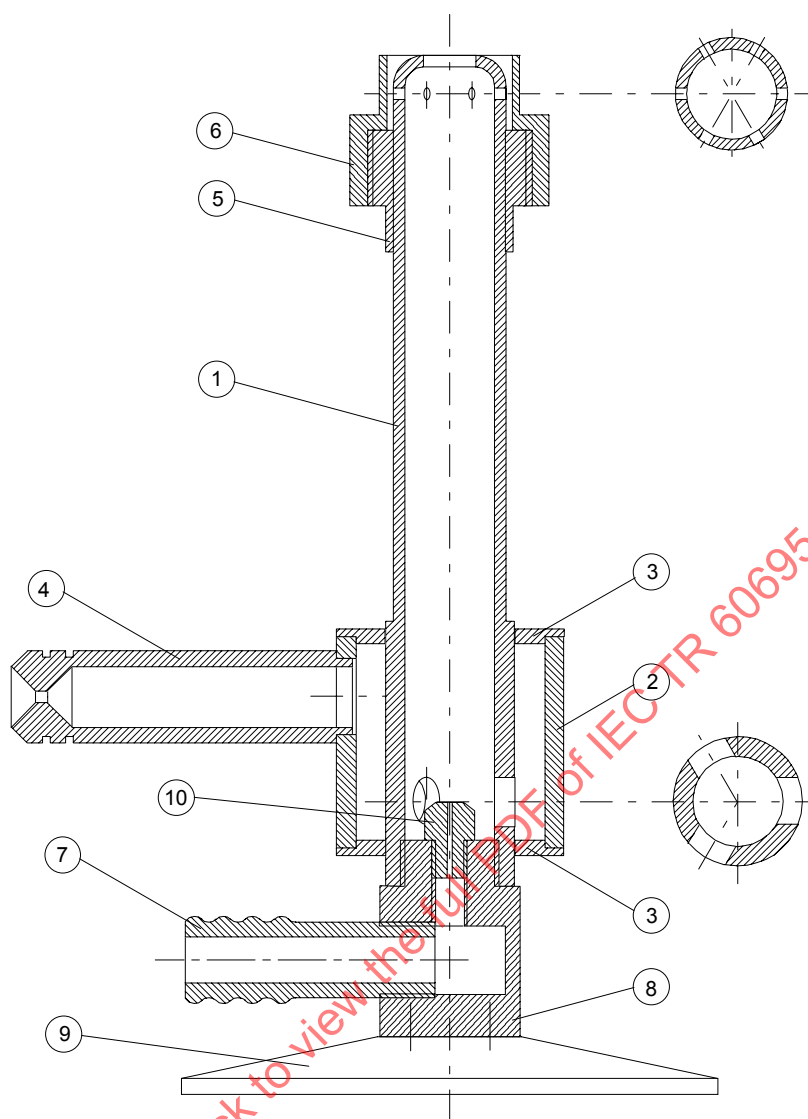


Figure 7 – Visual characteristics of the flame with different length mixing tubes using the burner of figure 6

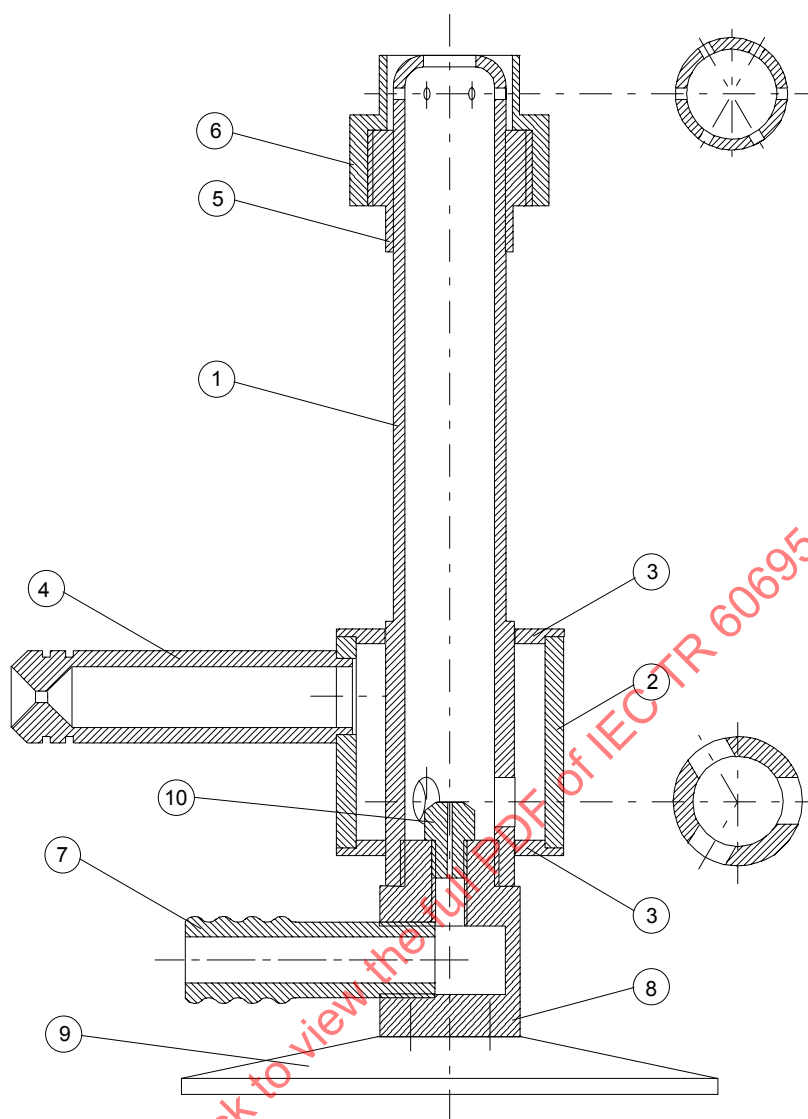


IEC 007/2000

Légende

- 1 Fût du brûleur
- 2, 3 Tubulure d'air
- 4 Tube d'alimentation en air
- 5, 6 Stabilisateur de flamme
- 7 Tube d'alimentation en gaz
- 8 Bloc cadre
- 9 Base du brûleur
- 10 Injecteur gaz

Figure 8 – Brûleur de 1 kW – Montage général



IEC 007/2000

Key

- 1 Burner barrel
- 2, 3 Air manifold
- 4 Air supply tube
- 5, 6 Flame stabilizer
- 7 Gas supply tube
- 8 Elbow block
- 9 Burner base
- 10 Gas jet

Figure 8 – 1 kW burner – General assembly

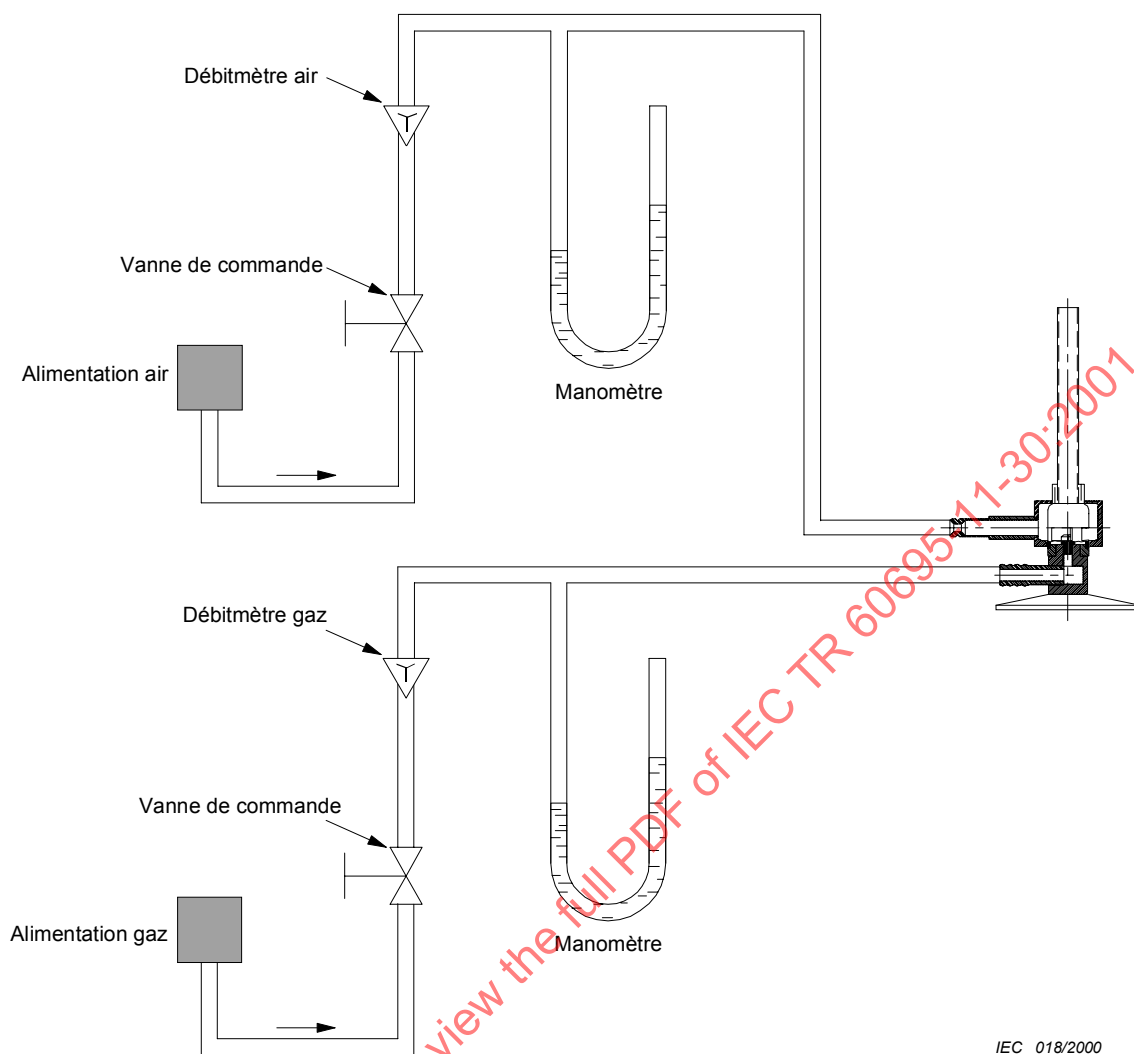


Figure 9 – Brûleur de 1 kW – Disposition de l'alimentation

IEC 018/2000

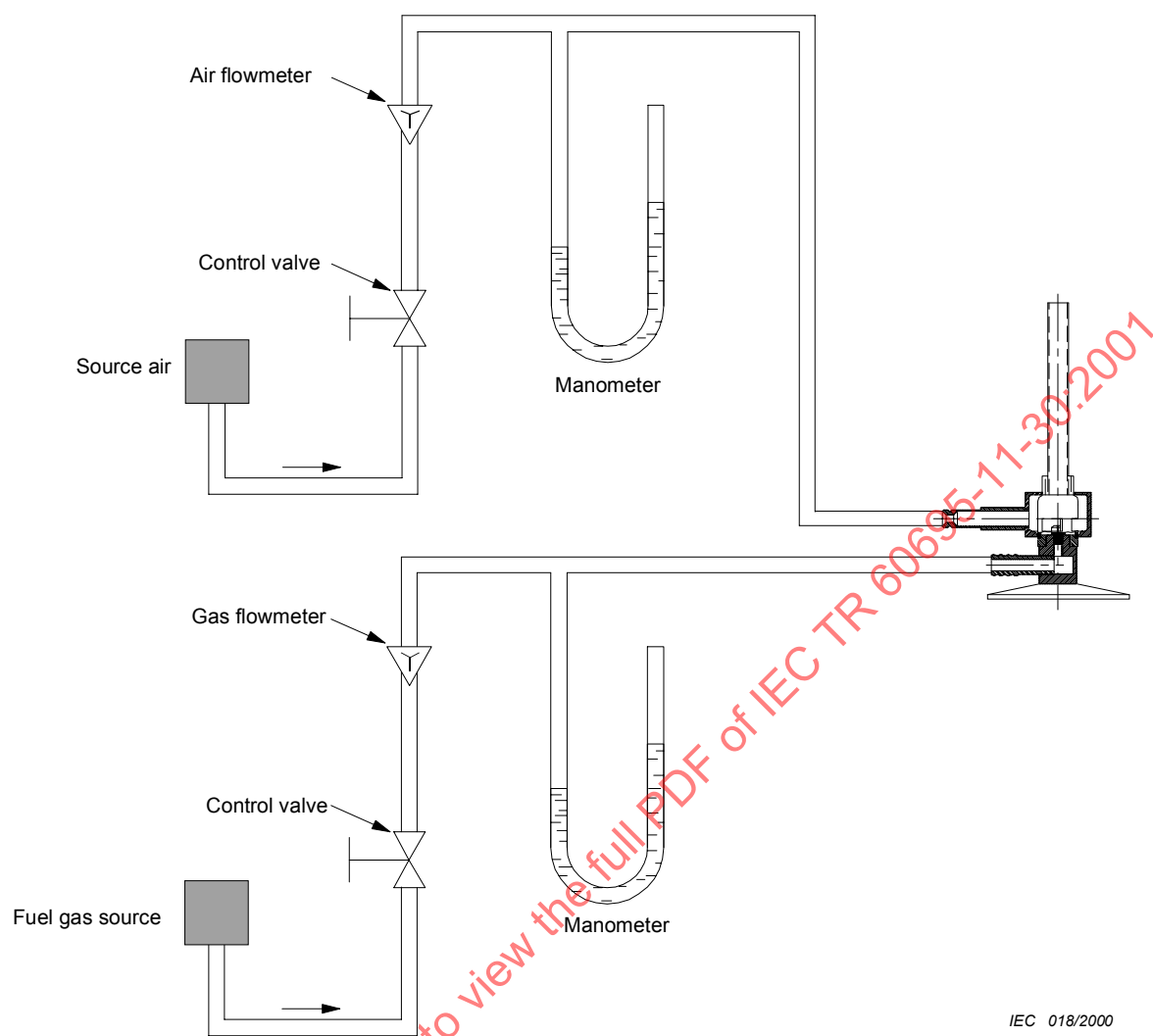
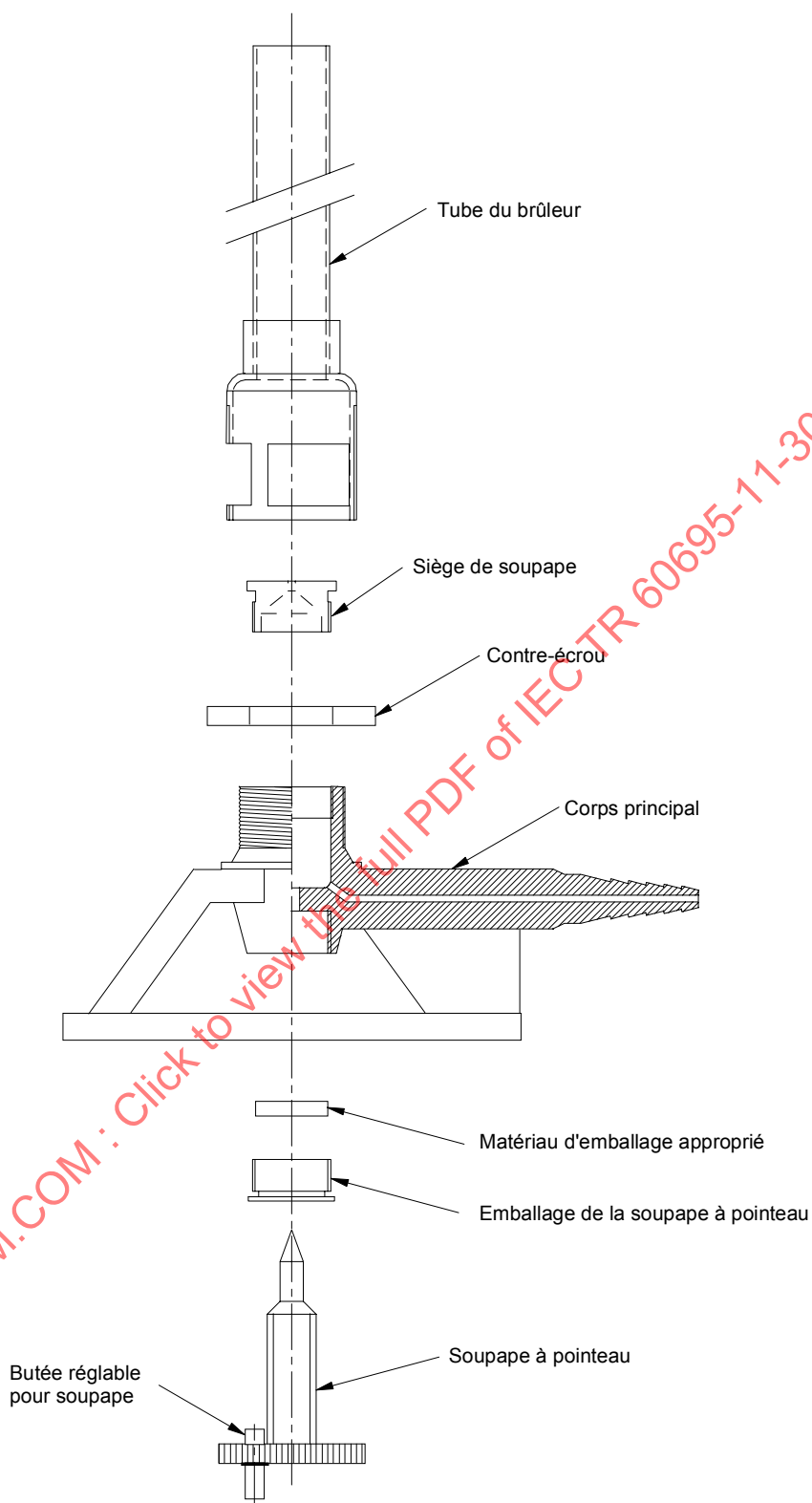


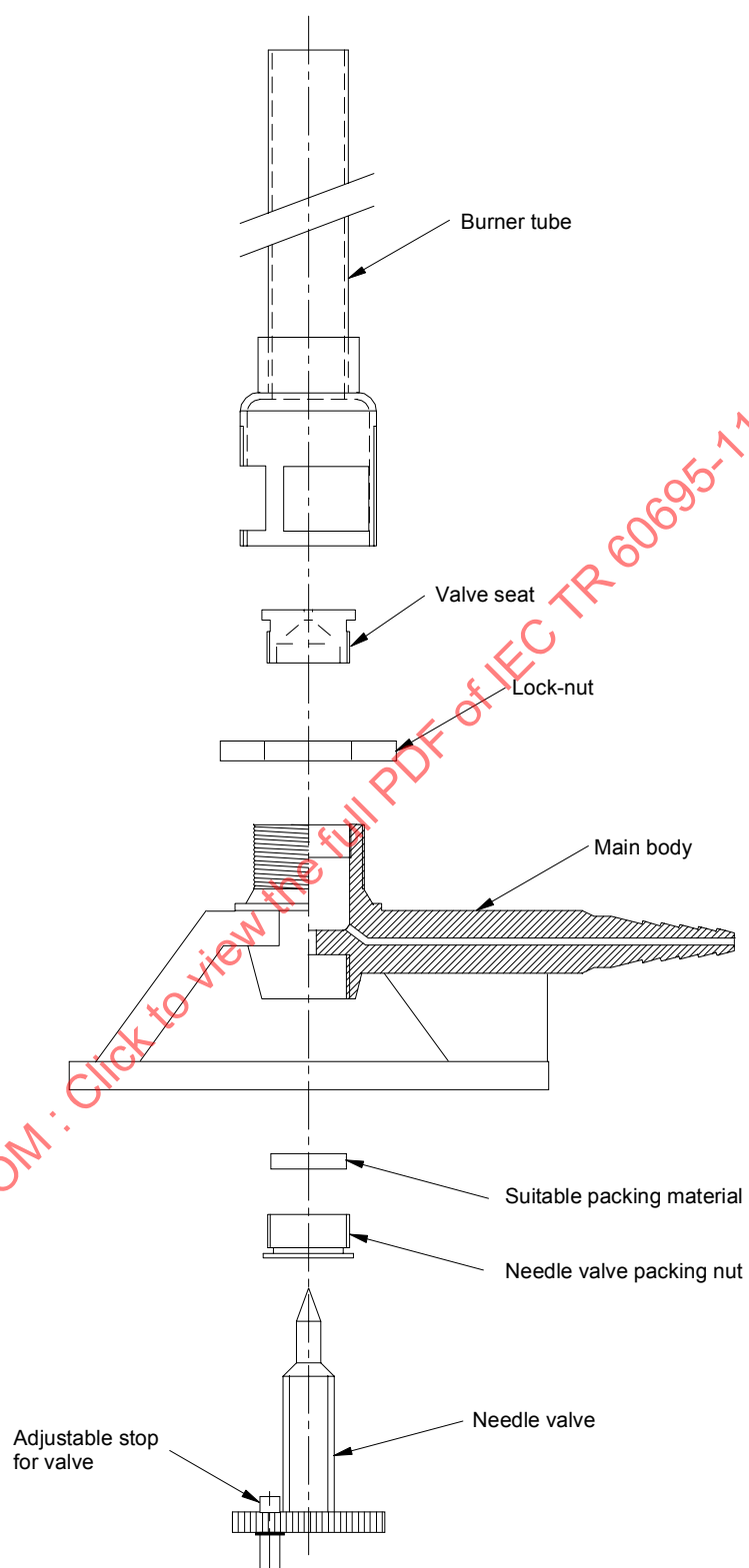
Figure 9 – 1 kW burner – Supply arrangement



Matière: laiton ou toute autre matière appropriée

IEC 004/2000

Figure 10 – Détails du brûleur de 500 W – Conception initiale



Material: brass or any other suitable material

IEC 004/2000

Figure 10 – 500 W burner details – Original design

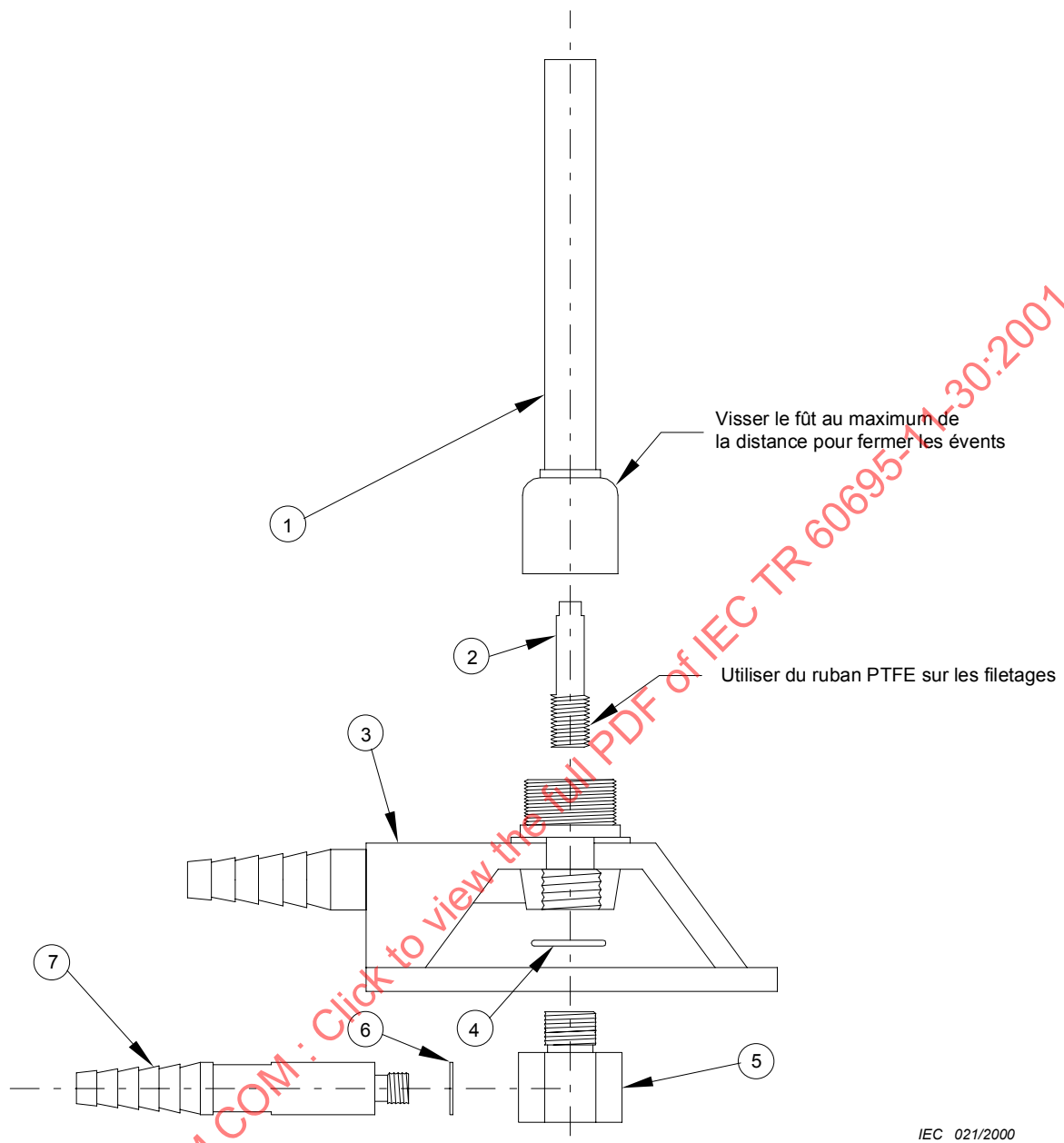


Figure 11 – Détails du brûleur de 500 W – Première amélioration

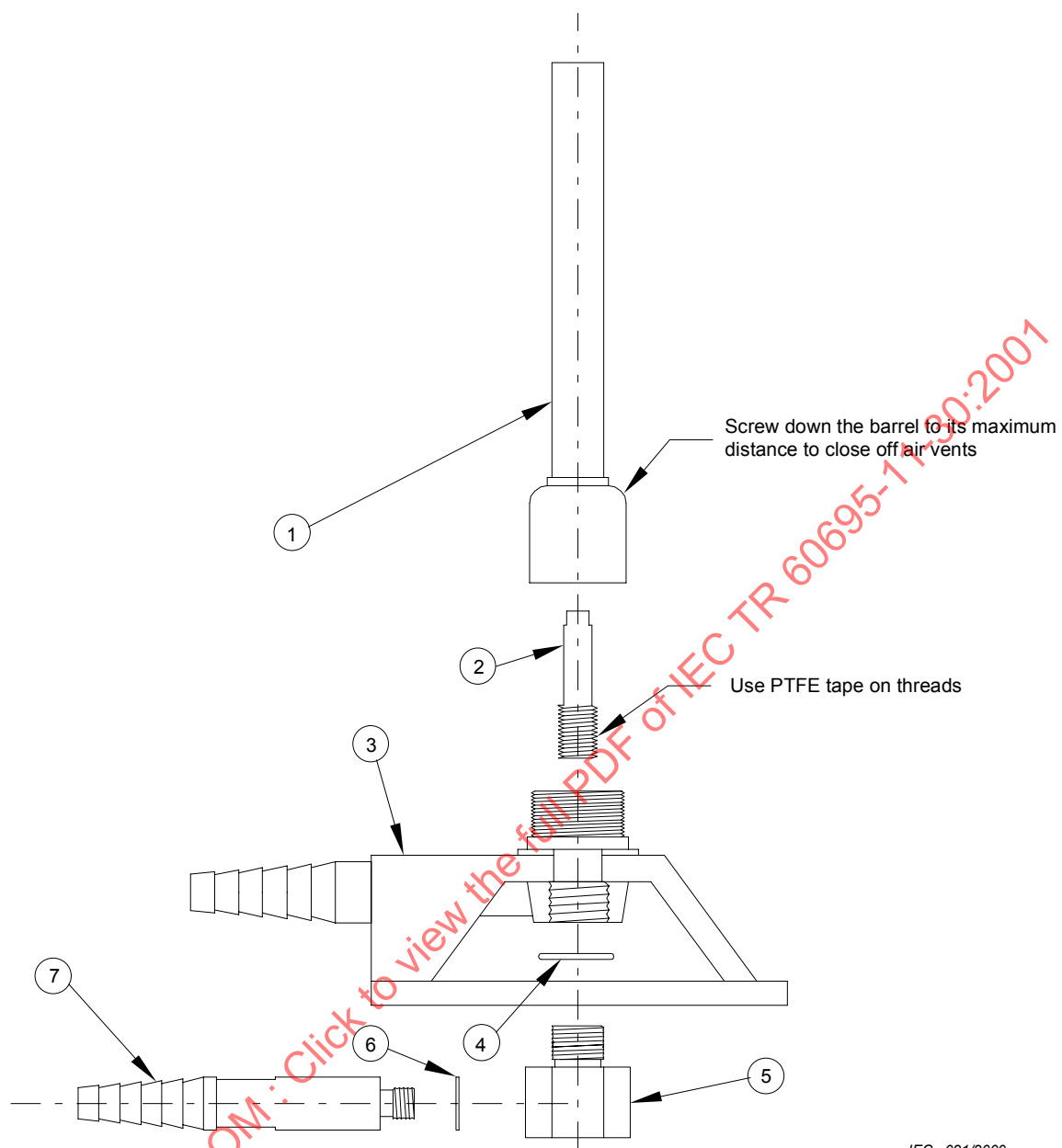


Figure 11 – 500 W burner details – First improvement

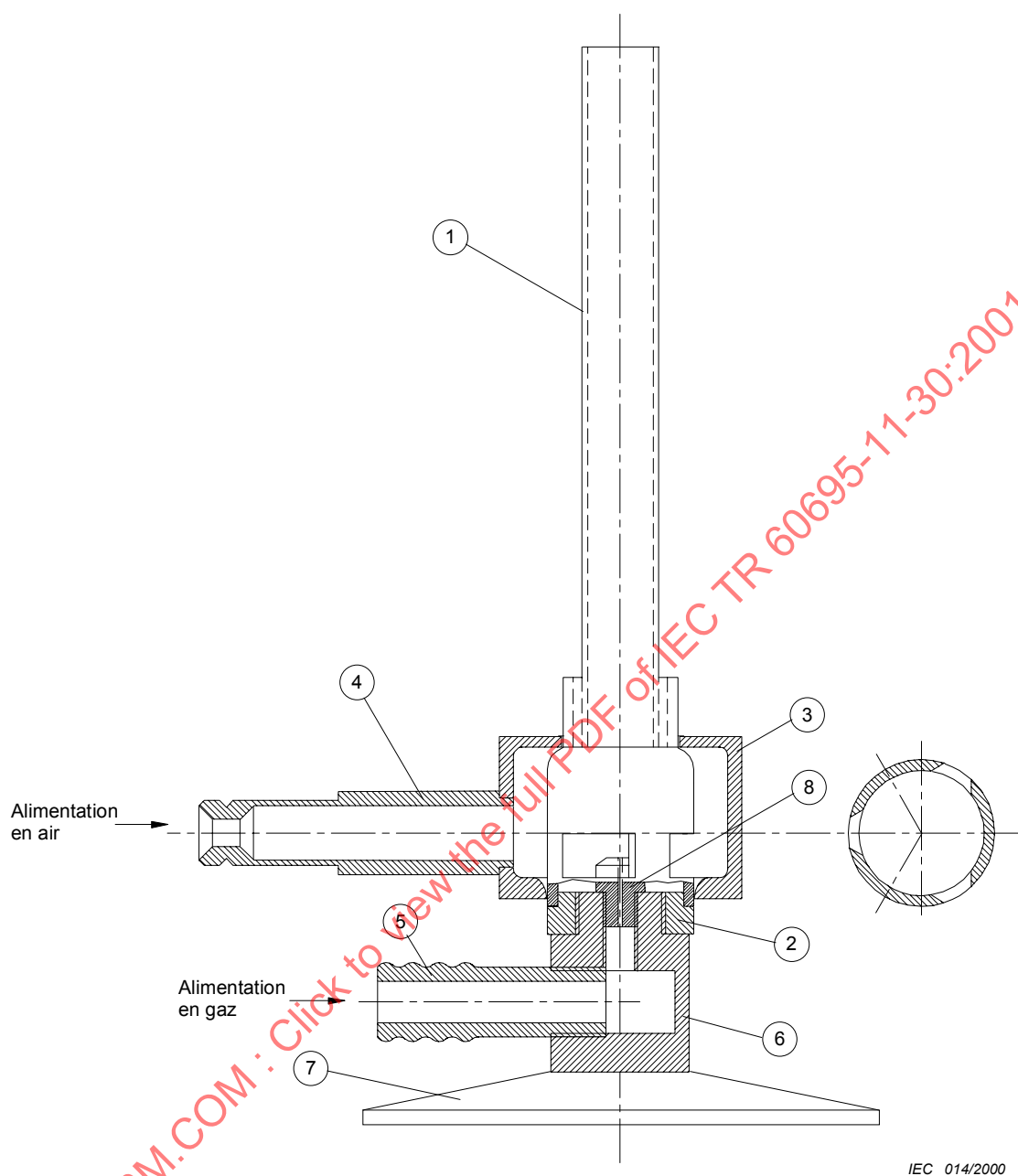


Figure 12 – Détails du brûleur de 500 W – Deuxième approche