

# Problèmes de feu dans le matériel électrique

par **Brigitte FALLOU**

*Ancien chef de la division Matériaux-Instrumentation  
au Laboratoire central des industries électriques (LCIE)  
Ancien président de la commission UTE-CEF 89 « Risques du feu »*

<b>1. Rappel sur les phénomènes physiques responsables de la genèse d'un feu</b> .....	D 2 070	2
1.1 Cas général.....	—	2
1.2 Cas des matériels électriques.....	—	3
<b>2. Développement et propagation du feu</b> .....	—	4
<b>3. Étude des conséquences non thermiques du feu</b> .....	—	5
3.1 Opacité.....	—	5
3.2 Toxicité.....	—	5
3.3 Corrosivité.....	—	6
3.4 Remèdes apportés.....	—	6
<b>4. Normalisation générale dans le domaine électrique</b> .....	—	6
4.1 Présentation.....	—	6
4.2 Remarques liminaires.....	—	6
4.3 Essais d'allumabilité.....	—	7
4.4 Essais d'inflammabilité et de propagation.....	—	7
4.5 Essais sur les effluents du feu.....	—	9
4.6 Extension de la normalisation.....	—	11
<b>5. Normalisation spécifique à divers matériels électriques</b> .....	—	12
5.1 Câbles électriques.....	—	13
5.2 Matériels électrodomestiques.....	—	13
5.3 Matériels de traitement de l'information.....	—	13
5.4 Téléviseurs.....	—	14
5.5 Transformateurs.....	—	14
<b>6. Normalisation en matière de feu hors du domaine électrique</b> ...	—	14
<b>7. Réglementation</b> .....	—	15
<b>8. Prévention</b> .....	—	16
<b>9. Conclusion</b> .....	—	16
<b>Pour en savoir plus</b> .....	Doc. D 2 070	

**P**lus souvent qu'il ne le mérite sans doute, le matériel électrique est impliqué lorsqu'il s'agit d'attribuer une cause à un incendie dont l'origine est inconnue. Est-ce justifié et, si oui, pourquoi ?

Comme on le verra dans cet article, le matériel électrique en fonctionnement peut effectivement être à l'origine d'incendies, par le biais de divers mécanismes. Mais il convient immédiatement de préciser que ce genre d'accident ne peut prendre naissance que lorsque le matériel n'est pas conforme aux normes ou à la réglementation, ou bien encore lorsqu'il est mal utilisé ou raccordé à un réseau non conforme.

*Si tel n'est pas le cas, le rôle de bouc émissaire que subit le matériel électrique n'est pas justifié.*

*C'est sans doute pour lutter contre cette réputation que, depuis plusieurs décennies, une normalisation et une réglementation particulières au domaine électrique ont vu le jour et ont conduit à une européanisation, voire une mondialisation des normes, tout à fait exemplaires, si l'on compare le domaine électrique à de nombreux autres domaines impliquant le feu. C'est pourquoi aussi il a paru bon de consacrer un article à ce sujet. On s'y limitera volontairement aux aspects qui sont vraiment spécifiques du matériel électrique. Le matériel électrique peut participer à un incendie de deux façons :*

— d'une part, par son aptitude, quand certaines conditions sont réunies, à engendrer un incendie. Dans ce cas, on pourra qualifier ce matériel de **source de l'incendie** ;

— d'autre part, dans de nombreux autres cas, le matériel électrique est **victime d'un incendie** engendré par une source qui lui est extérieure. Le plus souvent, sa spécificité électrique ne le rend pas plus vulnérable qu'un autre matériel ou élément de construction, lorsque les matériaux qui le constituent sont correctement choisis. Il faut toutefois signaler le cas particulier des câbles qui, dans certaines installations industrielles, cheminent sur de grandes longueurs et qui, bien que n'étant généralement que les victimes de sources extérieures, peuvent devenir des éléments propagateurs dont le rôle peut alors être fondamental.

Dans ce qui suit, on propose d'abord un bref rappel des phénomènes physiques qui peuvent être à l'origine d'un incendie et on présente la façon dont ils interviennent pour faire de l'objet électrique la source originelle du feu. Nous verrons ensuite comment, à partir d'une telle source, l'incendie peut se développer. Une analyse spéciale est consacrée aux diverses conséquences qui peuvent résulter de l'incendie lorsqu'il a atteint son importance maximale.

A partir de ces éléments, on examine les divers essais normalisés dans le domaine électrique, de façon générale d'abord, puis selon les types de matériel, essais dont l'objet commun est de minimiser les risques. Une brève incursion concernant la normalisation hors du domaine électrique permet d'apprécier les nombreuses coordinations qui existent entre les différents domaines.

A cet aspect de normalisation seront associées les positions réglementaires françaises et européennes, souvent spécifiques à un domaine déterminé.

Les connaissances de l'époque présente ont enfin amené à développer l'aspect **prévention** qui devrait être, à terme, une base sérieuse de diminution des risques.

Pour des renseignements plus généraux, le lecteur se reportera aux articles des Techniques de l'Ingénieur :

- Combustion [1] ;
- Essais de réaction au feu [2] ;
- Sécurité incendie [3] ;
- Prévention des accidents électriques [4].

## 1. Rappel sur les phénomènes physiques responsables de la genèse d'un feu

### 1.1 Cas général

De façon générale, la genèse d'un feu peut être schématisée sur le triangle représenté figure 1. Les différents côtés de ce triangle représentent respectivement :

① un matériau combustible, le plus souvent, un matériau plastique ou un liquide organique ;

② une source d'énergie, par exemple, un flux de chaleur émis au voisinage du matériau dont la surface s'échauffe. Au-delà d'une valeur critique de la température de surface, la dégradation thermique du produit donne naissance à une phase gazeuse par un phénomène de pyrolyse ;

③ un comburant, constitué par l'atmosphère ambiante, de l'air le plus souvent, avec laquelle le gaz dégagé entre en combinaison pour donner naissance à un mélange gazeux inflammable, voire explosif. L'inflammation peut alors survenir sous l'effet d'une source complémentaire (flamme, particule incandescente) ou directement par des réactions chimiques d'oxydation (inflammation spontanée).

La flamme produite crée un flux thermique qui s'ajoute au flux initial. Suivant les conditions locales rencontrées au voisinage du foyer, l'incendie sera autoalimenté ou s'éteindra de lui-même. Les détails relatifs à ces processus sont décrits dans la référence [1].

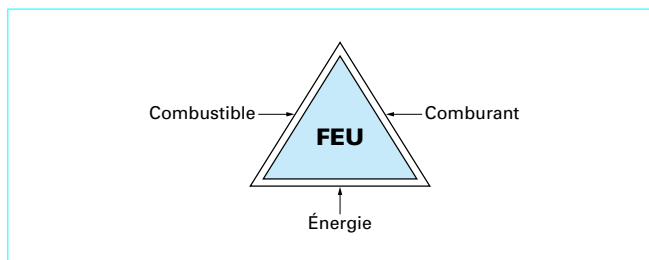


Figure 1 – Triangle du feu

Il convient dès maintenant de souligner le fait que c'est, dans l'immense majorité des cas, par le truchement d'une phase gazeuse combustible associée à un mélange comportant de l'oxygène que se produit le début de l'incendie. Les éléments solides ne sont que très rarement impliqués directement. Cette notion sera particulièrement importante pour expliquer la genèse des feux dans le matériel électrique.

Ensuite, mais ensuite seulement, se produira, si les conditions nécessaires sont réunies, la propagation de la flamme dont nous reparlerons au paragraphe 2.

## 1.2 Cas des matériels électriques

La source d'énergie qui, dans le cas général, provoque la formation d'une phase gazeuse à partir d'un matériau soumis à un flux thermique peut, dans le matériel électrique, se rencontrer sous diverses formes. Ce paragraphe présente, de façon non exhaustive, divers phénomènes susceptibles d'engendrer l'émission de gaz dans un système électrique alimenté.

On citera en particulier les échauffements, les phénomènes précurseurs d'un cheminement et les courts-circuits.

### 1.2.1 Échauffements

Il peut s'agir :

— soit d'un **échauffement généralisé** à une température supérieure à la température maximale acceptable en fonctionnement normal : cela peut provenir d'une surcharge momentanée, d'un matériel mal calculé ou encore mal protégé.

**Exemple** : remplacement d'un fusible approprié par un fusible de calibre supérieur ou même par un fil de cuivre ;

— soit d'un **échauffement localisé** : ce phénomène, sans doute de loin le plus fréquent, est généralement produit par un mauvais contact. Une mesure des températures atteintes par les connexions métalliques et par les isolants environnant un mauvais contact a permis de démontrer qu'elles pouvaient être, sur les isolants, de l'ordre de 300 ou 400 °C. Des gaz sont alors dégagés. Les quantités produites sont le plus souvent relativement modestes, mais, dans de nombreux cas, confinées dans des volumes réduits quasi étanches que sont les boîtiers ou les enveloppes enserrant les parties actives des matériels. Des expérimentations en vraie grandeur ont montré que le mélange gazeux produit par un mauvais contact dans un matériel tel qu'un interrupteur peut atteindre la concentration d'un mélange inflammable en des temps relativement courts, de l'ordre d'une dizaine de minutes, mais que ce phénomène ne peut jamais être instantané.

Il est aussi important de souligner que la puissance du défaut ne doit pas nécessairement être importante. Ainsi un mauvais contact dans lequel sont dissipés quelques dizaines de watts conduit à un mélange gazeux confiné qui est inflammable dans un espace de

temps allant de quelques minutes à une demi-heure selon les caractéristiques du mauvais contact (ainsi, pour fixer un ordre de grandeur, une dizaine de watts peut suffire) [9].

### 1.2.2 Phénomènes précurseurs d'un cheminement

■ Un cheminement est susceptible de se produire dans un matériel **basse tension** lorsqu'une pièce se trouve humidifiée (atmosphère humide, dépôt par condensation, chute de gouttes à la surface d'un isolant). La conduction superficielle du produit se trouve momentanément accrue et un léger courant passe entre les pièces sous tension, assèche le produit qui chauffe en dégageant des gaz. Des alternances de réhumidification et de microdégradations de la surface se succèdent jusqu'au moment où un **cheminement** se produit, c'est-à-dire la carbonisation superficielle du produit entre pièces sous tension.

Avant d'arriver à ce stade terminal, des quantités de gaz équivalentes à celles produites par échauffement peuvent être libérées et rester, comme dans le cas précédent, confinées à l'intérieur du matériel. Des simulations de cheminement et l'analyse des gaz formés avant cheminement ont pu être réalisées dans de petites enceintes closes et des gaz inflammables dans la même gamme de temps que précédemment ont pu être libérés.

■ Des phénomènes similaires peuvent se produire en **haute tension** lorsque les phénomènes initiateurs sont dus, non pas à la présence de l'humidité, comme dans le cas précédent, mais à la présence d'étincelles ou de décharges partielles qui prennent naissance à la surface des objets entre prises sous tension. Comme dans les autres cas, ces phénomènes peuvent produire des gaz émanant de la dégradation superficielle du matériau. On se reportera à [5] pour une description détaillée des divers mécanismes de cheminement ou de décharges partielles, causes de formation de produits de dégradation gazeux.

■ Des **arcs de coupure** en basse tension et sans humidité conduiront à des résultats similaires dans des appareillages où se produisent des coupures donnant lieu à des étincelles ou à des arcs qui lèchent les matériaux organiques avoisinants. Tel n'est pas le cas des chambres de coupure de disjoncteurs spécialement étudiées pour confiner l'arc au contact d'éléments non organiques.

### 1.2.3 Courts-circuits

On ne trouve que très rarement, dans les cas réels, les phénomènes de court-circuit, accusés bien souvent, mais à tort, d'être les agents de démarrage d'incendies, et ce pour les raisons suivantes : un court-circuit produit une augmentation instantanée du courant dans les conducteurs susceptible de créer une puissance multiple de la puissance nominale. Normalement, dans un réseau ou une installation correctement protégée, la durée du court-circuit est limitée par le jeu des protections. Celles-ci fonctionnent en effet en des temps proches de la fraction de période. Dans ces conditions, il n'est pas possible que le matériau combustible libère des gaz car cette libération nécessite un temps minimal incompatible avec la durée d'action des protections.

On peut donc généralement s'inscrire en faux contre les nombreuses assertions suivant lesquelles l'origine d'un sinistre est due à un court-circuit. Des expérimentations détaillées ont permis de prouver que, avec des protections modifiées pour multiplier par cent la durée de maintien d'un court-circuit, le matériau combustible ne produit encore que peu de gaz.

En résumé, la principale caractéristique spécifique qui différencie le comportement du domaine électrique vis-à-vis de l'incendie de celui des autres domaines est la présence interne de la **source d'énergie** (facteur n° 2 du triangle de la figure 1), ce qui justifie la caractérisation du matériel en tant que **source**. De plus, le matériel contient également la **source d'allumage** sous forme d'étincelles ou de points chauds. Le tableau 1 donne des exemples concrets de cas où le matériel électrique est source d'incendie.

**Tableau 1 – Phénomènes d’allumage courants dans les produits électrotechniques (d’après CEI 695-1-1)**

Phénomène (1)	Origine (2)	Conséquences (3)
<p><b>Échauffements anormaux</b></p> <p>Certains produits dissipent de la chaleur en fonctionnement normal</p>	<p>a) Intensité excessive dans un conducteur</p> <p>b) Connexions défectueuses (mauvais contacts)</p> <p>c) Courants de fuite (perte d’isolement et échauffements)</p> <p>d) Défaillance d’un composant, d’un organe interne ou d’un système associé (par exemple, ventilation)</p> <p>e) Déformations mécaniques entraînant une modification des contacts ou du système d’isolation</p> <p>f) Vieillessement thermique prématuré</p>	<p>a) Au début, les systèmes de protection ne sont pas sollicités (sauf cas de protection spéciale) ; ils peuvent être activés après une durée variable</p> <p>b) La température s’élève graduellement et quelquefois très lentement. Il peut en résulter une accumulation importante de chaleur et d’effluents dans le voisinage du produit, suffisante pour soutenir le feu dès l’inflammation</p> <p>c) L’accumulation et la diffusion de gaz inflammables dans l’air peuvent donner lieu à un allumage ou à une explosion, notamment dans des matériels hermétiques</p>
<p><b>Court-circuit</b></p>	<p>a) Contact direct de parties conductrices sous tension à des potentiels différents (desserrage de bornes, conducteurs accidentellement libérés, pénétration de corps étrangers conducteurs, etc.)</p> <p>b) Dégradation progressive de certains composants entraînant une baisse de leur résistance d’isolement</p> <p>c) Après défaillance soudaine d’un composant ou d’un organe interne</p>	<p>a) Les systèmes de protection sont sollicités</p> <p>b) L’élévation de température est importante après un temps très court et est très localisée</p> <p>c) Émission éventuelle de lumière, de fumées, de gaz inflammables</p> <p>d) Projection de matières ou de matériaux incandescents</p>
<p><b>Étincelles et arcs accidentels</b></p> <p>(Certains produits produisent des arcs et des étincelles en fonctionnement normal)</p>	<p>a) Cause externe au matériel (surtension du réseau, action mécanique accidentelle mettant à nu des parties sous tension ou les mettant en contact, etc.)</p> <p>b) Cause interne (commutations avec dégradation progressive de certains composants et pénétration d’humidité)</p> <p>c) Après défaillance soudaine d’un composant ou d’un organe interne</p>	<p>a) Les systèmes de protection ne sont pas toujours sollicités</p> <p>b) Émission éventuelle de lumière visible, de gaz inflammables et de flammes. Risque élevé d’inflammation en atmosphère explosible</p> <p>c) L’inflammation peut se produire localement sur les composants ou dans les gaz environnants</p>

(1) Les déformations de nature mécanique et les changements de structure provoqués par l’un quelconque des trois phénomènes peuvent entraîner l’apparition des deux autres.  
(2) Il s’agit des cas les plus fréquemment rencontrés. L’ordre indiqué ne préjuge ni de leur importance ni de leur fréquence.  
(3) Les systèmes de protection peuvent être thermiques, mécaniques, électriques ou électroniques.

Dans de nombreux autres cas, le matériel électrique est la *victime de l’incendie*, c’est-à-dire que la source d’inflammation initiale lui est extérieure. A cet égard, il n’y a pas lieu de considérer le matériel électrique d’une façon différente des autres éléments de construction ou de structure ni, en principe, de faire des essais différents de ceux effectués dans les autres domaines.

Une exception toutefois à ce panorama est celle des éléments tels que les câbles électriques victimes de l’incendie. Ils ont pour particularité d’être présents en grande longueur dans de nombreuses installations et souvent en faisceaux, ce qui revient à dire avec d’importants volumes linéiques. Nous verrons ci-après toutes les précautions particulières que cette situation amène à prendre.

## 2. Développement et propagation du feu

A ce stade du développement de l’incendie, le caractère spécifique du matériel électrique en tant que victime du feu est bien sûr moins important qu’il ne l’était en tant que source. Néanmoins, les

matériaux utilisés dans l’industrie électrique, d’une part, les essais concernant ce matériel, d’autre part, amènent à considérer les bases qui régissent les conditions dans lesquelles l’incendie peut se développer à l’endroit de sa création, puis se propager en d’autres lieux.

Nous résumons ci-après les éléments principaux décrits dans [1].

A partir de l’inflammation initiale d’un objet, qui se produit sur une surface réduite, la chaleur libérée par la flamme engendre l’échauffement, puis la dégradation thermique du matériau situé dans son voisinage immédiat. Les gaz combustibles libérés sont alors enflammés par la flamme. Cette succession des processus d’échauffement, pyrolyse, inflammation conduit à une propagation en surface de la flamme.

La vitesse de propagation de la flamme dépend de la nature chimique du matériel, mais elle est aussi fortement conditionnée par des facteurs physiques et géométriques. La propagation verticale descendante et la propagation horizontale sont relativement lentes alors que la propagation verticale ascendante conduit à une augmentation continue de la vitesse de propagation qui atteint ainsi des valeurs d’un ordre de grandeur supérieur aux cas précédents.

Le feu ayant été engendré, comme on l’a vu précédemment, par l’allumage d’une phase gazeuse, les événements qui vont se succé-

der dépendront ainsi de nombreux facteurs. Cela amène les spécialistes à dire que deux incendies ne peuvent être identiques. Néanmoins, il leur est apparu que, pour passer au stade expérimental ou procéder à l'établissement de normes, il est bon de définir des scénarios qui se doivent d'englober les faits les plus représentatifs, ou les plus fréquents.

La figure 2 présente de façon schématique l'évolution de la température dans une chambre où se produit un incendie.

Établir un scénario nécessite de décrire de façon quantifiée les nombreux facteurs qui influent notablement sur le développement de l'incendie. Parmi les plus importants, il faut noter :

- la présence éventuelle de sources extérieures de rayonnement ;
- le mode de convection (naturelle ou forcée) ;
- la teneur en oxygène de l'atmosphère environnante et son éventuel appauvrissement.

De nombreux types d'essais, tant dans le domaine général que dans le domaine électrique, ont pour objet de caractériser cette phase de postallumage de l'incendie. La caractéristique correspondante fait partie de ce que l'on appelle en français **inflammabilité**, (*flammability* en anglais) qui, de fait, caractérise ce qui se passe après que le matériau a été enflammé. Il ne faut pas confondre ce terme avec celui d'**allumabilité** (*ignitability* en anglais) dont nous avons parlé au paragraphe précédent. Nous verrons plus en détail, au paragraphe 4, les essais qui ont été créés pour déterminer ces différentes caractéristiques.

### 3. Étude des conséquences non thermiques du feu

Il y a près de deux décennies que des incendies réels concernant des matériels électriques ou des essais en vraie grandeur d'une part, des études sur maquettes d'autre part, ont mis en évidence les conséquences funestes résultant d'incendies concernant des matériels électriques, conséquences différentes de la destruction proprement dite des biens par le feu.

A l'époque, ni la réglementation, ni la normalisation n'avaient pris en compte, en France et même probablement dans le monde, ce qu'on a parfois appelé « conséquences secondaires du feu ou des effluents du feu ». Il s'agit non pas d'effets secondaires, mais souvent d'effets d'importance capitale. Il est réconfortant de noter que c'est en France et, notamment, par le biais de la normalisation électrique qu'une attention spéciale a été apportée à ces phénomènes, puisque la norme expérimentale française C 20 - 450 (Comportement au feu des matériaux, des composants et des matériels électrotechniques) a été publiée dès 1982.

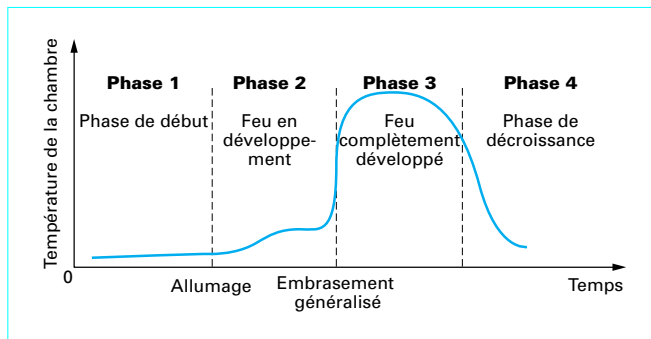


Figure 2 – Évolution schématique de la température d'une chambre au cours d'un incendie

Le fait de la prise en compte relativement tardive de ces phénomènes tient à diverses raisons :

- d'une part, le développement, vers 1975, de matériaux qui se voulaient présenter un comportement au feu amélioré et utilisaient pour ce faire des retardateurs de feu du type halogéné ;
- d'autre part, l'utilisation intensive dans des usines de matériels informatiques servant à la conduite des systèmes.

Les principaux effets peuvent se classer sous trois rubriques : opacité, toxicité et corrosivité des effluents du feu, en considérant, en première approximation, leur ordre d'apparition dans le temps, au cours d'un incendie.

#### 3.1 Opacité

Le premier de ces effets a été mis en évidence spectaculairement en France lors d'essais en vraie grandeur impliquant des faisceaux de câbles électriques réunis en très grande quantité dans des locaux ne craignant pas l'incendie. Il s'agissait, pour EDF, de tester l'efficacité de dispositifs de désenfumage. Il s'est rapidement avéré que les dispositifs prévus étaient très nettement insuffisants. Les pompiers préposés à l'extinction de l'incendie, volontairement allumé pour la circonstance, ne pouvaient parvenir à la source en question, dont ils connaissaient pourtant l'emplacement ; en effet, le feu ne s'était guère propagé grâce aux produits retardateurs, mais tout secours était proscrit tant l'opacité des fumées produites par la décomposition des câbles était grande. La communauté des électriciens s'est alors émue et, en plus de la fabrication de systèmes de désenfumage plus performants, elle s'est interrogée sur le bien-fondé des retardateurs de flamme. Certains utilisateurs de câbles ont alors intégré dans leurs exigences la mise au point de produits ne développant pas de fumées opaques. C'est, par exemple, le cas des câbles utilisés dans les tunnels de voies ferrées ou de métropolitains, de façon à permettre la localisation de l'origine des incendies, l'intervention des sauveteurs, et bien sûr, l'évacuation des personnes.

#### 3.2 Toxicité

Le second effet, revêtant lui aussi une allure de catastrophe, concerne le dégagement de gaz nocifs pour les êtres vivants. Comme on le sait, dans des incendies spectaculaires, on a déploré des pertes humaines dues, en partie, à l'inhalation de gaz nocifs. Par ailleurs, dans certaines simulations d'incendies en vraie grandeur, des animaux ont fait l'objet d'autopsies pour identifier la nature des gaz responsables de leur mort.

Précisons maintenant que ce genre d'expérimentations sur des animaux n'est plus autorisé.

Suivant la nature des matériaux impliqués dans les incendies, les gaz nocifs dégagés ont des conséquences différentes sur l'homme.

Les plus redoutables sont, à coup sûr, ceux qui ont des propriétés incapacitantes. Ces gaz qui, en eux-mêmes, ne provoqueraient pas la mort paralysent certains organes ou annihilent la volonté de combattre la situation car le système nerveux est atteint en un temps extrêmement court. Il est alors impossible à la victime de s'échapper du lieu de l'incendie.

D'autres effets, moins immédiatement spectaculaires, concernent les gaz qui ont des propriétés irritantes.

A court terme, les produits ont une action irritante d'autant plus importante que la concentration est elle-même plus élevée. A plus long terme, les mêmes gaz affectent les poumons et l'effet est fonction de la dose inhalée. Dans les cas les plus tragiques, ces gaz peuvent aussi conduire à la mort. A plus faible dose, ces produits induisent des maladies chroniques.

Une caractéristique souvent évoquée pour traiter ce sujet est celle de la dose létale (DL) et de l'indice LC50 (*lethal concentration*) qui représente, pour un gaz donné, la concentration qui provoque la mort de 50 % des animaux mis en contact avec ce gaz après un temps d'exposition de 30 minutes et un certain temps de récupération.

### 3.3 Corrosivité

L'importance de la corrosivité des fumées a été mise en évidence dans des incendies réels de salles de commandes d'ordinateurs ou de terminaux téléphoniques. Dans chacun de ces cas, grâce à des interventions rapides, les dommages réels correspondant aux matériels incendiés étaient relativement limités. Il a pu être rapidement procédé à leur remplacement. C'est un peu plus tardivement que des défauts se sont déclarés sur des matériels voisins, mais situés dans des locaux nullement impliqués dans l'incendie. Il s'est assez rapidement avéré que ces dysfonctionnements se situaient au niveau des très nombreux contacts que comportent ces divers matériels et notamment de ceux travaillant à bas niveau. Les coûts de remise en état correspondants se sont révélés, dans chaque cas, d'un ordre de grandeur supérieur à celui du remplacement des matériels incendiés. L'explication est aussi liée à la présence de produits halogénés incorporés, comme on l'a vu, pour améliorer la réaction au feu des produits électrotechniques et, notamment, des câbles.

### 3.4 Remèdes apportés

Pour les différentes raisons évoquées dans les paragraphes précédents, des essais concernant les produits dégagés par la combustion des matériaux et, en particulier, des matières plastiques, ont été progressivement préparés et introduits dans les normes ou les réglementations. Simultanément, des formulations répondant aux normes les plus sévères ont été produites par les fabricants de matériaux utilisés dans l'industrie électrique. Tout demeure néanmoins cas d'espèce, car à ces exigences sont associés des problèmes de coût. Ainsi certains câbles réalisés pour répondre aux demandes les plus sévères n'ont pas toujours eu le développement auquel on pouvait s'attendre...

## 4. Normalisation générale dans le domaine électrique

### 4.1 Présentation

Nous avons vu, dans l'introduction, que le matériel électrique a été depuis fort longtemps désigné comme responsable d'incendies. Aussi fabricants et utilisateurs de matériels se sont-ils préoccupés assez tôt dans divers pays (et même à l'échelon international) de normaliser pour chaque type de matériels des essais de comportement au feu, mais de façon peu ou pas coordonnée.

C'est en 1976 que la Commission électrotechnique internationale (CEI) a décidé de créer une structure d'harmonisation de tous les essais relatifs aux risques du feu dans le domaine électrique. Un rôle de « comité pilote » lui a en outre été attribué. C'est le comité 89 « *Essais relatifs aux risques du feu* ». Le rôle de ce comité est de coordonner la normalisation en matière de feu dans le matériel électrique, auparavant traitée indépendamment par les comités relatifs à chaque produit.

Pour ce faire, le comité 89 pouvait soit créer de nouveaux essais, soit améliorer ceux qui existaient déjà. Il avait en outre pour mission d'assurer la coordination avec les autres structures internationales traitant du feu dans des domaines ne concernant pas l'électricité.

Les tâches prévues pour ce comité étaient initialement limitées au cas du matériel électrique en tant que source possible d'incendie. Ultérieurement, sous l'influence de certains pays, le comité 89 a vu son domaine de responsabilité s'étendre à des aspects plus généraux.

### 4.2 Remarques liminaires

Avant de décrire les détails des travaux, il paraît souhaitable de présenter diverses questions générales que se posent tous ceux qui s'occupent des risques que provoquent les feux, qu'il s'agisse ou non de matériel électrique. Il n'existe souvent pas de réponse unique et des groupes de pensée, pour ne pas dire groupes de pression, ont eu ou ont encore des vues partagées sur les réponses à ces questions, pour des raisons, suivant les cas, historiques, nationales ou commerciales. On peut citer notamment le cas d'un organisme américain, les Underwriter's Laboratories (UL), qui a établi depuis longtemps des règles de réception de matériels qu'il lui est souvent difficile de changer à court terme lorsque la normalisation internationale se crée ou se modifie.

Parmi les questions qui demeurent sources de discussions, on présentera aux paragraphes suivants les dualités de termes qui justifient de courtes explications. La norme CEI 695.4 (cf. [Doc D 2 070]) a mis au point une terminologie à laquelle on pourra se référer. Elle a maintenant pratiquement été unifiée avec le vocabulaire établi par ailleurs par des instances non électriques.

C'est à cette terminologie que nous nous référons pour ce qui suit.

#### 4.2.1 Situation réelle et situation conventionnelle

Les professionnels de l'incendie (pompiers, assureurs...) et tous ceux qui sont amenés à faire des expertises sur des incendies réels considèrent généralement que chaque incendie a sa propre histoire et son propre développement, et qu'il est impossible de donner un modèle général.

Cette position, malheureusement véridique, étant énoncée, il faut néanmoins se donner des règles pour préparer des normes dont on saura qu'elles ne sont pas représentatives de l'ensemble des événements qui peuvent se produire. Ces représentations sont donc des situations conventionnelles. Elles sont appelées **scénarios feu**.

D'après la norme CEI 695-4, on appelle **scénario feu** « la description détaillée des conditions, y compris de l'environnement, dans lesquelles se déroulent une ou plusieurs étapes d'un feu réel à un emplacement spécifique ou d'une simulation dans un essai en vraie grandeur depuis la situation avant l'allumage jusqu'à la fin de la combustion ».

C'est ainsi que chaque essai de laboratoire se doit de définir le scénario qu'il a adopté et que les résultats correspondants sont donnés avec des remarques précisant que d'autres scénarios pourraient conduire à des conclusions différentes.

Signalons enfin une tendance relativement récente, hors normalisation, qui consiste à mettre en œuvre une modélisation de l'incendie, étude à base mathématique qui devrait permettre à terme de prédire le comportement d'une installation à partir de la connais-

sance de résultats d'essais sur ses constituants et des conditions d'environnement.

#### 4.2.2 Matériaux et matériels

Une grande divergence est à noter entre les tenants des essais sur matériaux et ceux qui estiment que seuls sont valables les essais sur produits ou matériels.

Une première constatation importante est qu'il n'est pas question, sauf exception, de faire des essais sur de grands matériels ou de grandes structures, pour des raisons évidentes de coût. Mais cet aspect n'est pas le seul qui entre en jeu. En effet, certaines instances (UL notamment) développent l'hypothèse suivant laquelle l'emploi de matériaux de résistance au feu suffisante (suivant des critères définis), assurera à tout matériel constitué de ces produits un comportement satisfaisant. C'est ce qui est appelé procédure de présélection.

Des objections sont généralement faites à cette position pour les raisons suivantes :

- la mise en œuvre d'un matériau peut infléchir substantiellement ses propriétés intrinsèques, déterminées sur des éprouvettes pas toujours représentatives du produit terminé ;
- le fait d'utiliser des matériaux de qualité supérieure à celle réellement nécessaire à une application donnée alourdit exagérément le prix de revient des matériels qu'ils constituent.

#### 4.2.3 Résistance au feu et réaction au feu

Les deux termes font partie d'une terminologie maintenant largement acceptée, tant en France, où elle sert de base à la réglementation, qu'à l'étranger.

La **réaction au feu** « correspond à l'alimentation et au développement de l'incendie provoqué par la combustion d'un produit ».

La **résistance au feu** « correspond à la durée pendant laquelle un produit peut assurer sa fonction malgré l'action de l'incendie ».

Ces deux aspects sont réunis sous le terme général de **comportement au feu**, « c'est-à-dire changement ou maintien des propriétés physiques ou chimiques d'un objet exposé à un feu ».

#### 4.2.4 Présentation des divers types d'essais

Ces précisions données, ce paragraphe regroupe les différents essais que propose le comité 89 aux autres comités de la CEI.

Sauf de rares exceptions, tous les essais décrits font simultanément l'objet d'une norme française et d'une publication internationale à l'identique. Des renseignements détaillés concernant ces normes sont donnés en [Doc. D 2 070].

En outre, il sera fait mention, dans ce qui suit, non seulement des normes CEI enregistrées, mais aussi des documents actuellement à l'étude dont la publication n'interviendra que d'ici un à deux ans. Le mot « futur » suivra en ce cas l'appel du numéro de la norme.

Nous avons classé les essais normalisés, en fonction de leur finalité, en quatre grands types :

- les essais destinés à apprécier l'allumabilité ;
- les essais caractérisant l'inflammabilité ;
- les essais spécifiques de détermination des phénomènes de propagation ;
- les essais destinés à caractériser les conséquences du feu telles que décrites au paragraphe 3.

### 4.3 Essais d'allumabilité

Ce néologisme a été créé pour bien séparer les essais caractérisant le phénomène d'allumage proprement dit, provoqué par un incident électrique, le matériel étant alors *source de l'incendie* des essais dits d'inflammabilité (§ 4.4) qui caractérisent de fait ce qui se passe après que l'objet a été soumis à la source d'inflammation, c'est-à-dire quand le matériel est *victime de l'incendie*.

« L'**allumabilité** est l'aptitude d'un matériau ou d'un produit à brûler avec flammes dans des conditions spécifiées ».

Elle est déterminée par la mesure du temps ou de la température nécessaire pour déclencher l'allumage d'une éprouvette, soumise à une source d'énergie dans des conditions déterminées.

L'objectif initial des instances de normalisation était de présenter des simulations des principaux mécanismes présidant de fait à la genèse du feu dans un matériel électrique : échauffement localisé, mauvais contact, court-circuit. Plusieurs méthodes ont été proposées. Deux méthodes ont été retenues avec une source électrique et thermique d'allumage.

■ Dans la **première méthode**, la source est un fil incandescent, dont le nez recourbé est mis en contact avec la surface de l'objet à tester (figure 3). On détermine la température minimale pour laquelle il y a allumage de l'éprouvette dans un temps de 30 s. Les températures de l'extrémité du fil, mesurées au moyen d'un thermocouple, sont choisies entre 650 °C et 950 °C, par pas de 50 °C.

L'essai s'applique à des matériaux et s'exprime en degrés Celsius (norme CEI 695-2-13).

■ Dans la **deuxième méthode** (d'origine américaine), un fil résistant de faible diamètre est enroulé en spirale autour d'une éprouvette du matériau à tester suivant le montage de la figure 4. Une densité de puissance linéique de 0,26 W / mm alimente la spirale. Le résultat de l'essai s'exprime par le temps nécessaire à l'inflammation de l'éprouvette, avec une durée maximale d'essai de 120 s (norme CEI 695-2-20).

Seule la première méthode a été retenue dans la normalisation française.

■ Deux autres méthodes visent à la détermination de l'allumabilité par d'**autres mécanismes électriques**.

● L'une concerne un essai dit de **mauvais contact**. La genèse de cet essai remonte aux années 1960 et part d'une excellente idée : l'essai reproduit un mauvais contact dont les caractéristiques sont proches de mauvais contacts réels et détermine si, dans des conditions données, le matériau ou le matériel est enflammé par ce mauvais contact. Cet essai, dont la durée maximale est de 30 min, a fait l'objet de critiques concernant sa reproductibilité. C'est pourquoi la future norme prévue pour cet essai (CEI 695.10.5, actuellement 695-2-3), pourrait être finalement abrogée.

● L'autre a pour objet de vérifier si un **arc de puissance**, créé dans des conditions déterminées à la surface d'un objet, peut conduire à l'inflammation du produit. Cet essai est extrait d'une norme américaine et est repris dans certaines normes de matériels comme nous le verrons au paragraphe 5, mais ne fait l'objet d'aucune norme du comité 89.

## 4.4 Essais d'inflammabilité et de propagation

L'inflammabilité est « l'aptitude d'un matériau ou d'un produit à brûler avec flammes dans des conditions d'essai spécifiées ».

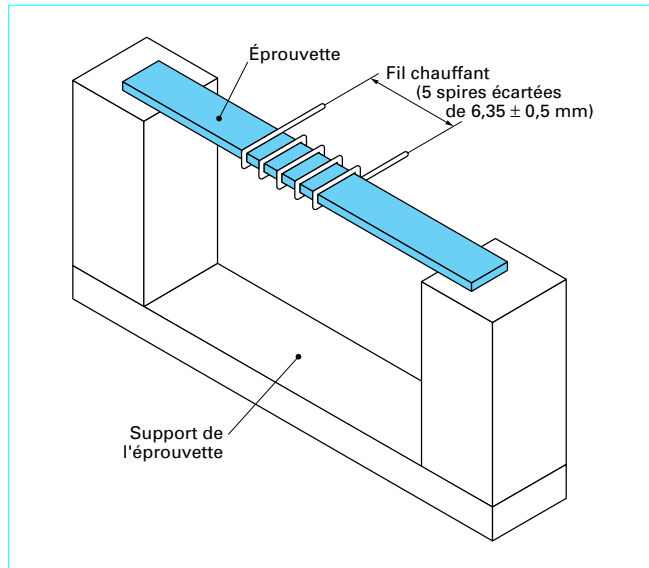


Figure 4 – Dispositif d'essai au fil chauffant

De fait, tous les essais dits d'inflammabilité sont des essais qui combinent le comportement de la flamme après son allumage et la propagation qui suit.

Deux types d'essais entrent dans cette rubrique : les essais dans lesquels la source d'inflammation est électrique et ceux dans lesquels la source est une flamme alimentée par du gaz. La raison de cette dualité est historique : divers comités de normalisation dans le domaine électrique ou hors de ce domaine ont séparément privilégié l'une de ces deux familles et leurs mérites respectifs sont globalement similaires au regard de certains experts.

### ■ Sources électriques

Les modalités d'essai sont celles décrites au paragraphe 4.2 et sur la figure 3 pour les essais d'allumabilité.

On peut signaler que cette méthode est la plus pratiquée pour les essais d'inflammabilité, de sorte qu'elle se trouve recommandée dans diverses normes internationales ou étrangères hors du seul domaine électrique.

L'appareillage est décrit en détail dans la norme CEI 695-2-10. Le domaine d'application concerne soit les matériaux (norme CEI 695-2-12), soit les produits finis (norme CEI 695-2-11).

Sauf spécifications contraires, le spécimen est considéré comme ayant subi l'essai avec succès lorsque, après application d'une durée de 30 s du fil incandescent :

- il n'y a pas de flamme ou d'incandescence soutenue ;
- les flammes ou l'incandescence du spécimen et de son environnement s'éteignent en moins de 30 s après le retrait du fil incandescent.

Mais les critères particuliers de chaque norme d'application doivent être respectés.

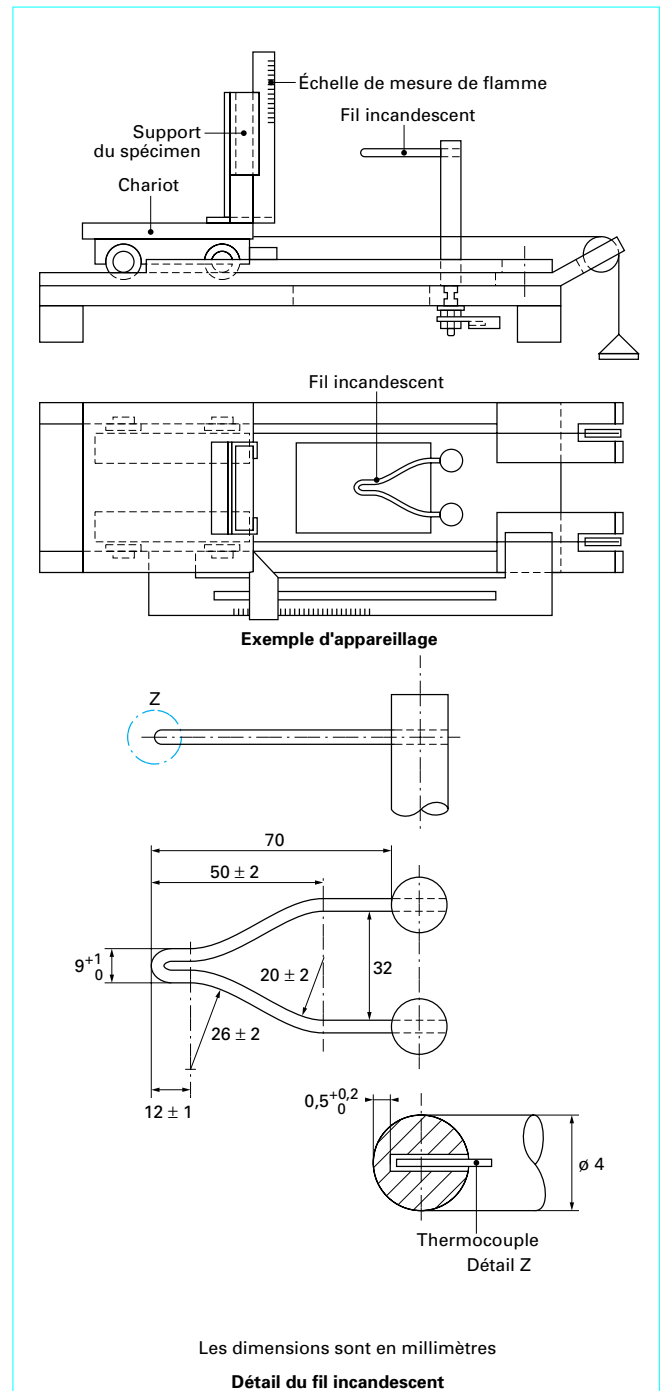


Figure 3 – Dispositif d'essai au fil incandescent

### ■ Sources à flammes

La future norme CEI 695-11 (actuellement 695.2.4) décrit dans ses diverses sections des essais dans lesquels l'inflammation du produit est amorcée par une flamme. Connus et utilisés de longue date, ces essais souffraient d'un manque de reproductibilité et notamment ceux dénommés « essais au brûleur Bunsen ».



Il a paru judicieux au comité 89 de proposer plusieurs sources à gaz de différentes puissances en regroupant des essais de diverses provenances normatives et en leur conférant une qualité plus métrologique. Le but final était d'assurer une meilleure reproductibilité à des essais dont la description était restée, jusqu'alors, relativement empirique (couleurs et hauteurs de flamme en particulier).

La figure 5 donne une description détaillée d'un brûleur et de son alimentation. La nouveauté apportée à la caractérisation des sources à gaz consiste à définir la flamme d'un brûleur (type Bunsen, par exemple), non plus par sa couleur et sa hauteur comme par le passé, mais par sa puissance, elle-même contrôlée par le temps de fusion d'un fil fusible inséré dans la flamme du brûleur, comme le montre la figure 6. Des essais interlaboratoires ont démontré l'augmentation très notable de reproductibilité apportée par cette méthode d'identification, qui n'est toutefois pas encore introduite dans les différentes normes de produits utilisant des essais à la flamme.

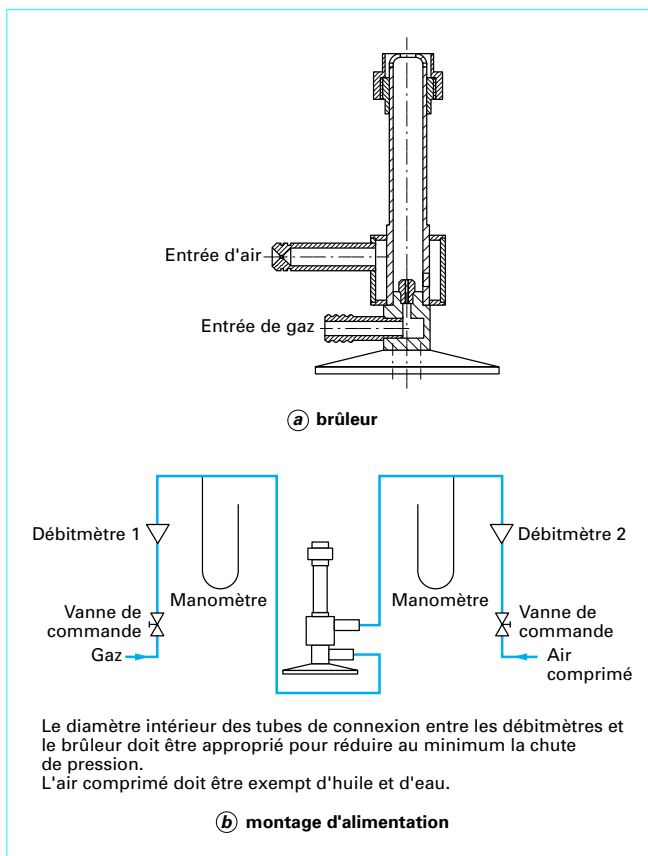


Figure 5 – Schéma d'un brûleur et de son alimentation

Plusieurs sources de puissances différentes ont ainsi pu être mises en place :

- brûleur de 1 kW (future norme CEI 695-11-2), anciennement connu comme brûleur à flamme de 175 mm (de haut) utilisé pour les essais des câbles ;

- brûleur de 500 W, anciennement connu sous le nom de brûleur à flamme de 125 mm ; l'appareillage et la méthode d'étalonnage

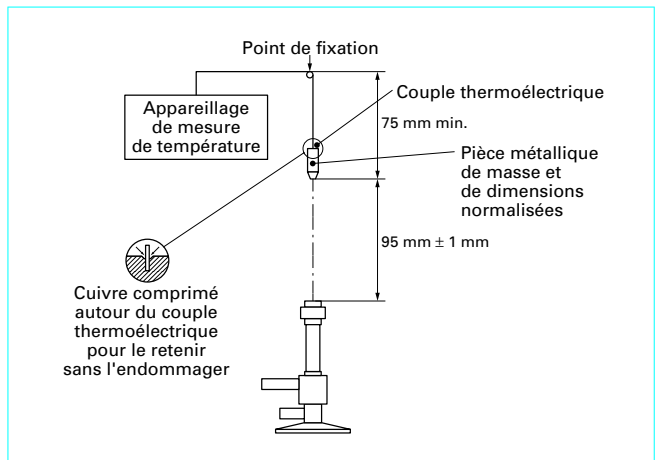


Figure 6 – Dispositif de vérification de la flamme du brûleur

sont décrits dans la future norme CEI 695-11-3 et son application dans la future norme CEI 695-11-20 ;

- brûleur de 50 W, à flamme de 20 ou 25 mm (norme CEI 695-11-4 pour l'appareillage et CEI 695-11-10 pour son application à un essai horizontal ou vertical) ;

- brûleur-aiguille, qui, initialement étudié pour l'essai des composants électroniques, peut s'appliquer à toutes sortes d'objets de petite taille. Sa hauteur de flamme est de 12 mm.

Un autre paramètre important concerne le type de gaz utilisé. Néanmoins, grâce à l'essai dit de confirmation, ce paramètre ne doit plus avoir qu'une importance minime.

Signalons pour mémoire d'autres types de brûleurs d'origine américaine (UL) destinés à des matériaux spéciaux. Leur prise en compte par le comité 89 n'est pas encore finalisée. Ils figurent néanmoins dans certaines normes CEI (norme CEI 950 notamment), comme on le verra au paragraphe 5.

Les divers essais généraux d'inflammabilité présentent des modalités différentes suivant qu'ils s'appliquent à des matériaux ou à des matériels.

S'agissant des matériaux, il convient de citer la norme CEI 707 qui avait été mise au point par le comité 15 « Matériaux isolants » de la CEI. Il s'agit d'un essai d'inflammabilité utilisant le brûleur de 50 W. Il permet de classer les matériaux dans les catégories V0, V1, V2. Cet essai sera réinséré prochainement dans la série des normes 695. A l'heure actuelle, il se trouve cité dans différentes normes de matériels sous la numérotation CEI 707.

Nous indiquerons au paragraphe 5 les principales applications recensées pour les essais sur **matériels** avec le fil incandescent et avec des brûleurs à gaz. On pourra noter combien la coordination a été fructueuse, mais aussi qu'il demeure des disparités de philosophie suivant les matériels, c'est-à-dire plutôt suivant ceux qui établissent les règles qui s'y réfèrent...

## 4.5 Essais sur les effluents du feu

Les essais correspondants concernent les trois familles de risques évoquées au paragraphe 3.

La normalisation CEI relative aux différents sujets traités dans cette rubrique a notablement changé de principe. Elle s'oriente de façon nette sur une présentation des principales méthodes disponibles pour atteindre le but recherché, plus qu'en la présentation d'une méthode unique. La partie « Présentation de méthodes » est

en général précédée d'une partie « Généralités » qui expose le problème.

Elle est souvent suivie d'une ou de plusieurs parties destinées à guider l'utilisateur sur l'interprétation des résultats. L'utilisateur peut être alors soit un organisme individuel qui se réfère au catalogue et choisit la méthode qui lui paraît la mieux appropriée, soit un autre comité de la CEI traitant d'un produit électrotechnique ou électrique déterminé. Un changement est donc en train de se produire et les références données à la date de parution de cet article sont susceptibles de changements à court terme. De même, certains projets à l'étude pourraient être notablement modifiés.

#### 4.5.1 Opacité

Les essais sont définis dans la série des documents CEI 695-6 (Guide et méthodes d'essai pour l'évaluation des dangers d'obscurcissement de la vision par les fumées provenant de produits électrotechniques impliqués dans les feux) (cf. [Doc D 2 070]).

La partie « Généralités » présente de façon plus scientifique que normative les raisons de l'obscurcissement de l'atmosphère entourant un feu couvant ou déclaré, et insiste sur différents aspects relatifs à l'ensemble des méthodes. Pratiquement, l'obscurcissement est dû à la présence de particules ou d'agglomérats de plus grande taille de ces particules. Les conditions dans lesquelles se produit le feu sont classées en trois familles principales :

- sans flammes (pyrolyse ou oxydation) ;
- avec flammes, en début d'incendie ;
- avec flammes dans un feu complètement développé.

Le rôle de la circulation d'air sur l'obscurcissement est fondamental.

Compte tenu des différentes situations existantes, il n'est pas possible de retenir un scénario unique censé représenter toutes les conditions.

Partant de ces constatations, les méthodes recensées sont divisées en **méthodes statiques** (chambre close) ou **dynamiques** avec circulation et admission d'air ainsi qu'en méthodes à **petite, moyenne et grande échelle**. Pratiquement, les méthodes statiques ne sont appliquées qu'à petite échelle alors que tous les cas sont envisageables et même existent pour les méthodes dynamiques. Les résultats sont exprimés soit par la masse des particules (rarement utilisée semble-t-il), soit par une détermination de l'atténuation d'une source lumineuse (généralement monochromatique) produite par la fumée après un certain temps d'essai. Il est bien entendu que les résultats dépendent de nombreux paramètres et qu'il faut bien se garder de comparer les résultats obtenus par des méthodes différentes, même s'ils s'expriment avec les mêmes unités.

Les principales méthodes faisant actuellement l'objet de normalisation, et utilisées à l'occasion dans le domaine électrique, sont les suivantes.

#### ■ Essai à la chambre NBS

C'est un essai statique, d'origine américaine, pratiqué dans une chambre de 0,5 m<sup>3</sup> avec un flux thermique de 25 kW/m<sup>2</sup>. Le résultat s'exprime par la densité optique spécifique D<sub>s</sub> :

$$D_s = f(I_0/I)$$

avec  $I$  intensité lumineuse du rayonnement avec fumée,  
 $I_0$  intensité lumineuse du rayonnement sans fumée.

Cet essai ne s'applique qu'à des éprouvettes de matériaux et a actuellement tendance à être remplacé par une méthode analogue normalisée par l'ISO.

#### ■ Essai à la chambre cubique de 3 mètres de côté

Il a été normalisé pour l'essai de câbles comportant des échantillons de grandes dimensions.

#### ■ Essai dans un tunnel

Il est utilisé comme essai de réception des câbles dans les pays d'Amérique du Nord.

#### ■ Essai statique à petite échelle

C'est finalement un essai statique à petite échelle qui est recommandé pour l'essai de matériaux et fait l'objet des parties 6-30 et 6-31 de la norme CEI 695. Tous ces documents sont encore à l'étude.

### 4.5.2 Toxicité

Tous les documents normatifs sont réunis dans la publication CEI 695-7 (Guide sur la minimalisation des risques dus à des feux impliquant des produits électrostatiques) (cf. [Doc D 2 070]).

On retrouve la même subdivision normative qu'au paragraphe précédent. La partie « Généralités » insiste, comme c'était le cas pour la norme 695-6 (Opacité), sur les différences de toxicité qui peuvent résulter de variantes dans le scénario feu plus que de la nature du matériau lui-même.

Une difficulté supplémentaire concerne la façon dont peuvent être déterminés les risques toxiques : les essais sur animaux pratiqués à une époque sont en passe d'être proscrits. Ils ont néanmoins pu montrer que, pour un scénario d'incendie donné, les risques liés à l'augmentation de la température ou à l'appauvrissement en oxygène de l'air étaient souvent plus importants que ceux dus à la présence de produits toxiques.

Les tendances récentes se basent plutôt sur l'analyse des gaz – ou seulement de certains gaz – émis et sur les notions de doses létales édictées par d'autres organismes.

Il est généralement considéré que les effluents du feu mettant en œuvre des produits électrotechniques ne représentent pas un potentiel toxique plus élevé que celui des autres produits.

Néanmoins, le document 695-7-4 « Effets toxiques exceptionnels » a été publié pour répondre aux critiques visant certains matériaux spécifiquement utilisés dans l'industrie électrique. Il s'agit de polytétrafluoroéthylène, de produits halogénés et de polychlorodiphényles, liquides antérieurement utilisés dans les transformateurs et encore présents dans certains d'entre eux.

Une méthode d'essai, dite essai de puissance toxique, est décrite dans la norme 695-7-50. Son schéma de principe est reproduit en figure 7.

Elle s'applique à des éprouvettes de matériaux découpées en menus morceaux. Ces morceaux sont introduits dans un four tubulaire sur un plateau porte-échantillon circulant à une vitesse déterminée cependant que de l'air circule dans le four à un débit donné au moyen d'une pompe d'aspiration. L'effluent gazeux est introduit dans une chambre de mesure et de mélange avant d'être évacué. Les principaux paramètres de l'essai sont : la température du four et les débits d'air primaire et secondaire. Leur variation doit permettre de prendre en compte, dans une certaine mesure, différents scénarios mais, bien entendu, pas tous. Notamment, les résultats d'essai relevés lorsqu'il y a un feu couvant peuvent être extrêmement différents de ceux trouvés lors d'un scénario avec flammes.

Précisons un point de vocabulaire ; il convient de ne pas confondre :

le **risque toxique** : « possibilité de lésions ou de perte de la vie par exposition à des produits toxiques » et la **puissance toxique** : « mesure de la quantité de produit toxique requise pour obtenir un effet toxique spécifique ».

Plus petite est la quantité requise, plus grande est la puissance.

Les résultats s'expriment en termes de concentration en gaz des produits de décomposition suivants : CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, cyanure d'hydrogène, NO<sub>x</sub>, HCl, SO<sub>2</sub> notamment.

C'est à partir des résultats de ces essais qu'un projet (695-7-3), encore au stade d'étude, propose l'évaluation et l'interprétation des

résultats d'essai en termes de danger toxique (le projet a pour origine des documents préparés par l'ISO).

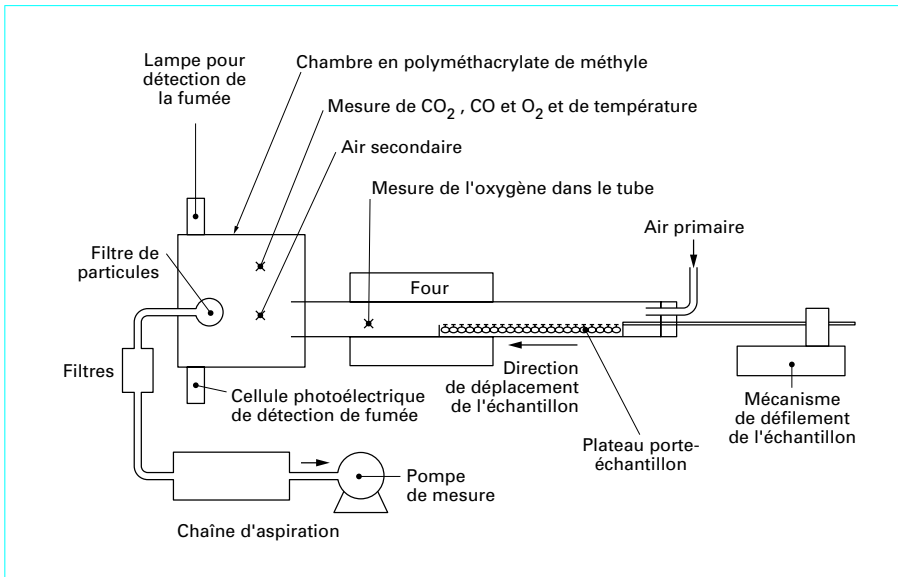


Figure 7 – Dispositif de mesure de produits de décomposition et, éventuellement, de l'opacité

#### 4.5.3 Corrosivité

La norme 695-5 (Évaluation des risques potentiels de corrosion provoqués par les effluents du feu) expose, dans sa première partie : « Guide Général » (695-5-1), la notion de cible de corrosion : partie de matériel ou de bâtiment dont les performances sont susceptibles d'être sérieusement affectées par une exposition aux effluents du feu. Les cibles utilisables peuvent être soit un produit électrotechnique réel, soit un matériau de référence, par exemple une surface de cuivre dont les changements de propriétés serviront de base à l'évaluation de la corrosion. Une autre approche consiste à apprécier la corrosivité de façon indirecte par la mesure de la conductivité ou du pH d'une solution dans laquelle sont dissous les gaz et vapeurs émis par la combustion du produit à tester.

La deuxième partie (695-5-2) effectue un recensement des différentes méthodes utilisables.

Quatre **méthodes directes** emploient une cible conventionnelle. L'une d'entre elles, basée sur un projet français, apprécie la variation de la résistance électrique d'un circuit imprimé refroidi dans une ambiance humide et soumis aux effluents du feu d'un échantillon de matériau porté à haute température. Deux autres méthodes s'appliquent directement sur les produits, mais sont considérées plutôt comme des méthodes qualitatives.

Mais les méthodes les plus utilisées sont des **méthodes indirectes**. L'une d'elles a fait l'objet de la norme CEI 754 publiée et utilisée par le comité Câbles. L'autre est la norme française C 20-453 de 1985, très voisine de la précédente. Ces méthodes diffèrent notamment par la température à laquelle est soumis l'échantillon pendant sa combustion. La figure 8 donne un exemple de l'appareillage d'essai.

On considère généralement que les méthodes directes souffrent d'un manque de **reproductibilité**, tandis que les méthodes indirectes, qui ont fait l'objet de nombreux essais interlaboratoires, ont une reproductibilité satisfaisante mais sont critiquées pour leur **représentativité** insuffisante.

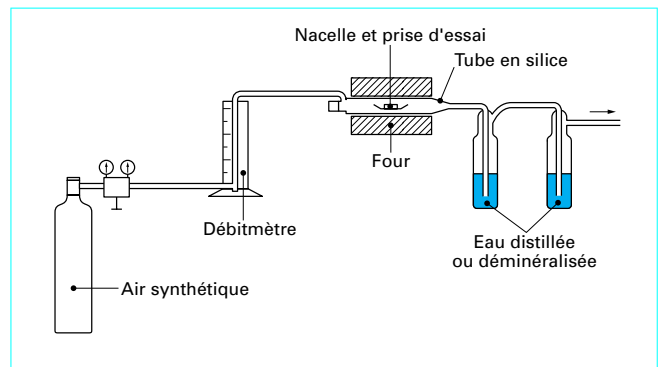


Figure 8 – Dispositif de détermination indirecte de la corrosivité des fumées

La figure 9 présente l'évolution des différents facteurs de risque de toxicité et d'opacité au cours du développement de l'incendie.

#### 4.6 Extension de la normalisation

Initialement destinée à la production de méthodes d'essai relativement simples et de durée limitée, la normalisation CEI dans le cadre du comité 89 a, au cours des dernières années, considérablement étendu son domaine d'activité, sous l'influence notamment de délégués ayant des connaissances des travaux de l'ISO ou de grands organismes de recherche, aux États-Unis en particulier. Aucun des documents inclus dans cette rubrique n'est encore arrivé au stade de la publication, mais il semble utile dès maintenant de donner un aperçu de ces nouvelles tendances.

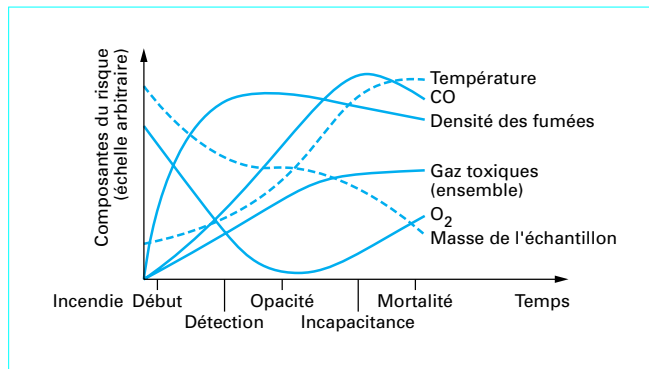


Figure 9 – Évolution en fonction du temps des facteurs de risque, au cours d'un incendie

#### 4.6.1 Dégagement de chaleur (*heat release*)

La future partie 8 de la publication 695 qui a pour titre Directives et méthodes d'essai pour la détermination des taux de dégagement de chaleur des produits électrotechniques en présence d'incendie comporte deux sections : la section 1 Directives Générales et la section 2 Résumé des méthodes d'essai.

Il s'agit là d'un futur rapport technique de la CEI.

Dans ces méthodes, l'échantillon, matériau ou câble, est exposé à une énergie radiante déterminée (flux de l'ordre de 50 ou 100 kW/m<sup>2</sup>), avec ou sans allumage piloté par une petite flamme. La figure 10 donne le schéma de principe et la figure 11 la photographie du calorimètre de Factory Mutual, encore appelé « calorimètre de Tewarson ». La vitesse de production de chaleur par l'échantillon est déterminée en mesurant la consommation d'oxygène au cours de l'essai. Un avantage de ces familles de méthodes, déjà très développées aux États-Unis, est qu'elles permettent, en un seul essai, certes plus appareillé que ceux décrits précédemment, de déterminer bien d'autres caractéristiques et, notamment, le temps nécessaire à l'allumage (allumabilité), la perte de masse et l'opacité des fumées comme le montre la figure 12.

Parmi ces méthodes, seuls sont présentés : le *cône calorimètre*, la méthode dite de Tewarson, déjà citée, et celle du calorimètre de l'Ohio State University. Le fait que ce document soit prévu comme « Rapport technique » indique que aucune de ces méthodes ne pourra servir de méthode contractuelle internationale. En revanche, elle se développera très certainement pour la conception et la mise au point de nouvelles matières. Des essais réalisés par le LCIE ont été publiés [9] et peuvent aider à comprendre l'intérêt de telles méthodes pour l'essai de matériaux mais aussi de câbles. En outre que l'organisme américain Factory Mutual utilise un de ces appareils pour l'essai de réception de nouveaux câbles.

#### 4.6.2 Essai de propagation de la flamme en surface (future norme 695-9)

Le risque du feu augmente lorsque le front de flamme se déplace au-delà de la zone d'allumage, conduisant à un embrasement et, en phase ultime, à un embrasement généralisé (*flashover*).

Plus encore que pour les autres aspects, la détermination de la propagation de la flamme dépendra considérablement du scénario du feu retenu. Ici encore, on devra choisir entre les essais sur matériaux et sur matériels. Si possible, l'appareillage d'essai doit être assez vaste pour pouvoir essayer, non seulement des matériaux, mais aussi des produits électrotechniques.

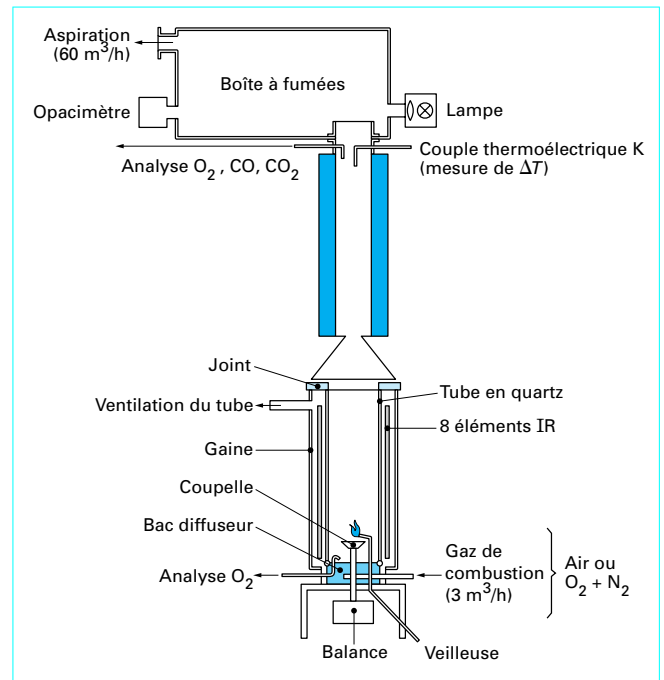


Figure 10 – Schéma d'un calorimètre (calorimètre de Tewarson)

Les méthodes de détermination consistent à soumettre l'échantillon, quelle que soit sa nature, à l'action d'un flux de chaleur déterminé. Les sources d'allumage pourront être soit internes au matériel électrotechnique (matériel source), soit extérieures (matériel victime).

Les techniques de mesure recommandées ont pour objet de déterminer la longueur du résidu carbonneux à l'issue de l'essai. Dans la méthode du front de flammes, on détermine visuellement la longueur parcourue par la flamme. On estime que plus la vitesse de propagation est élevée, plus la production de chaleur est grande et, donc, plus le risque de feu est élevé.

## 5. Normalisation spécifique à divers matériels électriques

Comme nous l'avons indiqué préalablement, chaque comité de produit électrique doit lui-même définir les essais au feu à appliquer sur le matériel dont il est responsable. Il peut soit utiliser ses propres méthodes, notamment lorsque celles-ci ont été créées antérieurement à la publication des documents du comité 89, soit, si possible, adopter les normes préparées par ce dernier. Dans ce cas, il lui incombe de définir :

- ① les **paramètres spécifiques** des essais à appliquer sur ses matériels, en d'autres termes la sévérité de chaque essai ;
- ② les **conditions à retenir** pour accepter ou rejeter le produit en essai.

En résumé, pour une même méthode d'essai, les conditions d'application ou de sélection pourront être très différentes d'un matériel électrotechnique à un autre.



Figure 11 – Photographie du calorimètre de Tewarson (appareil ouvert) (cliché le Square des photographes)

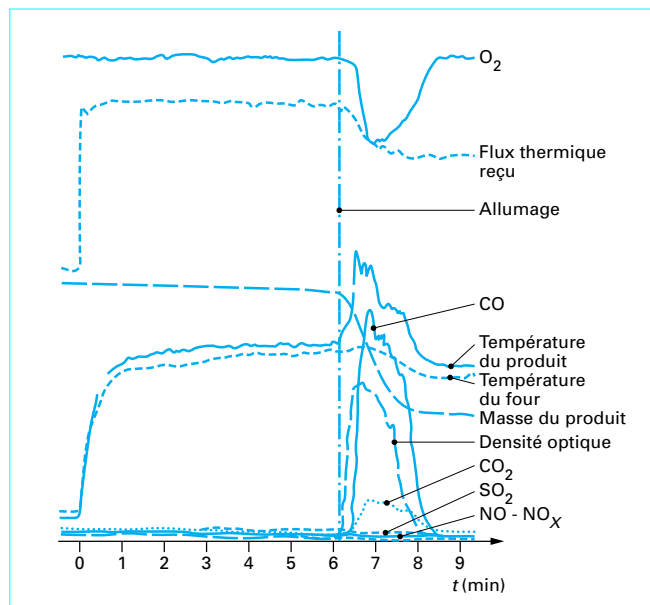


Figure 12 – Exemple de courbes obtenues avec le calorimètre de Tewarson

Comme certains matériels sont, de par leur constitution ou leurs conditions d'utilisation, plus porteurs de risques que d'autres, le développement de méthodes spécifiques se trouve inégalement réparti suivant les comités. Nous présentons ici les essais au feu de comités qui se sont considérablement investis à ce sujet. On pourra noter les divergences en matière d'essai ou même de philosophie, inhérentes, non seulement au type de matériel, mais aussi aux origines nationales des normes initiales.

Dans les paragraphes suivants seront examinés en priorité les matériels pour lesquels le comportement au feu est jugé d'importance capitale.

Seules seront présentées les normes publiées à la date de cet article (cf. [Doc. D 2 070]). **Il appartiendra au lecteur de vérifier qu'elles ne sont pas remplacées par d'autres plus récentes.**

## 5.1 Câbles électriques

Dans des locaux industriels comme dans des grands ensembles d'habitation ou commerciaux, les câbles électriques cheminent sur de grandes longueurs et traversent des cloisons qui, sans les câbles, pourraient isoler de façon presque correcte des locaux contigus. Le câble en feu qui traverse ces parois sera un excellent vecteur de propagation. De plus, les câbles sont généralement réunis en faisceaux et représentent de ce fait une masse linéique importante en charge organique. Enfin, à la suite d'une politique menée aux environs de 1975, il avait été jugé plus sûr d'utiliser des câbles à base de produits halogénés à comportement au feu amélioré, mais dont les risques en matière d'opacité ou de corrosivité des fumées se sont révélés d'une importance capitale.

Tous ces éléments ont amené le comité 20 (Câbles d'énergie) de la CEI à créer le sous-comité 20C (Caractéristiques de combustion des câbles électriques) dont le rôle unique est la normalisation des risques du feu, en évolution constante.

À l'heure actuelle, les principaux essais concernent plus spécifiquement les aspects de propagation, les effluents du feu ainsi qu'un essai de résistance au feu.

### ■ Résistance au feu

Cet essai, qui est repris, comme on le verra au paragraphe 7, dans la réglementation, consiste à soumettre le câble à l'action d'un brûleur à gaz pour le porter à une température de 750 °C. Le câble est considéré comme *résistant au feu* si, à l'issue d'une période de 3 heures de maintien dans ces conditions, il n'y a pas fusion des fusibles de protection et si le câble supporte sa tension nominale.

### ■ Réaction au feu

En dehors de cet essai de résistance au feu, les autres essais de réaction au feu normalisés par le sous-comité 20C ont été publiés ou sont en voie d'être révisés, à la suite d'une étroite collaboration avec le comité 89. Ils comportent notamment les deux premières parties (1 et 2) de la norme 332 dans lesquelles un échantillon de câble de longueur relativement notable (600 mm) est soumis à l'action d'un brûleur à gaz conforme à la norme CEI 695-11-2 ou brûleur de 175 mm. Ces essais concernent essentiellement les caractéristiques de **propagation de la flamme**, comme d'ailleurs le dernier essai de la norme 332-3 qui est un essai important puisque des nappes de câbles de 3,5 m de longueur sont disposées dans une cabine, dénommée cabine CEI, de 2 × 1 m de section et de 4 m de haut. Un débit d'air de 5 000 L/h et deux brûleurs à débit contrôlé de  $74 \times 10^6$  J/h sont les principales conditions imposées de l'essai qui dure 45 min. Le résultat de l'essai s'exprime par la longueur de la partie carbonisée qui doit être inférieure à 2,5 m.

La publication CEI 754 déjà mentionnée précédemment présente un essai utilisant la méthode indirecte de détermination de la **corrosivité** par mesure du pH et de la conductivité d'une solution où ont barboté les gaz émis par un échantillon de câble porté dans un four à une température de 800 °C. Les limites indiquées dans cette

norme sont de  $\geq 4,3$  pour le pH et de  $\leq 10 \mu\text{S}$  pour la conductivité. Mais des spécifications particulières peuvent présenter d'autres valeurs.

## 5.2 Matériels électrodomestiques

C'est pour des raisons différentes que la CEI a été amenée à créer un comité spécialement chargé de la sécurité des matériels électrodomestiques. Il s'agit, en effet, de matériels à utilisation grand public susceptibles d'être mis entre toutes les mains, même celles de personnes peu expérimentées, et qui, donc, présentent des risques de mauvaise utilisation.

Parmi les « *problèmes de sécurité* » traités figurent les aspects de **résistance à la chaleur** qui sont étudiés maintenant par le comité 89 et feront l'objet des futures normes 695-10-1 à 695-10-4, dont on trouvera les titres en [Doc. D 2 070].

Dans ce comité, deux tendances s'opposent : essais de matériaux (d'influence américaine) et essai sur matériels (d'influence européenne). Il est assez évident que la tendance qui voudrait mettre les deux techniques à équivalence est assurément critiquable.

La sélection des essais à appliquer est faite en fonction du rôle électrique des pièces dans le matériel :

- parties actives retenant des connexions en position ;
- parties externes ou autres parties ;
- intensité supérieure ou inférieure à 0,5 A ;
- matériel tenu à la main...

Les principaux essais retenus dans la norme CEI 335-1 sont les suivants :

- essais à la bille à 75 ou 125 °C ;
- essais au fil incandescent à des températures comprises entre 550 et 950 °C suivant la norme 695-2-11 avec une durée d'application de 30 s ;
- essais au brûleur-aiguille suivant la future norme 695-11-7 ;
- essai de mauvais contact suivant la norme 695-10-5 ;
- essai de combustion suivant la norme 707.

Finalement, pour connaître précisément le type d'essai à utiliser pour un matériel donné, il faut se référer à l'une des nombreuses parties spécifiques de la publication 335.

## 5.3 Matériels de traitement de l'information

Le comité 74 responsable de « Sécurité et rendement énergétique des matériels informatiques » est lui aussi concerné par des matériels d'emplois très divers, surveillés ou non. Les essais au feu qui relèvent de sa juridiction sont fondés sur une philosophie assez différente et mettent en priorité l'emploi de matériaux essayés essentiellement au moyen de flammes à gaz. Ces méthodes sont très voisines de celles publiées par les Underwriter's Laboratories (UL) et font appel aux fameuses catégories de résistance au feu V0, V1 ou V2. Comme dans le cas précédent des matériels électrodomestiques, les conditions d'applications dépendent de l'endroit où sont situés les matériaux au sein du matériel et de leur fonction.

En résumé, les essais décrits dans la norme CEI 950 sont les essais suivants applicables **sur matériaux** :

- essai d'inflammation au fil chaud. Il s'agit de l'essai d'allumabilité de la norme 695-2-20 ;
- essai par amorçage d'arc à courant élevé ;
- essais d'inflammabilité pour classer les matériaux V0, V1 ou V2, les matériaux cellulaires HF1, HF2, ou HFB, les essais d'inflammabilités HB ou les essais d'inflammabilité 5B. Il s'agit, dans cette dernière catégorie, d'essais à la flamme non encore unifiés avec les

essais de la norme 695-11, mais qui pourraient l'être prochainement.

En outre, trois essais sont à réaliser sur des **pièces de matériels** de dimensions importantes que sont les enveloppes de matériels mobiles de masse totale inférieure ou supérieure à 18 kg (2 essais différents). En variante, des essais suivant la norme 695-2-11 peuvent aussi être choisis.

Figure enfin dans cette norme 950 un essai à l'huile chaude enflammée versée sur l'enveloppe au moyen d'une louche!

## 5.4 Téléviseurs

Ces matériels ont été, à une époque, accusés d'être la source d'incendies fréquents dans des intérieurs domestiques, ce qui a amené les constructeurs à faire grande diligence pour tester les parties principales des enveloppes correspondantes, parfois voisines d'éléments combustibles tels que rideaux ou autres constituants d'ameublement.

C'est la norme CEI 65 qui, dans son paragraphe 20, décrit les essais de résistance au feu des récepteurs de télévision.

Cette norme, datée de 1985, conserve semble-t-il des essais anciens tels qu'un essai vertical de combustibilité (§ 4.4), très inspiré de normes UL, pour les matériaux dont sont issues les cartes imprimées et un essai au brûleur-aiguille également appliqué aux cartes imprimées. Quant aux matériaux constituant les enveloppes, ils doivent subir un essai horizontal de combustibilité. La vitesse de propagation mesurée sur l'éprouvette ne doit pas être supérieure à 40 mm/min.

## 5.5 Transformateurs

Les transformateurs de puissance sont pratiquement tous remplis d'huile minérale, qui joue le rôle de liquide de refroidissement et d'isolant électrique, employée seule ou en association avec du papier imprégné. Les huiles correspondantes doivent être conformes aux exigences de la norme CEI 296.

En revanche, en ce qui concerne les transformateurs dits de distribution, qui peuvent être situés dans des locaux proches d'habitations ou dans des immeubles, la réglementation (§ 7) a amené à interdire, dans certains lieux, l'usage de transformateurs à huile. Des alternatives ont été trouvées dans le passé avec des transformateurs à diélectrique chloré, maintenant prohibé dans les matériels neufs, puis avec les transformateurs à diélectrique silicone. L'interdiction d'utilisation des diélectriques chlorés a amené les pouvoirs publics responsables de la réglementation à établir un système de classification des liquides, qui fait l'objet de la norme française C 27-300. Ce système est basé sur le point de feu (classes : O, K et L) et sur le pouvoir calorifique inférieur (classes 1, 2 et 3). A partir de cette classification, des règles d'installation ont été édictées qui sont d'autant plus sévères que le diélectrique liquide a de moins bonnes caractéristiques de comportement au feu. Plus récemment ont été construits des transformateurs de type sec pour la distribution, donc sans aucun diélectrique liquide. L'essai de ces matériels dans une cabine de même type que celle utilisée pour les câbles d'énergie a été réalisé et pourrait être normalisé.

## 6. Normalisation en matière de feu hors du domaine électrique

La présentation précédente, dans le domaine de la normalisation, a été basée successivement sur les travaux de la CEI au sein du comité 89 puis dans divers autres comités traitant de matériels électriques. Cependant, de nombreuses autres instances, en France comme au plan international, traitent de sujets analogues et la communauté électrique se doit d'être informée de ce qui se passe dans d'autres sphères avec lesquelles elle se trouve souvent en relation étroite.

Comme il est détaillé dans [6], deux grands organismes internationaux de normalisation coexistent, la CEI qui concerne exclusivement le matériel électrique et l'ISO (*International Organization for Standardization*) qui traite de tous les sujets, hormis celui du matériel électrique.

De façon analogue à ce qui a été présenté pour la CEI, la normalisation en matière de feu de l'ISO est régie de façon générale par le comité 92 « Essais au feu sur les matériaux de construction et structures » qui a lui aussi un rôle de pilote et par divers comités de produits.

Fort heureusement, de nombreuses passerelles ont été établies, avec plus ou moins d'efficacité, entre ces différents groupes car, en ce domaine, il serait impossible d'ignorer ce qui se passe dans d'autres instances.

Les activités de l'ISO 92 sont très étendues et leur présentation sortirait du cadre de cet article. Signalons toutefois que, par le biais de représentations nationales, américaines notamment, des emprunts aux documents de travail de l'ISO 92 ont été faits par le comité CEI 89, notamment pour les essais décrits au § 4.6.

Parmi les différentes autres instances de normalisation de l'ISO ayant des activités en matière de feu, il y a lieu de présenter d'abord le comité 61 (Matières Plastiques) qui a créé lui aussi un sous-comité « Feu ». Grâce à cette structure et à l'efficacité personnelle de représentants, français notamment, de nombreux essais du comité 89 ont été adoptés à peu de détails près par le comité 61, cependant que d'autres essais étaient conjointement modifiés à fin d'unification. Il convient de remarquer combien cette liaison a été utile. En effet, les constructeurs français de matériels électriques peuvent aisément définir leurs exigences aux fabricants de matières plastiques et recevoir ainsi des produits appropriés à leurs besoins car ils parlent un langage commun.

Les essais du comité 61 de l'ISO comportent, comme ceux de la CEI, des essais à la flamme, essai vertical ou horizontal, les essais au fil incandescent et au brûleur-aiguille, ainsi que tous les essais des effluents du feu. En outre, la détermination du débit calorifique au moyen du cône calorimètre est en cours de normalisation (§ 4.6).

Il faut également mentionner la détermination de l'indice d'oxygène, essai ayant pour origine la NASA. C'est un essai tout à fait particulier qui procède de l'allumabilité comme de l'inflammabilité. Le résultat de l'essai s'exprime par la teneur minimale en oxygène qui permet à l'échantillon de brûler dans des conditions déterminées. Les chiffres obtenus pour l'ensemble des matériaux se situent entre 15 et 70 %, les valeurs élevées étant les meilleures. D'autres comités sectoriels français (aviation, automobile, bâtiment...) de normalisation préconisent encore de nombreux autres modes d'essai sur les matières plastiques dont on trouvera la description dans [2].

Deux autres comités ISO, TC 38 (Textiles) et TC 45 (Élastomères), traitent également de l'inflammabilité sur matériaux. Il ne semble pas y avoir de retombées de cette normalisation dans le domaine électrique.

La figure 13 représente schématiquement les activités de normalisation internationale en matière de feu.

## 7. Réglementation

La réglementation française est édictée par divers ministères. Chacun de ceux qui sont concernés par les matériels électriques prépare des dispositions relatives aux risques de feu, mais aucun texte ne se réfère uniquement à ce type de risques. Nous nous bornerons à rappeler les principales familles de règlements dans lesquels se trouvent des aspects feu dans le domaine électrique.

En général, les règlements français font appel, pour les essais, à des normes françaises souvent, mais pas toujours, identiques aux normes CEI énumérées plus haut. Ce paragraphe ne saurait donc donner une vue exhaustive de la situation.

Le ministère de l'Intérieur s'est particulièrement préoccupé de deux aspects relatifs à la sécurité des personnes pour :

- les établissements recevant du public (ERP) pour lesquels les risques d'incendie et de panique sont les points principaux considérés. Une attention particulière est apportée aux différentes catégories de conducteurs selon leur comportement au feu, à l'appareillage, aux luminaires et aux blocs autonomes d'éclairage de sécurité (blocs à lampes à incandescence et blocs à lampes à fluorescence) ;
- les immeubles de grande hauteur (IGH) ; les documents correspondants sont souvent empruntés aux règlements des ERP, mais avec parfois des clauses particulières plus détaillées que dans ces derniers. Des clauses relatives aux types de transformateurs acceptables dans ces immeubles y sont incluses.

Le ministère du Travail a, lui aussi, édicté des règlements assurant la protection des travailleurs.

### ■ Câbles

Les câbles sont soumis à deux types de réglementation :

- En ce qui concerne la **résistance au feu**, il existe deux niveaux, la catégorie CR2 pour laquelle il n'est pas prévu d'essai de vérification et la catégorie CR1 pour laquelle les câbles doivent répondre à l'essai défini au paragraphe 5.1 de cet article et décrit dans la norme française NF C 32-070.

- Pour la **réaction au feu**, il existe trois niveaux, de sévérité croissante :

- les câbles ordinaires de la catégorie C3 pour lesquels il n'est pas prévu d'essai de vérification ;
- les câbles de la catégorie C2 répondant à l'essai 2-1 de la norme NF C 32-070 ;
- les câbles de la catégorie C1 répondant aux essais des articles 2-1 et 2-2 de cette même norme.

On trouvera les détails de cette réglementation dans l'arrêté du 21 juillet 1994.

### ■ Autres matériels

Les principaux essais utilisés sont l'essai au fil incandescent suivant la norme française NF C 20-455. Ils sont applicables avec des températures s'étageant de 650 à 950 °C, suivant les conditions d'utilisation, aux matériaux constituant les armoires et tableaux, aux blocs autonomes d'éclairage de sécurité, aux luminaires et à l'appareillage.

Une mention particulière est à ajouter à ces informations. Elle concerne les matériels pour atmosphères explosives. On trouvera toutes les informations les concernant dans [7].

Parallèlement à la réglementation française, des directives européennes font également appel à des notions de sécurité en matière de feu. C'est en particulier le cas de la directive Basse tension.





## 9. Conclusion

L'augmentation notable de la quantité de matières organiques dans les matériels électriques, la densification ou la miniaturisation des circuits, ont rendu peu à peu le matériel électrique plus vulnérable et aussi, peut-être, plus susceptible de créer une source d'énergie pour la formation d'un incendie. A ces faits incontestables, la profession tout entière, constructeurs aussi bien qu'utilisateurs, a répondu par une prise de conscience des problèmes de feu dès la conception des produits. Une notable amélioration des connaissances relatives aux problèmes d'incendie, en général, mais surtout une attention constante dans la conception des matériels autant que dans leur emploi ont permis de faire du matériel électrique un matériel sûr. La normalisation, reconnaissant les enjeux développés peu à peu, s'est armée et continue avec acharnement à minimiser les risques. En amont de la normalisation, les aspects de prévention se développent et sont portés même à la connaissance du grand public.

A une époque où les problèmes d'environnement, dans le sens large du terme, font la une des quotidiens et autres journaux, le matériel électrique ne mérite que bien peu les reproches qui lui sont parfois faits. Et cela parce que, dans le domaine électrique, tous les risques ont été pris très au sérieux. On peut maintenant être persuadé que, si le feu est déclaré, ce sera rarement dû à une cause électrique et que la propagation ne sera pas non plus l'affaire des électriciens.

# Problèmes de feu dans le matériel électrique

par **Brigitte FALLOU**

Ancien chef de la division Matériaux-Instrumentation  
au Laboratoire central des industries électriques  
Ancien président de la commission UTE-CEF 89 « Risques du feu »

## Références bibliographiques

### Dans les Techniques de l'Ingénieur

- [1] VOVELLE (C.) et DELFAU (J.L.). – *Combustion des plastiques* AM 3 170 (1997). Traité Plastiques et Composites, vol. AM 1.
- [2] CHESNÉ (L.). – *Essais de réaction au feu* A 3 540 (1988). Traité Plastiques et Composites, vol. AM3.
- [3] d'HOOP (J.M.). – *Sécurité incendie* A 8 890 (1994). Traité Génie industriel, vol. A8.

- [4] AUBER (R.) et ATLANI (C.). – *Prévention des accidents électriques* D 5 100 (1996). Traité Génie électrique, vol. D5I.
- [5] MENGUY (C.). – *Mesure des caractéristiques des matériaux isolants solides* D 2 310 (1997). Traité Génie électrique, vol. D2II.
- [6] BANSSE (M.C.). – *Organisations internationales de normalisation électrique* D 1 130 (1995). Traité Génie électrique, vol. D2I.
- [7] DAVROU (C.). – *Matériels et installations électriques en atmosphères explosibles. Nor-*

*malisation* D 1 190 (1994). Traité Génie électrique, vol. D2I.

- [8] AUBER (R.) et RÉMOND (C.). – *Installations électriques : Installations à basse tension. Choix et mise en œuvre des matériels* D 5 034 (1993). Traité Génie électrique, vol. D5I.

### Revue

- [9] *Revue des Laboratoires d'essais*. Sept. 1990, p. 7-11.

## Réglementation française

### Pour les liquides

L'arrêté du 17 janvier 1989 reprend la classification de la norme NF C 27-300 : arrêté fixant les mesures de prévention des risques d'incendie présentés par l'épandage et l'inflammation des diélectriques inflammables utilisés dans les matériels électriques.

L'arrêté du 2 avril 1991 fait référence à l'arrêté précédent et à la norme NF C 17-300 : arrêté fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

### Pour les câbles

Voir l'arrêté du 4 juin 1973, modifié par l'arrêté du 19 décembre 1975 du ministre de l'Intérieur.

### Pour les autres matériels

Il convient de se référer aux arrêtés concernant les ERP et les IGH.

## Laboratoires

Laboratoire central des industries électriques (LCIE)  
Laboratoire central de la préfecture de Police (LCPP)

Laboratoire national d'essais (LNE)  
Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

## Normalisation

### Publication 695

Les normes relatives à cette publication sont présentées dans le tableau A.

### Normes citées hors de la norme 695

Les normes françaises correspondantes n'ont pas été mentionnées, car elles ne sont pas encore toutes alignées sur les normes CEI dont l'évolution est très rapide. Sauf cas particuliers, les normes françaises relatives au feu sont éditées par l'UTE sous les numéros C26-4.. et C 26-9..

### Normes CEI

CEI 65 1985 Règles de sécurité pour les appareils électroniques et appareils associés à usage domestique ou à usage général analogue reliés à un réseau.

CEI 296	1982	Spécification des huiles isolantes neuves pour transformateurs et appareillage de connexion.
CEI 331	1970	Caractéristiques des câbles électriques résistant au feu.
CEI 332-1	1993	Essais des câbles électriques soumis au feu - 1 <sup>re</sup> partie : Essai effectué sur un conducteur ou câble isolé vertical.
CEI 332-2	1989	Essais des câbles électriques soumis au feu - 2 <sup>e</sup> partie : Essais sur un petit conducteur ou câble isolé à âme en cuivre, en position verticale.
CEI 332-3	1992	Essais des câbles électriques soumis au feu - 3 <sup>e</sup> partie : Essais sur des fils ou câbles en nappes.

**PROBLÈMES DE FEU DANS LE MATÉRIEL ÉLECTRIQUE**

- CEI 335-1 1976 et modificatifs datés de 1984 (4), 1986 (5), 1988 (6) et 1991 (7) Sécurité des appareils électrodomestiques et analogues - 1<sup>re</sup> partie : Règles générales (modifications 1, 2 et 3 incorporées).
- CEI 707 1981 Méthodes d'essai pour évaluer l'inflammabilité des matériaux isolants électriques solides soumis à une source d'allumage.
- CEI 707 1992 Modification à la publication 707 1981.
- CEI 754-1 1982 Essai des gaz émis lors de la combustion des câbles électriques - 1<sup>re</sup> partie : Détermination de la quantité de gaz acide halogéné émis lors de la combustion d'un matériau polymérisé prélevé sur un câble.
- CEI 754-2 1991 Essai sur les gaz émis lors de la combustion des câbles électriques - 2<sup>e</sup> partie : Détermination de l'acidité des gaz émis lors de la combustion d'un matériau prélevé sur un câble par mesurage du pH et de la conductivité.
- CEI 950 1991 Sécurité des matériels de traitement de l'information, y compris les matériels de bureau électriques (modification 1 incorporée).
- CEI 950 1992 Modifications 1 et 2 à la publication 950 1991. et 1993

**Normes françaises**

- UTE C 20-450U 1982 Comportement au feu des matériaux, des composants et des matériels électrotechniques (électriques, électrotechniques, électroniques) : Considérations générales.

- C 20-453 1985 Méthodes d'essais. Détermination conventionnelle de la corrosivité des fumées.

**Normes servant de base à la réglementation**

**Pour les câbles**

- NF C 32-070 nov. 1993 Conducteurs et câbles isolés pour installations. Essais de classification des conducteurs et câbles du point de vue de leur comportement au feu.
- UTE C 32-071U sept. 1985 Essais des câbles électriques soumis au feu - Guide précisant les modalités de l'essai de vérification des conducteurs de faible section de la catégorie C2.
- NF C 32-072 juil. 1994 Essais des câbles électriques au feu - Partie 3 : Essais sur des câbles ou fils en nappes.

**Pour les liquides**

- NF C 17-300 sept. 1995 Conditions d'utilisation des diélectriques liquides. Première partie : risques d'incendie.
- NF C 27-300 août 1988 Classification des diélectriques liquides d'après leur comportement au feu.
- NF EN 61100 déc. 1992 Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur.

**Pour les matériels**

- NF C 20-455 déc. 1989 Essais relatifs aux risques du feu -Méthodes d'essai - Essai au fil incandescent et guide (similaire à CEI 695-2-11).

**Tableau A – Publication 695 (1)**

N° de publication	Titre	Ancien numéro	N° de publication	Titre	Ancien numéro
695	<b>Essais relatifs aux risques du feu</b>	695	695-5-1	Corrosivité. Guide général	695-5-1
695-1	<b>Préparation des exigences et des spécifications d'essai pour l'estimation des risques du feu</b>	695-1	695-5-2	Corrosivité. Résumé des méthodes d'essai	695-5-2
695-1-10	Guide général	695-1-1	695-6	<b>Opacité des fumées</b>	695-6
695-1-21	Amendement n° 1 - Annexe informative : Exemples illustratifs d'estimation des risques		695-6-1	Guide général	695-6-1
695-1-20	Composants électroniques	695-1-2	695-6-2	Résumé des méthodes d'essai	695-6-2
695-1-30	Procédures de présélection	695-1-3	695-6-30	Essai statique à petite échelle	695-6-3
695-1-40	Liquides isolants	695-11-1	695-6-31	Essai statique à petite échelle : Application aux matériaux	695-6-4
695-2	<b>Méthodes d'essais au fil incandescent/chauffant</b>	695-2	695-7	<b>Toxicité</b>	695-7
695-2-10	Appareillage d'essai au fil incandescent	695-2-1/0	695-7-1	Guide général	695-7-1
695-2-11	Mode opératoire de l'essai au fil incandescent pour produits finis	695-2-1/1	695-7-2	Résumé des méthodes d'essai	695-7-2
695-2-12	Mode opératoire de l'essai d'inflammabilité au fil incandescent pour matériaux	695-2-1/2	695-7-3	Utilisation et interprétation des résultats d'essai	695-7-3
695-2-13	Mode opératoire de l'essai d'allumabilité au fil incandescent pour matériaux	695-2-1/3	695-7-4	Effets toxiques exceptionnels	695-7-4
695-2-20	Essai d'allumabilité au fil chauffant pour matériaux ; méthode et appareillage	695-2-1/4 (ex 829)	695-7-50	Essai de puissance toxique	695-7-5
695-3	<b>Procédures d'évaluation</b>	695-3	695-7-51	Essai de puissance toxique : Calcul et interprétation des résultats	695-7-5/0
695-3-1	Revue des essais de caractéristiques de combustion	695-3-1	695-8	<b>Dégagement de chaleur</b>	695-8
695-4	<b>Terminologie</b>	695-4	695-8-1	Guide général	695-8-1
695-5	<b>Corrosivité</b>	695-5	695-8-2	Résumé des méthodes d'essai	695-8-2

(1) Pour des raisons matérielles, la numérotation de la série des normes 695 a été modifiée par la CEI. Le tableau **A** donne la liste des publications du comité 89 avec la numérotation qui apparaîtra en phase définitive. Au moment de la publication de cet article, les normes récentes et les normes qui seront publiées ultérieurement ont directement reçu leur nouvelle numérotation. Celles publiées avant 1995 conservent leur ancienne numérotation jusqu'à la prochaine édition. Nous avons donné dans le tableau **A**, en première colonne, la nouvelle numérotation, en seconde colonne, le titre et, en dernière colonne, l'ancienne numérotation.

Tableau A – Publication 695 (suite)(1)

695-9	Propagation en surface de la flamme	695-9	695-11	Essais à la flamme	
695-9-1	Guide général	695-9-1	695-11-1	Appareillage pour flammes de type à diffusion et de type à prémélange	695-2-4/0
695-9-2	Résumé des méthodes d'essai	695-9-2	695-11-2	Flamme à prémélange de 1 kW : Appareillage	695-2-4/1
695-10	<b>Chaleur anormale</b>		695-11-3	Appareillage pour flammes de 500 W	695-2-4/2
695-10-1	Guide général	695-10-1	695-11-4	Appareillage pour flammes de 50 W	695-2-4/3
695-10-2	Essai à la bille	695-10-2	695-11-7	Appareillage de l'essai au brûleur-aiguille et mode opératoire	695-2-2
695-10-3	Essai de déformation par relaxation des contraintes de moulage	695-10-3	695-11-5	Essai horizontal et vertical à la flamme de 50 W	695-2-4/4
695-10-4	Essai à la bille/essai Vicat - comparaison des données d'essai	695-10-4	695-11-20	Essai à la flamme de 500 W	
695-10-5	Essai de mauvais contact	695-2-3			

(1) Pour des raisons matérielles, la numérotation de la série des normes 695 a été modifiée par la CEI. Le tableau **A** donne la liste des publications du comité 89 avec la numérotation qui apparaîtra en phase définitive. Au moment de la publication de cet article, les normes récentes et les normes qui seront publiées ultérieurement ont directement reçu leur nouvelle numérotation. Celles publiées avant 1995 conservent leur ancienne numérotation jusqu'à la prochaine édition. Nous avons donné dans le tableau **A**, en première colonne, la nouvelle numérotation, en seconde colonne, le titre et, en dernière colonne, l'ancienne numérotation.