

---

---

**Essais de résistance au feu — Éléments de  
construction —**

**Partie 3:**

Commentaires sur les méthodes d'essais et  
application des données d'essais

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

*Fire-resistance tests — Elements of building construction —*

*Part 3: Commentary on test method and test data application*



## Sommaire

1	Domaine d'application .....	1
2	Références normatives .....	1
3	Procédure d'essai normalisé .....	1
3.1	Régimes d'échauffement.....	1
3.2	Four .....	2
3.3	Conditionnement.....	3
3.4	Consommation de combustible et apport technique .....	4
3.5	Techniques de mesure de la pression.....	4
3.6	Procédure après l'échauffement.....	4
3.7	Dimensions des éprouvettes .....	5
3.8	Réalisation des éprouvettes .....	5
3.9	Mise en charge.....	5
3.10	Conditions aux limites et assujettissement .....	6
3.11	Étalonnage.....	8
4	Critères de résistance au feu .....	8
4.1	Objet.....	8
4.2	Capacité portante .....	8
4.3	Étanchéité .....	8
4.4	Isolation .....	8
4.5	Autres caractéristiques .....	9
5	Classement.....	9
6	Fidélité et reproductibilité .....	9
6.1	Fidélité.....	10
6.2	Reproductibilité .....	10
7	Interpolation et extrapolation.....	10
8	Relation entre la résistance au feu et les incendies de bâtiment.....	11
<b>Annexe</b>		
A	Bibliographie .....	13

© ISO 1994

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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.

Organisation internationale de normalisation  
Case postale 56 ● CH-1211 Genève 20 ● Suisse

Imprimé en Suisse

## Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales, mais exceptionnellement, un comité technique peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

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

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

L'ISO/TR 834-3, rapport technique du type 1, a été élaboré par le comité technique ISO/TC 92, *Essais au feu sur les matériaux de construction, composants et structures*, sous-comité SC 2, *Résistance au feu*.

L'ISO 834 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Essais de résistance au feu — Éléments de construction*:

- *Partie 1: Exigences générales pour les essais de résistance au feu*
- *Partie 2: Exigences spéciales pour différents éléments*
- *Partie 3: Commentaires sur les méthodes d'essais et application des données d'essais*

L'annexe A de la présente partie de l'ISO 834 est donnée uniquement à titre d'information.

Page blanche

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO/TR 834-3:1994

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9cce85f2-5d1a-47b8-afae-ceb3a169dfea/iso-tr-834-3-1994>

# Essais de résistance au feu — Éléments de construction —

## Part 3:

### Commentaires sur les méthodes d'essais et application des données d'essais

#### 1 Domaine d'application

Les informations fournies dans la présente partie de l'ISO 834 sont de nature consultative et destinées à conseiller quant à l'utilisation de la méthode d'essai de résistance au feu et à l'exploitation des données obtenues. La présente partie de l'ISO 834 identifie également un certain nombre de données où les mises à jour ultérieures pourront bénéficier des travaux de recherche: sur les phénomènes associés au comportement des ensembles soumis aux essais et leur relation avec les constructions en vraie grandeur, et sur la technologie associée aux techniques d'essai et d'instrumentation.

#### 2 Références normatives

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui en est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de l'ISO 834. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Toute norme est sujette à révision, et les parties prenantes des accords fondés sur la présente partie de l'ISO 834 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des normes indiquées ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur à un moment donné.

ISO 834-1:—<sup>1)</sup>, *Essais de résistance au feu — Éléments de construction — Partie 1: Exigences générales pour les essais de résistance au feu.*

ISO/TR 3956:1975, *Principes d'ingénierie des structures compte tenu du feu, particulièrement en ce qui concerne le rapport entre l'exposition à un incendie réel et les conditions d'échauffement dans l'essai de résistance au feu normalisé (ISO 834).*

ISO/TR 10158:1991, *Principes et analyse servant de base aux méthodes de calcul portant sur la résistance au feu des éléments structuraux.*

#### 3 Procédure d'essai normalisé

Des considérations pratiques imposent d'apporter un certain nombre de simplifications à toute procédure d'essai normalisé pour pouvoir l'utiliser dans les conditions de laboratoire afin d'obtenir des résultats reproductibles et fidèles.

Certains aspects qui entraînent une certaine variabilité sont hors du champ d'application de la procédure d'essai, notamment lorsque des différences dans les matériaux et la construction deviennent critiques. L'utilisateur peut accommoder d'autres facteurs identifiés dans la présente partie de l'ISO 834. Si l'on apporte à ces facteurs l'attention qui convient, la reproductibilité et la fidélité de la procédure d'essai peuvent être améliorées à un niveau acceptable.

##### 3.1 Régimes d'échauffement

La courbe de température normalisée du four décrite dans l'ISO 834-1, paragraphe 5.1.1, n'est pas fondamentalement différente de la courbe temps-température utilisée pour contrôler les fours pendant les 70 dernières années. À certains égards, elle semble avoir été liée aux températures rencontrées lors d'incendies réels de bâtiments, à partir de références telles que le temps de fusion constaté pour des matériaux dont le point de fusion était connu.

Le but essentiel de la courbe de température normalisée vise à assurer des conditions d'essai raisonnablement représentatives d'une exposition à un feu grave, pour lesquelles le comportement de différents éléments de construction puisse être comparé. Il demeure néanmoins important de se rappeler que cette condition d'exposition normalisée ne représente pas nécessairement une véritable situation d'incendie, et qu'elle n'est pas nécessairement représentative du comportement prévu de l'élément de construction soumis à l'essai, dans le cas où il serait confronté à un incendie réel. L'essai classe néanmoins le comportement d'éléments de séparation et de structure des

1) À publier.

constructions à partir de données communes. Il convient également de noter que la résistance au feu est fonction de la durée de l'essai et non pas de la durée d'un incendie réel.

L'ISO/TR 3956 aborde la discussion de la relation entre les conditions d'échauffement en fonction des conditions de temps-température lors d'un véritable incendie et celles de l'essai normalisé de résistance au feu. Ce document présente également une série de courbes de refroidissement.

Il faut noter que la courbe de température normalisée du four peut également être exprimée en termes exponentiels qui approchent de près la courbe exprimée par  $T = 345 \log_{10}(480t + 1)$ , et qui peut être considérée comme préférable pour les besoins du calcul. Cette expression devient alors

$$T = 1\,325(1 - 0,325 e^{-0,2t} - 0,204 e^{-1,7t} - 0,471 e^{-19t})$$

où

$T$  est l'augmentation de la température, en degrés Celsius;

$t$  est le moment auquel l'augmentation de température s'est produite, en heures.

Pour établir l'écart  $d$ , indiqué dans l'ISO 834-1, paragraphe 5.1.2, on peut comparer les aires des courbes représentées par la température moyenne du four en fonction du temps et la courbe normalisée ci-dessus en utilisant un planimètre sur les valeurs tracées ou, par le calcul, en appliquant la formule de Simpson ou la règle du trapèze.

Si le régime d'échauffement décrit dans l'ISO 834-1, paragraphe 5.1.1, constitue la condition d'exposition au feu prescrite par le présent Rapport technique, on constate qu'il ne représente pas de manière appropriée des conditions d'exposition correspondant par exemple à des feux d'hydrocarbures. D'autres normes qui traitent des essais de résistance au feu ne concernant pas les constructions constitueront une représentation plus satisfaisante de ces conditions d'exposition. À titre d'exemple, le régime d'échauffement décrit ci-après a été récemment proposé pour représenter les feux d'hydrocarbures:

$$T = 1\,100(1 - 0,325 e^{-0,1667t} - 0,204 e^{-1,417t} - 0,471 e^{-15,833t})$$

où

$T$  est l'élévation de température, en degrés Celsius;

$t$  est le moment auquel l'élévation de température s'est produite, en heures;

ou, en termes pratiques:

$$T = 1\,100(1 - 0,33 e^{-0,17t})$$

où  $t$  représente le temps, exprimé en heures.

### 3.2 Four

Les conditions d'échauffement prescrites dans l'ISO 834-1, paragraphe 5.1.1, ne suffisent pas en elles-mêmes à assurer que des fours d'épreuve de conception différente soumettent, tous, les éprouvettes aux mêmes conditions d'exposition au feu, et par conséquent, assurent la cohérence des résultats d'essai obtenus à partir de ces fours.

Les thermocouples utilisés pour contrôler la température des fours sont en équilibre thermodynamique avec un environnement influencé par les conditions de transfert thermique par rayonnement et par convection, qui prévalent à l'intérieur du four. Le transfert thermique par convection à un corps exposé dépend de ses dimensions et de sa forme, et il est en général plus important sur un corps de faibles dimensions, comme un fil de thermocouple, que sur un corps important comme une éprouvette. La composante de convection tendra, par conséquent, à exercer une plus grande influence sur la température du thermocouple, alors que le transfert de chaleur à une éprouvette est essentiellement affecté par le rayonnement émanant des flammes et des parois du four.

Le rayonnement gazeux et le rayonnement de surface à surface coexistent à l'intérieur d'un four. La première dépend de la température et des propriétés d'absorption du gaz, tout en étant largement influencée par la composante visible de la flamme du brûleur. Le rayonnement de surface à surface dépend de la température des parois du four et de leurs propriétés d'absorption et d'émission, ainsi que des dimensions et de la configuration du four. La température des parois dépend également de ses propriétés thermiques.

Le transfert de chaleur par convection sur un corps dépend de la différence locale entre la température en surface du corps et celle du gaz, ainsi que de la vitesse de ce dernier.

La chaleur rayonnante des gaz correspond à leur température, et la chaleur rayonnante reçue par l'éprouvette est la somme de celle émanant des gaz et de celle émanant des parois du four. Cette dernière est moindre en début d'épreuve et augmente à mesure que les parois s'échauffent. Les thermocouples prescrits par la présente partie de l'ISO 834 sont de faibles dimensions et se règlent à la température des gaz. Par contre, l'éprouvette est plus sensible au rayonnement.

À partir de la discussion qui précède, il apparaît qu'en dernière analyse, la cohérence entre des laboratoires d'essais utilisant les prescriptions de la présente partie de l'ISO 834 ne sera obtenue que si tous les utilisateurs emploient un matériel conforme à une conception normalisée et idéalisée de four, dont les dimensions, la configuration et les matériaux, les techniques de construction et le type de combustible utilisés sont spécifiés avec précision.

Pour maîtriser les problèmes qui viennent d'être évoqués, une méthode qui peut s'appliquer aux fours existants consiste à revêtir leurs parois de matériaux à faible inertie thermique, et qui suivent facilement la température des gaz du four, tels que ceux dont les caractéristiques sont spécifiées dans l'ISO 834-1, paragraphe 4.2. La différence de température entre le gaz et les parois sera réduite et une plus grande quantité de la chaleur fournie par les brûleurs touchera l'éprouvette par rayonnement à partir des parois, d'où une amélioration de la commensurabilité des résultats donnés par des fours de conceptions différentes.

Lorsque cela est possible, il faudra également revoir la conception des fours existants, afin de disposer les brûleurs et les carneaux de manière à éviter les turbulences et les variations de pression correspondantes qui entraînent un échauffement inégal de la surface de l'éprouvette.

Bien que la conception du thermocouple à utiliser pour mesurer et, par conséquent, pour contrôler l'environnement du four soit précisée dans l'ISO 834-1, paragraphe 4.5.1.1, il est également suggéré d'effectuer un travail expérimental sur l'utilisation éventuelle de thermocouples plus sensibles aux effets combinés du rayonnement et de la convection comme autre moyen de réduire le problème de la variabilité des caractéristiques thermiques des fours d'essai (voir référence [1]).

Enfin, l'un des «outils» les plus efficaces pour ajuster la conception des fours existants et d'améliorer la cohérence entre eux, consiste à recourir à une procédure d'étalonnage (voir 3.11).

### 3.3 Conditionnement

#### 3.3.1 Correction de la teneur en humidité non-standard des matériaux en béton

Au moment de l'essai, l'application de l'ISO 834-1, paragraphe 6.4, permet à l'éprouvette de présenter une teneur en humidité cohérente avec celle prévue en exploitation normale.

Sauf dans les bâtiments pourvus d'une climatisation continue ou d'un chauffage central, les éléments de construction sont exposés à des atmosphères qui, à des degrés divers, tendent à suivre le cycle des conditions de température et/ou d'humidité de l'atmosphère à l'air libre. La nature des matériaux constitutifs de l'élément, ainsi que leurs dimensions, conditionnent l'ampleur de la fluctuation de l'humidité d'un élément par rapport à une condition moyenne.

La comparaison des conditions de stockage de l'éprouvette à celles qui prévalent en exploitation normale peut donc se traduire par une variation de la teneur en humidité des spécimens de construction, particulièrement ceux comportant des éléments

hygroscopiques qui présentent une forte aptitude à l'absorption d'humidité, tels que le ciment Portland, le plâtre et le bois. Toutefois, après la mise en œuvre du conditionnement prescrit dans l'ISO 834-1, paragraphe 6.4, parmi les matériaux de construction inorganiques courants, seuls les produits de ciment Portland hydratés peuvent retenir une quantité d'humidité suffisante pour affecter de façon significative les résultats d'un essai de résistance au feu.

Pour pouvoir comparer, il peut donc être souhaitable de corriger les variations de la teneur en humidité des éprouvettes en utilisant, comme condition de référence standard, l'humidité à l'équilibre établie par séchage dans une atmosphère ambiante comportant 50 % d'humidité relative à 20 °C.

Si l'on connaît la résistance au feu par rapport au critère d'isolation thermique d'une éprouvette en fonction d'une teneur en humidité, la résistance au feu correspondant à d'autres teneurs en humidité peut être calculée en appliquant l'équation suivante:

$$T_d^2 + T_d(4 + 4b_\Phi - T_\Phi) - 4T_\Phi = 0$$

ou  $\Phi$  est la teneur volumétrique en humidité;

$T_\Phi$  est la résistance au feu pour une humidité  $\Phi$ , en heures;

$T_d$  est la résistance au feu après étuvage, en heures;

$b$  est un facteur qui varie avec la perméabilité.

(Pour les briques, le béton dense et le béton appliqué au pistolet,  $b$  peut être pris égal à 5,5, à 8,0 pour le béton léger et à 10,0 pour le béton cellulaire).

Elle peut également être calculée en utilisant les procédures définies dans les références [2] et [3].

Si l'on emploie des techniques de séchage artificiel pour obtenir l'humidité correspondant aux conditions de référence standard, il incombe au laboratoire chargé d'effectuer les essais d'éviter les procédures qui modifieront significativement les propriétés des matériaux constitutifs de l'éprouvette.

#### 3.3.2 Détermination de l'humidité du béton durci en fonction de l'humidité relative

L'annexe I de la référence [4] présente une méthode conseillée pour déterminer l'humidité relative à l'intérieur d'une éprouvette en béton durci, en utilisant des capteurs électriques. Une procédure semblable avec capteurs électriques peut être utilisée pour déterminer l'humidité relative à l'intérieur d'éprouvettes d'essai de résistance au feu, constituées d'autres matériaux.

Dans le cadre des constructions en bois, on peut utiliser l'appareil de mesure d'humidité basé sur la méthode de la résistance électrique, comme variante de la méthode de l'humidité relative, pour définir le moment où le bois atteint la teneur en eau qui convient. Les méthodes électriques sont décrites aux références [5] et [6].

### 3.4 Consommation de combustible et apport technique

Actuellement, la mesure de la consommation de combustible ne fait pas partie des données nécessaires pendant l'exécution d'un essai de résistance au feu, bien que ce paramètre soit souvent mesuré par les laboratoires d'essais, et les utilisateurs de la présente partie de l'ISO 834 sont invités à obtenir cette information qui sera utile pour le développement ultérieur de ce Rapport technique.

Les indications suivantes concernant les procédures expérimentales peuvent être utiles pour enregistrer la vitesse d'injection de combustible aux brûleurs.

Noter le débit total (cumulatif) de combustible aux brûleurs du four toutes les 10 min (ou plus fréquemment, si on le désire). Il faut également déterminer la quantité totale de combustible fournie pendant toute la durée de l'essai. Un débitmètre à enregistrement continu présente certains avantages sur les débitmètres à lecture périodique ou à débit instantané ou cumulatif. Choisir un système de mesure et d'enregistrement affichant les vitesses de consommation précises à 5 % près. Noter le type de combustible, son pouvoir calorifique supérieur (brut) et le débit de combustible cumulé (corrigé pour les conditions standard de 15 °C et 100 kPa) par unité de temps.

Lorsque les mesures de consommation de combustible sont effectuées, elles indiquent de façon caractéristique s'il y a un apport thermique externe à l'environnement du four pendant les dernières phases des essais sur les éprouvettes comportant des composants combustibles. Habituellement, cette information n'est pas prise en compte par les codes nationaux qui, généralement, réglementent l'utilisation de constructions combustibles en fonction des catégories d'occupation, des limites de hauteur et des zones de bâtiments dans lesquels ce type de constructions est employé.

Il faut également noter que les mesures de consommation de combustible peuvent différer largement lorsque l'on soumet des structures en acier refroidies à l'eau, ou des sections massives, à des essais par cette méthode.

### 3.5 Techniques de mesure de la pression

Lors de la mise en place des tubes utilisés pour la mesure de la pression, le tube palpeur et le tube de

référence doivent toujours être considérés comme un couple et leur parcours (commun) doit être rattaché entre le niveau auquel la mesure se rapporte et l'instrument de mesure. En ce qui concerne le tube de référence, il peut être physiquement absent par endroits, mais doit être considéré comme existant implicitement (entre deux niveaux particuliers, l'air d'un local représentant le tube de référence dans ce cas).

Lorsque le tube de référence et le tube palpeur sont au même niveau, ils peuvent être à des températures différentes.

Lorsque le tube de référence et le tube palpeur s'incurvent d'un niveau à un autre, ils doivent être à la même température à chaque niveau. Ils peuvent être chauds en partie haute et froids en partie basse, mais la température à chaque niveau doit être la même (voir également référence [7]).

Il faudra veiller à disposer les tubes palpeurs à l'intérieur du four, de sorte qu'ils ne soient pas soumis à des sollicitations dynamiques sous l'effet de la vitesse et des turbulences des gaz (voir également référence [8]).

### 3.6 Procédure après l'échauffement

L'ISO 834-1 ne comporte aucune prescription ni référence concernant les procédures postérieures à l'échauffement. Dans certains pays, la pratique courante consiste à maintenir la charge d'épreuve ou une charge d'épreuve pondérée pendant un temps généralement fixé à 24 h à l'issue de l'essai de résistance au feu. L'objet de cette procédure vise à obtenir des renseignements d'ordre général concernant la rigidité ou la résistance résiduelle de la construction représentée par l'éprouvette, à la suite d'un incendie. Attendu qu'il est difficile de mettre ces informations en relation avec une situation d'incendie (ou postérieure à un incendie), on a conclu que ses prescriptions sortent du champ d'application de la présente spécification.

Certains pays évaluent de plus le comportement des éléments de séparation en les soumettant à des essais au choc immédiatement après l'essai de résistance au feu. Cette procédure est destinée à simuler l'effet de la chute de décombres ou de l'attaque à la lance d'incendie sur un élément séparatif coupe-feu qui doit théoriquement conserver son efficacité pendant ou après l'attaque du feu. Ces essais au choc peuvent être pratiqués à l'issue de l'essai de résistance au feu complet ou après une partie seulement (la moitié par exemple) de la durée nominale; et ils sont souvent considérés comme une estimation de la stabilité excluant toutes hypothèses de simulations d'une attaque à la lance d'incendie par les pompiers.

Il faut noter que, dans la plupart des cas, les deux pratiques précédentes dissuadent de poursuivre un essai de résistance au feu au-delà de la durée de

résistance prescrite. Compte tenu du besoin croissant d'informations permettant l'extrapolation et autres calculs, il convient d'inciter les organismes d'essai à poursuivre l'exposition au feu dans la mesure où les critères limitatifs peuvent être dépassés sans risque.

### 3.7 Dimensions des éprouvettes

L'ISO 834-1 propose une philosophie générale selon laquelle les essais de résistance au feu devraient être réalisés sur des éprouvettes en vraie grandeur. Elle constate également que cela n'est pas toujours possible en raison des limitations imposées par la taille du matériel disponible. Lorsque l'utilisation d'une éprouvette en vraie grandeur n'est pas possible, on a cherché à compenser cette lacune en spécifiant des dimensions minimales normalisées pour une éprouvette représentative de la taille nécessaire, correspondant à un local de 3 m de hauteur et de section transversale égale à 3 m × 4 m.

Une forte incitation à l'utilisation d'éprouvettes en vraie grandeur découle des difficultés rencontrées pour obtenir un comportement au feu tout à fait représentatif avec des modèles à l'échelle pour la majorité des éléments porteurs et certains éléments de séparation.

Dans le cas de la majorité des éléments non porteurs, une réduction des dimensions hors tout à une taille convenable pour les essais ne pose pas de problème sérieux, surtout lorsqu'il s'agit d'une construction modulaire.

Dans le cas de systèmes porteurs, la nécessité de maintenir le comportement fonctionnel inchangé tout en réduisant les dimensions d'une éprouvette de résistance au feu, doit être soulignée. Par exemple, le rapport entre les dimensions périphériques doit demeurer inchangé lorsque l'on réduit les dimensions d'un plancher. De même les proportions relatives des éléments de structure et de ceux qu'ils portent doivent être maintenues. En d'autres termes, il convient de maintenir un équilibre entre les différents types de sollicitations auxquels est soumis l'élément à échelle réduite, et d'établir également une représentation correcte des contraintes de la construction à l'échelle réduite correspondante.

### 3.8 Réalisation des éprouvettes

L'ISO 834-1 spécifie que les matériaux utilisés pour réaliser l'éprouvette et la méthode de construction et de montage doivent être représentatifs de la mise en œuvre de l'élément dans la réalité.

Cela signifie que des éléments tels que les joints, les mesures prises pour la dilatation et les caractéristiques spéciales de fixation ou de montage doivent être pris en compte de façon représentative dans l'éprouvette.

Il faudra tenir compte par ailleurs de la tendance à réaliser des éprouvettes d'une qualité supérieure à ce qui existe dans la pratique, à moins qu'elles ne relèvent d'une conception différente spéciale. D'autre part, il importe également pour assurer la cohérence, de réaliser une éprouvette qui, en raison de vices de construction, ne risque pas d'aboutir à des résultats sans rapport avec son objet.

Une description précise et détaillée de l'éprouvette et de son état au moment des essais est par conséquent un complément extrêmement nécessaire aux données d'essais et, le cas échéant, ces caractéristiques doivent être soulignées afin de rationaliser les anomalies apparentes des résultats d'essais.

### 3.9 Mise en charge

La charge appliquée à une éprouvette lors d'un essai de résistance au feu exerce une influence significative sur son comportement et est un élément important lors de l'exploitation des résultats d'essais et de leur mise en relation avec des résultats d'autres essais semblables.

L'ISO 834-1, paragraphe 5.4, précise les différents fondements à partir desquels la charge peut être choisie. Le fondement qui permet l'application la plus large des résultats d'essais est celui qui met en relation la définition de la charge d'essai et, par conséquent, les sollicitations induites, aux propriétés mesurées des matériaux des éléments de structure réels utilisés pour la confection de l'éprouvette, et en même temps, amène la création de contraintes dans les zones critiques de ces éléments qui constituent des contraintes maximales tolérées par les codes de calcul de structures nationaux. Cette approche débouche sur l'application la plus pénalisante de la charge d'épreuve tout en offrant une base réaliste d'extrapolation des résultats d'essais et de leur exploitation pour les calculs.

Le second fondement met en relation la charge d'essais prescrite et les propriétés caractéristiques des matériaux constitutifs de l'éprouvette. Les chiffres peuvent être fournis par le fournisseur des matériaux ou trouvés dans les publications relatives aux propriétés normales des matériaux en question (généralement fournies sous forme de plages de valeurs). Dans la majorité des cas, ceci débouche sur une valeur plutôt réduite de la charge d'essai, car les valeurs réelles sont généralement plus élevées que les valeurs caractéristiques, prises en compte par les procédures de calcul. Par contre, cette approche se rattache plus étroitement à des procédures d'étude nationales et aux pratiques correspondantes concernant les spécifications de matériaux utilisés pour la construction des structures. L'utilité des résultats obtenus à partir de tels essais peut être valorisée si l'on mesure au cours des essais de résistance au feu, les propriétés des matériaux réels et/ou les contraintes réelles dans les éléments de structure des éprouvettes.

La troisième approche diffère des dispositions précédentes, car la charge résultante se rattache à une application spécifique et, par conséquent, limitée. La charge d'essai est invariablement inférieure à celle qui serait appliquée normalement et, à condition que les éléments de structure aient été sélectionnés en tenant compte qu'ils auront à subir des charges nominales normales prévues par des codes de structure reconnus, on bénéficiera d'une marge de sécurité plus grande et d'une tenue au feu améliorée, par rapport aux performances d'éprouvettes soumises à des charges sélectionnées à partir du premier et du second fondement ci-avant. Ici encore, l'utilité des résultats d'essais peut être améliorée dans la mesure où l'on peut obtenir des données concernant les propriétés physiques effectives des matériaux utilisés pour les éléments de structure et les niveaux de contrainte qui s'établissent dans ces éléments lorsqu'ils sont soumis aux charges prescrites.

En plus des bases respectives de calcul des charges à appliquer pendant un essai, il faut noter que les codes de structure reconnus au niveau national et utilisés pour les études de construction, auxquelles ces bases se rapportent, peuvent en eux-mêmes prévoir un certain nombre d'éléments théoriques différents, auxquels la même considération n'est pas toujours accordée dans les différents pays. On constate une différence significative de philosophie en ce qui concerne la prise en compte d'éléments tels que les charges sismiques, de vent et celles dues à la neige.

Il est donc important de noter que, quelle que soit la méthode utilisée pour la mise en charge pendant l'essai de résistance au feu, il faut qu'elle soit rattachée à la charge ultime avant échauffement de l'élément soumis à l'essai, et il est indispensable que son fondement soit clairement indiqué dans le compte rendu, ainsi que toute autre information appropriée telle que les propriétés des matériaux et les niveaux de contrainte qui affectent la portée et l'application des résultats de l'essai.

La plupart des points de concentration de charge peuvent fournir une simulation proche des conditions de contrainte susceptibles d'être constatées dans les poutres et poteaux. Il convient d'être plus prudent dans le cas des planchers et murs pour simuler les effets des charges uniformément réparties. Il faut recourir au nombre maximum de points de sollicitation, et, en même temps, le système de mise en charge doit pouvoir prendre en compte l'intégralité de la déformation prévue pendant l'essai, tout en maintenant la répartition des charges prescrites.

### 3.10 Conditions aux limites et assujettissement

#### 3.10.1 Introduction

L'ISO 834-1, paragraphe 5.5, propose certaines options pour l'application de l'assujettissement, ou

pour la résistance à la dilatation thermique ou à la rotation pour différents systèmes porteurs. La clause reflète la philosophie qui sous-tend la méthode d'essai décrite par l'ISO 834-1 qui consiste à tester l'éprouvette d'une manière aussi représentative que possible des conditions d'exploitation réelles les plus pénalisantes.

La démarche suivante est adoptée pour la mise en relation de l'assujettissement appliqué à l'éprouvette et des conditions rencontrées dans les constructions réelles.

Il faut considérer les planchers et toitures, les murs, les poteaux et les poutres individuelles des bâtiments comme offrant une résistance à la dilatation thermique et/ou à la rotation, quand la structure périphérique, de support ou soutenue est susceptible d'offrir une résistance substantielle à ces forces sur toute la plage d'élévation des températures représentée par la courbe temps-température normalisée.

S'il est nécessaire de faire preuve de discernement technique pour définir ce qui est susceptible d'opposer une «résistance substantielle à de telles forces», on peut noter que la résistance nécessaire peut être assurée par des facteurs tels que la rigidité latérale des supports de planchers et de toitures et les poutres intermédiaires faisant partie d'un ensemble, ou par le poids de la structure soutenue. Les liaisons doivent en même temps être capables de transmettre les forces résultant de la dilatation thermique ou de la rotation aux structures ou supports. La rigidité des structures ou panneaux attenants doit également être prise en compte pour évaluer l'aptitude d'une structure à résister à la dilatation thermique. La continuité qui se produit notamment dans les poutres qui reposent sur plus de deux appuis induira également la résistance à la rotation inhérente à cette situation.

Il est bien connu, à partir des résultats d'essais, que les variations des conditions d'assujettissement peuvent influencer largement le temps de résistance au feu d'un élément de structure ou d'un ensemble. Dans la plupart des cas, la mise en œuvre d'un assujettissement pendant un essai de résistance au feu est bénéfique pour le comportement de l'éprouvette. Dans certains cas, toutefois, un assujettissement axial excessif peut accélérer une rupture par instabilité ou donner naissance à un éclatement accéléré, comme cela peut se produire dans une structure en béton. Dans d'autres cas, par exemple celui d'un plancher en béton armé hyperstatique d'encastrement exposé au feu d'un seul côté, un moment d'assujettissement peut provoquer les amorces de fissures graves dans les zones faiblement armées ou non armées conduisant à une rupture de la structure par cisaillement.

À mesure que l'expérience des essais de résistance au feu sur des structures assujetties s'est enrichie, il est devenu néanmoins possible de prévoir certains des comportements anormaux évoqués ci-avant. Il a également été possible de rattacher d'une manière générale l'état d'éprouvettes assujetties à celui des

constructions réelles. Néanmoins, il reste beaucoup à faire et lorsqu'il n'est pas possible de rattacher les conditions à la limite prescrite d'une éprouvette à celles que la structure connaîtrait en vraie grandeur, on effectue l'essai sur une éprouvette qui n'offre que peu ou pas de résistance à la dilatation ou à la rotation.

### 3.10.2 Éléments de construction travaillant en flexion (poutres, planchers, toitures)

Les éprouvettes comportant des éléments travaillant en flexion sont soumises à l'exposition au feu soit en appui sur des rouleaux, soit à l'intérieur d'un cadre d'assujettissement. Dans ce dernier cas, l'assujettissement contre la dilatation thermique dans le sens axial ou en rotation peut être appliqué de plusieurs manières. Avec les matériels les moins sophistiqués, l'éprouvette est montée à l'intérieur d'un cadre d'assujettissement de conception telle qu'il peut réagir à la poussée axiale des éléments de structure de l'éprouvette, sans déformation significative. Dans certains cas, cette poussée axiale peut être mesurée en étalonnant le cadre d'assujettissement. Dans d'autres cas, un certain contrôle est exercé en laissant des vides de dilatation entre les extrémités de l'élément de structure et le cadre d'assujettissement. Ces dispositions assurent également la résistance à la rotation en raison du contact et, par conséquent, de la quasi-fixation de l'extrémité de l'élément de structure sur sa hauteur et sur la profondeur du cadre d'assujettissement. Avec des montages plus compliqués, l'assujettissement et sa mesure sont assurés par des vérins hydrauliques disposés dans le sens de l'axe et perpendiculairement à (aux) l'élément(s) de structure.

Dans les cas où une entrave à la dilatation thermique se produit, l'échauffement pendant un essai de résistance au feu donne naissance à un effort de compression axial dans les éléments concernés. Dans la plupart des cas, cet effort se produit en un point de la section transversale de l'élément tel que le moment de flexion correspondant tend à s'opposer à celui résultant de la charge appliquée, ce qui conduit à une augmentation de la limite de charge et de la résistance au feu, à moins que les risques potentiels de rupture par éclatement ou instabilité annulent cet effet favorable.

Dans la majorité des cas, si un élément de structure travaillant en flexion a été soumis à l'essai sans assujettissement, il est possible d'utiliser en toute sécurité des représentations de cet élément dans une construction où il serait probablement soumis à une entrave à la dilatation thermique en cas d'exposition au feu.

### 3.10.3 Éléments axiaux (poteaux, murs porteurs)

Les essais de résistance au feu sur les poteaux et murs porteurs exécutés en laboratoire représentent

une idéalisation en ce qui concerne les contraintes subies lors d'un incendie réel. Par exemple, il n'est pas encore possible de reproduire au cours d'un essai, les variations des moments d'extrémité qui se produiraient en cas d'exposition à un incendie réel. Dans la pratique, l'incidence de l'assujettissement dépend de l'endroit où un feu est localisé dans un compartiment. Dans la mesure où un échauffement substantiellement uniforme est rencontré dans un compartiment, l'effet de l'assujettissement contre l'allongement serait probablement bien moindre.

La capacité de charge et la charge d'épreuve correspondante pour les poteaux et murs porteurs dépendent, dans une large mesure, des conditions d'appuis. Dans les éléments élancés de cette nature, supposés articulés, des efforts, même réduits nés de la friction à l'intérieur des supports peuvent augmenter considérablement la charge ultime. Au cours d'un essai de résistance au feu, une application involontaire d'un assujettissement d'extrémité sur l'éprouvette peut augmenter considérablement la charge ultime. Certains laboratoires ont également constaté qu'il est généralement très difficile d'obtenir des points de réaction (ou de charge) axiale réellement centrés pour les poteaux, même en recourant à des appareils d'extrémité sphériques, et il est conseillé dans la pratique d'introduire un degré limité et connu d'excentricité.

Pour ces raisons, il est probablement préférable d'effectuer les essais sur les poteaux ou murs porteurs soit sans aucune résistance à la dilatation (allongement), soit avec des extrémités complètement assujetties.

### 3.10.4 Cloisons et murs non porteurs

Toutes les cloisons et murs non porteurs sont logiquement soumis aux essais sans application de charges extérieures. Néanmoins, dans la pratique, ces éléments seront affectés soit par un transfert des charges émanant d'autres éléments de construction, soit par les réactions de leur propre dilatation due à l'exposition à l'échauffement. Sur ces éléments, les essais doivent donc être réalisés dans un cadre d'assujettissement fermé, suffisamment rigide pour réagir aux efforts de dilatation générés par l'éprouvette soumise à l'essai, avec une déformation limitée ou nulle.

### 3.10.5 Mesures de laboratoire

Compte tenu de l'absence actuelle de renseignements concernant les effets de l'assujettissement sur la rotation ou la dilatation thermique, les laboratoires d'essais doivent être incités à mesurer l'ampleur et le sens de telles forces d'assujettissement, lorsque les éprouvettes sont assujetties en quelque manière que ce soit.