

---

---

**Ingénierie de la sécurité incendie —  
Évaluation, vérification et validation  
des méthodes de calcul —**

**Partie 4:  
Exemple d'un modèle structural**

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
*Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of  
calculation methods —  
Part 4: Example of a structural model*  
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 16730-4:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>



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

ISO/TR 16730-4:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2013

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office  
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20  
Tel. + 41 22 749 01 11  
Fax + 41 22 749 09 47  
E-mail [copyright@iso.org](mailto:copyright@iso.org)  
Web [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

**Sommaire**

Page

<b>Avant-propos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Informations générales sur le modèle structural</b> .....	<b>1</b>
<b>3 Méthodologie utilisée dans ce Rapport technique</b> .....	<b>1</b>
<b>Annexe A (informative) Description de la méthode de calcul</b> .....	<b>2</b>
<b>Annexe B (informative) Description complète de l'évaluation (vérification et validation) de la méthode de calcul</b> .....	<b>9</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>13</b>
<b>Cas d'étude</b> .....	<b>14</b>
<b>Manuel de l'utilisateur</b> .....	<b>15</b>

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

[ISO/TR 16730-4:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>

## 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.

Les procédures utilisées pour l'élaboration du présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/CEI, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Ce document a été rédigé conformément aux règles rédactionnelles spécifiées dans la Partie 2 des Directives ISO/CEI. [www.iso.org/directives](http://www.iso.org/directives)

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO. [www.iso.org/brevets](http://www.iso.org/brevets)

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: Avant-propos – Informations supplémentaires  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>

Le comité responsable de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 92, *Sécurité au feu*, sous-comité SC 4, *Ingénierie de la sécurité incendie*.

L'ISO 16730 comprend les parties suivantes, sous le titre général *Ingénierie de la sécurité incendie — Evaluation, vérification et validation des méthodes de calcul*:

- *Partie 2: Exemple d'un modèle de zone* [Rapport technique]
- *Partie 3: Exemple d'un modèle CFD* [Rapport technique]
- *Partie 4: Exemple d'un modèle structural* [Rapport technique]
- *Partie 5: Exemple d'un modèle d'évacuation* [Rapport technique]

Les parties suivantes sont en cours de préparation:

- *Partie 1: Généralités* (révision de l'ISO 16730:2008)

## Introduction

Certaines entités et certains équipements, produits ou matériaux commerciaux sont identifiés dans ce document afin de décrire de façon appropriée une procédure ou un concept ou de retracer l'historique des procédures et pratiques utilisées. Ce type d'identification n'est pas destiné à sous-entendre une recommandation, une approbation ou une implication que ces entités, produits, matériaux ou équipements sont nécessairement les meilleurs disponibles aux fins visées. Cette identification n'implique pas non plus l'existence d'une faute ou d'une négligence de la part de l'Organisation internationale de normalisation.

Pour le cas particulier de l'exemple d'application de l'ISO 16730-1 décrit dans le présent document, l'ISO décline toute responsabilité quant à l'exactitude du code utilisé ou la validité des énoncés de vérification ou de validation pour cet exemple. La publication de cet exemple ne signifie pas que l'ISO approuve l'utilisation du logiciel ou des hypothèses du modèle qui y sont décrits, et il est précisé que d'autres méthodes de calcul existent.

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

[ISO/TR 16730-4:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>

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

[ISO/TR 16730-4:2013](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/f23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>

# Ingénierie de la sécurité incendie — Évaluation, vérification et validation des méthodes de calcul —

## Partie 4: Exemple d'un modèle structural

### 1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 16730 montre comment l'ISO 16730-1 est appliquée à une méthode de calcul pour un exemple spécifique. Elle montre comment décrire de manière appropriée les aspects techniques et l'utilisation de la méthode afin de permettre l'évaluation de la méthode en vue d'une vérification et d'une validation.

L'exemple donné dans la présente partie de l'ISO 16730 décrit l'application des procédures données dans l'ISO 16730-1 à un modèle de résistance au feu structural.

Le principal objectif du modèle spécifique traité ici est la simulation du transfert de chaleur et de la réponse structurale des murs.

### 2 Informations générales sur le modèle structural

Le présent document présente un modèle analytique permettant de prédire la résistance au feu de montants de murs porteurs en bois protégés par des plaques de plâtre. Le modèle associe un sous-modèle de transfert de chaleur et un sous-modèle structural. Le sous-modèle de transfert de chaleur prédit le profil de température à l'intérieur du mur avec montants en bois et le délai de survenue d'une défaillance d'isolation. Le sous-modèle structural, fondé sur la charge de flambement élastique, utilise le profil de température pour calculer la flèche des montants en bois et le délai de survenue d'une défaillance structurale du mur.

### 3 Méthodologie utilisée dans ce Rapport technique

Pour la méthode de calcul étudiée, des vérifications basées sur l'ISO 16730-1 et telles que décrites dans ce Rapport technique sont appliquées. Le présent Rapport technique répertorie dans l'[Annexe A](#) et l'[Annexe B](#) les points importants à contrôler dans la colonne de gauche des tableaux. Les points concernés sont ensuite décrits en détail et il est indiqué comment ceux-ci ont été traités au cours du développement de la méthode de calcul, dans la colonne de droite de l'[Annexe A](#) et l'[Annexe B](#) citées ci-dessus, l'[Annexe A](#) couvrant la description de la méthode de calcul et l'[Annexe B](#) la description complète de l'évaluation (vérification et validation) de la méthode de calcul spécifique. La Bibliographie inclut un cas d'étude et un manuel de l'utilisateur.

## Annexe A (informative)

### Description de la méthode de calcul

#### A.1 Objet

<b>Définition du problème résolu ou de la fonction exécutée</b>	Élaborer un modèle analytique permettant de prédire la résistance au feu de cadres en bois légers exposés au feu. Le modèle évalue le transfert de chaleur et le comportement structural d'après des observations expérimentales, les propriétés des matériaux à température élevée et selon les équations de résistance des matériaux.
<b>Description des résultats de la méthode de calcul</b>	Pour simuler la résistance au feu de cadres en bois, il est essentiel d'évaluer leurs réponses thermiques et structurales en situation d'incendie. La réponse thermique donne des estimations de la répartition de la température dans le mur. La réponse structurale permet de calculer la défaillance structurale d'un mur en fonction de cette répartition de la température.
<b>Intégration des études de faisabilité et des justifications</b>	<p>Traditionnellement, la résistance au feu de cadres en bois a généralement été évaluée de la manière suivante:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— en les soumettant à des essais conformément aux modes opératoires prescrits dans les normes, ou</li> <li>— en se référant à des tableaux ou des procédures de conception prédéfinis (méthode par addition de composants) figurant dans les codes du bâtiment, ou</li> <li>— en utilisant les modèles numériques validés lorsqu'ils sont disponibles.</li> </ul> <p>Les méthodes d'essai de résistance au feu ont des inconvénients, notamment en termes de coût et de temps, de limites s'appliquant à la géométrie de l'échantillon et à sa mise en charge, et, à un degré moindre, de répétabilité. Les méthodes de calcul offrent un moyen de surmonter quelques-uns de ces problèmes en tentant d'évaluer la résistance au feu de cadres en structures légères. Les méthodes de calcul favorisent également la conception de programme expérimental et l'amélioration de la fabrication des produits, et aident l'industrie à profiter pleinement des opportunités offertes par les codes reposant sur la performance, car ces méthodes faciliteraient une accélération du processus de conception.</p>

## A.2 Théorie

<p><b>Description du modèle conceptuel sous-jacent (phénomène déterminant), le cas échéant</b></p>	<p>Pour élaborer un modèle de résistance au feu applicable aux murs qui permette de reproduire les résultats d'essai, il faut observer soigneusement le comportement de résistance au feu dans le cadre de programme expérimental. Les résultats d'essai ont montré que le comportement de montants de murs en bois, en cas d'exposition au feu, dépend de plusieurs facteurs clés: les couches de plaques de plâtre qui séparent les montants en bois des flammes, l'isolation entre les montants, les propriétés des matériaux des montants en bois et les températures auxquelles est soumis le mur.</p> <p>Le modèle comprend deux sous-modèles: un sous-modèle de transfert de chaleur et un sous-modèle de réponse structurale. Le sous-modèle de transfert de chaleur, appelé WALL2D, prédit la réponse thermique. Le modèle de transfert de chaleur détermine la répartition de la température dans le mur en fonction du temps, compte tenu de la chaleur absorbée lors de la déshydratation du plâtre et du bois, et lors de la pyrolyse du bois, sans considération de transfert de masse. Le modèle de transfert de chaleur utilise les propriétés thermo-physiques du bois, des plaques de plâtre et de l'isolation. Il permet également de prédire l'effet de l'isolation en fibres de verre ou en fibres de roche sur la résistance au feu des montants de murs en bois, en combinant le transfert de chaleur par conduction et par rayonnement à travers l'isolation; il est représenté par une conductivité thermique effective dépendant de la température et par la densité de l'isolation. En outre, le modèle de transfert de chaleur permet de calculer le débit de gaz chauds au travers des ouvertures, dans la cavité entre montants, d'après le retrait des plaques de plâtre, l'ouverture des joints et la progression de la carbonisation de la section du montant, avec le temps.</p> <p>La résistance au feu structurale des cadres en bois est affectée par la vitesse de carbonisation, la dégradation des propriétés mécaniques du bois aux températures élevées et la charge supportée par les murs. Pour déterminer la réponse structurale, un sous-modèle de flambement critique est associé au modèle de transfert de chaleur. Le sous-modèle utilise la répartition de la température prédite par le modèle de transfert de chaleur comme entrée, puis calcule la flèche et la charge de flambement élastique critique pour un mur à montants de bois. Le flambement des montants de bois est limité à l'axe fort en raison du support latéral procuré par la plaque de plâtre. La flèche des montants est estimée à l'aide de la théorie de l'élasticité. La flèche du montant, telle que prédite pour un poteau articulé et excentré, peut être calculée en considérant le montant comme une structure poutre-poteau.</p>
--	---

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/23998cb-0a88-46f1-b417-87a796838056/iso-tr-16730-4-2013>

<p><b>Description de la base théorique des phénomènes et des lois physiques sur lesquels repose la méthode de calcul, le cas échéant</b></p>	<p>Les résultats d'essai ont également montré qu'en cas d'exposition au feu d'un mur à montants en bois, la température commence tout d'abord à augmenter dans la plaque protectrice en plâtre. Quelque temps après, les montants commencent à s'échauffer, puis ils se carbonisent lorsque le niveau de température est compris entre 280 °C et 300 °C et ils se déforment de manière à s'écarter du feu. La flèche des montants et de la plaque de plâtre augmente progressivement, créant ainsi l'ouverture des joints entre plaques de plâtre. La plaque de plâtre, fixée aux montants, empêche tout flambement par torsion latérale des montants, de sorte que les montants de bois fléchissent autour de leur axe fort. Au fur et à mesure de l'accroissement des ouvertures, les montants de bois sont de plus en plus exposés et la vitesse de carbonisation s'accroît. Pour les murs en bois supportant des charges, l'échauffement et l'amorce de carbonisation du montant engendrent une charge excentrée qui peut être soit mobile soit fixe, selon les conditions aux limites du mur (articulée ou fixe). Comme la section des montants soumis à la charge commence à diminuer (accroissement de la zone carbonisée), les montants du mur commencent à présenter une flèche excessive puis la charge ne peut plus être supportée par les montants (défaillance par flambement), ce qui définit la défaillance structurale du mur. Pour les murs non porteurs, un endommagement du mur serait essentiellement lié à une hausse excessive de la température sur la face non exposée du mur. La figure ci-dessous montre le comportement et le mode de défaillance d'un mur à montants en bois.</p> <p>Voir Figure A.1.</p>
	
<p><b>Légende</b></p> <p>1 défaillance</p> <p>2 côté four</p>	
	<p><b>Figure A.1 — Comportement et mode de défaillance d'un mur à montants en bois</b></p>

### A.3 Mise en œuvre de la théorie, le cas échéant

Équations déterminantes	
Le transfert de chaleur à travers les plaques de plâtre et les montants en bois est décrit par un bilan enthalpique, selon l'équation suivante:	
$\rho \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \quad (1)$	
où	
$\rho$	est la masse volumique (kg/m <sup>3</sup> );
$H$	est l'enthalpie (J/kg);
$t$	est le temps (s);
$k$	est la conductivité thermique (W/m °C);
$T$	est la température (°C), et
$x$ et $y$	sont les coordonnées (m).
L'équation (1) est résolue à l'aide d'une méthode de différence finie explicite.	
La charge de flambement élastique critique, en supposant que les deux extrémités des montants sont articulés, est donnée par l'équation:	
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2)$	
où	
$P_{cr}$	est la charge de flambement élastique (N);
$E$	est le module d'élasticité de l'élément résistant (MPa);
$I$	est le moment d'inertie (mm <sup>4</sup> ), et
$L$	est la longueur du montant (mm).
Les valeurs du moment d'inertie et du module d'élasticité varient en fonction du temps. Pour le moment d'inertie, le modèle de transfert de chaleur fournit une estimation de la section résiduelle du montant. Pour le module d'élasticité, les variations en fonction de la température sont fournies par la littérature.	
La rigidité (produit du module d'élasticité et du moment d'inertie), pour chaque montant du mur et sur la base d'un maillage du montant, est calculée comme suit:	
$EI = \sum_i^m E_i \frac{b_i D_i^3}{12} + \sum_i^m (b_i D_i) (Y - y_i)^2 E_i \quad (3)$	
où	
$b_i$	est la largeur de l'élément (mm);
$D_i$	est l'épaisseur de l'élément (mm);
$Y$	est le centroïde du montant (mm);
$y_i$	est le centroïde de l'élément (mm), et
$E_i$	est le module d'élasticité de l'élément en fonction de la température (MPa).