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

**Partie 3:
Exemple d'un modèle CFD**

iTeh STANDARD PREVIEW
*Fire safety engineering — Assessment, verification and validation of
calculation methods —
Part 3: Example of a CFD model*
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 16730-3:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO/TR 16730-3:2013

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>



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
Web www.iso.org

Version française parue en 2014

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Informations générales sur le modèle CFD étudié	1
4 Méthodologie utilisée dans cette partie de l'ISO 16730	2
Annexe A (informative) Description de la méthode de calcul	3
Annexe B (informative) Description complète de l'évaluation (vérification et validation) de la méthode de calcul	7
Annexe C (informative) Exemple pratique	10
Annexe D (informative) Manuel de l'utilisateur	17
Bibliographie	28

iTeh STANDARD PREVIEW (standards.iteh.ai)

[ISO/TR 16730-3:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

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 élaborer le 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. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2 (voir 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 sur la liste ISO des déclarations de brevets reçues (voir www.iso.org/brevets).

Les éventuelles appellations commerciales utilisées dans le présent document sont données pour information à l'intention des utilisateurs et ne constituent pas une approbation ou une recommandation.

Pour une explication de la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, aussi bien que pour des informations 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/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

Le comité chargé 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 — Évaluation, vérification et validation des méthodes de calcul*:

- *Partie 3: Exemple d'un modèle CFD (Rapport technique)*
- *Partie 5: Exemple d'un modèle d'évacuation*

Les parties suivantes sont en cours de préparation:

- *Partie 2: Exemple d'un modèle de zone (Rapport technique)*
- *Partie 4: Exemple d'un modèle structural (Rapport technique)*

Avis de non-responsabilité

Certaines entités et certains équipements, produits ou matériaux commerciaux sont identifiés dans la présente partie de l'ISO 16730 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 la présente partie de l'ISO 16730, 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 16730-3:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 16730-3:2013](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

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

Partie 3: Exemple d'un modèle CFD

1 Domaine d'application

L'ISO 16730-1 décrit les contenus recommandés pour une documentation technique et un manuel de l'utilisateur à des fins d'évaluation, si l'application d'une méthode de calcul en tant qu'outil d'ingénierie pour prédire des scénarios du « monde réel » devait conduire à des résultats validés. L'objectif de la présente partie de l'ISO 16730 est de montrer la manière dont l'ISO 16730-1 est appliquée à une méthode de calcul, pour un exemple spécifique. Elle indique la manière dont les aspects techniques et l'utilisation de la méthode sont décrits de manière appropriée pour permettre l'évaluation de la méthode en vue d'une vérification et d'une validation.

L'exemple de la présente partie de l'ISO 16730 décrit l'application des procédures spécifiées dans l'ISO 16730-1 à un modèle (ISIS) de dynamique numérique des fluides (CFD).

Le principal objectif du modèle spécifique traité dans la présente partie de l'ISO 16730 est la simulation d'un incendie dans un environnement ouvert ou dans des compartiments confinés avec un système de ventilation naturelle ou forcée.

2 Références normatives

[ISO/TR 16730-3:2013](#)

[http://www.iso.org/iso/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013](#)

Les documents suivants, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 16730-1, *Ingénierie de la sécurité incendie — Évaluation, vérification et validation des méthodes de calcul — Partie 1: Généralités*

3 Informations générales sur le modèle CFD étudié

Le nom donné au modèle CFD étudié dans la présente partie de l'ISO 16730 est « ISIS ». Le code de calcul ISIS, développé par l'Institut français de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et défini comme un code de mécanique des fluides (également appelé « modèle CFD » ou « code à champ »), est basé sur un ensemble cohérent de modèles qui peuvent être utilisés pour simuler un incendie dans des compartiments de grande taille ventilés mécaniquement. Ce type de configuration qui implique des écoulements complexes nécessite une modélisation physique précise et des méthodes numériques performantes. Généralement, les échelles spatiales et temporelles rencontrées dans les incendies sont très disparates et les couplages entre les différents phénomènes physiques peuvent être forts.

Les phases de vérification et de validation du code sont deux processus distincts constamment actualisés sur la base des tous derniers développements du code. La phase de vérification fait appel à une large palette de techniques telles que la comparaison à une solution analytique pour les problèmes modèles, l'utilisation d'une solution manufacturée et la comparaison à un résultat de référence. Le processus de validation repose sur une approche à base de « briques élémentaires » impliquant des problèmes unitaires, des sous-systèmes puis des systèmes globaux décrivant des essais incendie à grande échelle. Ce processus de validation permet de scinder un système d'ingénierie complexe en différents sous-systèmes de complexité moindre. Par conséquent, le guide de validation de ce code de calcul^[1] inclut des

cas d'écoulement laminaire et turbulent ainsi que des cas d'incendie. La matrice de validation contient un total de 18 cas tests.

4 Méthodologie utilisée dans cette partie de l'ISO 16730

Pour la méthode de calcul examinée, les vérifications basées sur l'ISO 16730-1 et celles exposées dans la présente partie de l'ISO 16730 sont appliquées. Les [Annexes A](#) et [B](#) de la présente partie de l'ISO 16730 répertorient les points importants à contrôler dans la colonne de gauche des tableaux. Les points concernés sont ensuite détaillés et la colonne de droite des [Annexes A](#) et [B](#) décrit leur traitement au cours du développement de la méthode de calcul, 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. L'[Annexe C](#) décrit un exemple pratique et l'[Annexe D](#) ajoute un manuel d'utilisateur.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO/TR 16730-3:2013](#)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

Annexe A (informative)

Description de la méthode de calcul

A.1 Objectif

<p>Définition du problème résolu ou de la fonction exécutée</p>	<p>— Cette méthode de calcul est principalement destinée à simuler un incendie dans un environnement ouvert ou dans des compartiments confinés avec un système de ventilation naturelle ou forcée.</p> <p>— La modélisation de base repose sur une formulation à faible nombre de Mach des équations de Navier-Stokes, combinée à un modèle de combustion turbulente adapté à un écoulement à masse volumique variable.</p>
<p>Description (qualitative) des résultats de la méthode de calcul</p>	<p>— Les données de sortie comprennent:</p> <ul style="list-style-type: none"> — la température des gaz dans le local en feu et les locaux adjacents, — la variation de pression au cours de l'incendie, — les débits massiques d'entrée et de sortie dans les branches d'admission et d'extraction du compartiment, — le flux thermique reçu par un mur, — l'appauvrissement en oxygène du compartiment, et — les produits de combustion dans le compartiment et les locaux adjacents.
<p>Justifications et études de faisabilité</p>	<p>L'effet du processus de développement de l'incendie sur le réseau de ventilation est de première importance pour l'analyse de la sécurité incendie. Par conséquent, le modèle a été développé pour permettre le couplage d'un réseau de ventilation et d'un incendie dans un compartiment ventilé mécaniquement. Les variations de pression dans le compartiment en feu sont également liées au réseau de ventilation et peuvent engendrer une inversion des écoulements dans les branches d'admission ou d'extraction. Ce scénario critique revêt également une importance majeure pour l'analyse de la sécurité incendie.</p>

A.2 Théorie

<p>Modèle conceptuel sous-jacent (phénomènes fondamentaux)</p>	<p>La modélisation physique de cette méthode de calcul est basée sur les lois classiques de conservation des grandeurs physiques locales telles que la masse, la quantité de mouvement (dans une formulation d'écoulement à faible vitesse), l'énergie et les concentrations des espèces. Les équations de conservation, dans le cas d'une simulation d'incendie, décrivent un écoulement réactif turbulent avec des transferts radiatifs.</p>
<p>Base théorique des phénomènes et des lois physiques sur lesquels repose la méthode de calcul</p>	<p>Ce modèle à champ est basé sur les équations de Navier-Stokes moyennées suivant l'approche RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) avec une fermeture à deux équations pour les écoulements turbulents.</p> <p>Les flux scalaires sont modélisés par l'hypothèse de diffusion par gradient et les effets de flottabilité sont pris en compte dans les termes de production de la turbulence. Le modèle de combustion est basé sur l'approche de conservation d'un scalaire et suppose une réaction chimique rapide. Il repose sur un modèle modifié de division des tourbillons pour une combustion non pré-mélangée.</p>

A.3 Mise en œuvre de la théorie

<p>Formules fondamentales</p>	<p>L'ensemble des équations fondamentales est détaillé dans les références [2] et [5].</p> <p>Pour simuler un incendie dans un compartiment confiné, les équations fondamentales suivantes sont résolues:</p> <ul style="list-style-type: none"> — équations RANS; — fermeture de la turbulence à deux équations ($k-\epsilon$); — fraction de mélange (processus de combustion); — fraction massique de combustible; — enthalpie; — transferts radiatifs; — équations de Bernoulli pour les branches d'admission et d'extraction. <p>La masse volumique du mélange réactionnel est définie en utilisant la loi des gaz parfaits (équation d'état) ainsi que les masses molaires moyennes des différentes espèces composant le mélange.</p>
-------------------------------	---

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
ISO/TR 16730-3:2013
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/25487/a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>

<p>Techniques mathématiques, procédures et algorithmes de calcul utilisés, avec leurs références</p>	<p>Les équations de bilan pour les scalaires (espèces, enthalpie, etc.) sont discrétisées en temps et en espace en utilisant une méthode des volumes finis afin d'obtenir des schémas permettant un compromis satisfaisant entre temps de calcul et précision. Ils permettent également d'assurer que les inconnues restent dans leurs limites physiques. Des techniques de décentrement d'ordre 2 sont utilisées pour tenir précisément compte des variations spatiales rapides des inconnues, sans perte de stabilité. Les équations de Navier-Stokes sont discrétisées en espace à l'aide d'une approche de type éléments finis qui satisfait aux propriétés de compatibilité entre la vitesse et la pression requises pour la stabilité. Contrairement aux schémas volumes finis avec des maillages décalés, cette technique facilite l'utilisation de maillages localement non structurés en raison de la géométrie concernée ou du raffinement local. Pour garantir la cohérence avec la discrétisation par volumes finis, l'approximation sélectionnée est de bas degré et conforme.^[10] La discrétisation temporelle est réalisée avec un schéma à pas fractionnaire tel que dans la référence.^[11] Ce schéma semi-implicite permet d'obtenir un pas de temps important et chaque équation est résolue séquentiellement.</p> <p>Le code de calcul est basé sur la plate-forme informatique de développement scientifique PELICANS, qui est disponible sous forme de logiciel libre (https://gforge.irsn.fr/gf/project/pelicans). PELICANS fournit une bibliothèque de composants logiciels, constitués de « blocs élémentaires » pour la mise en œuvre de méthodes numériques. Le modèle est entièrement parallélisé via cette plate-forme, tant pour l'assemblage que pour la résolution des systèmes discrets.</p>
<p>Identification de chaque hypothèse incluse dans la logique; limitations applicables aux paramètres d'entrée dues au domaine d'applicabilité de la méthode de calcul</p>	<p>— maillage structuré;</p> <p>— modèle hydrodynamique: hypothèse de faible nombre de Mach;</p> <p>— diffusion moléculaire: chaque espèce du mélange a le même coefficient de diffusion massique;</p> <p>— capacité thermique constante;</p> <p>— modèle de turbulence: formulation RANS, approximation de Boussinesq pour la viscosité turbulente, hypothèse de diffusion par gradient simple, nombre de Prandtl ou de Schmidt turbulent constant;</p> <p>— modèle de combustion: combustion non pré-mélangée, approximation d'un nombre de Lewis unitaire;</p> <p>— modèle de transfert thermique: conduction thermique 1D dans les murs;</p> <p>— modèle de rayonnement: hypothèse de milieu gris non diffusif</p>
<p>Discussion sur la précision des résultats obtenus par des algorithmes importants et, dans le cas de modèles informatiques, toute dépendance aux capacités informatiques données</p>	<p>En général, les résultats fournis par le modèle pour la simulation d'un incendie dans un compartiment confiné concordent bien avec les mesures expérimentales. Une erreur de l'ordre de 10 à 20 % est observée pour la température, la fraction massique des espèces, le flux thermique reçu par les murs, la pression et les variations du débit de ventilation.</p>
<p>Description des résultats des analyses de sensibilité</p>	<p>Travaux décrits dans la référence.^[12]</p>

iTeh STANDARD PREVIEW
(standard not for publication)

ISO/TR 16730-3:2013
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-f2278e661119/iso-tr-16730-3-2013>

A.4 Données d'entrée

Données d'entrée requises	<ul style="list-style-type: none"> — Géométrie; — maillage; — pas de temps; — propriétés thermophysiques (pour le combustible, les murs, l'isolation); — conditions initiales; — conditions aux limites; — résistance des branches d'admission et d'extraction.
Source des données requises	<ul style="list-style-type: none"> — Les données relatives à la géométrie et à la discrétisation en temps et en espace sont entrées par l'utilisateur. — Les propriétés des matériaux doivent être déterminées à l'aide d'essais spécifiques ou de la littérature technique.
Pour les modèles informatiques: tous les programmes auxiliaires ou fichiers de données externes requis	<p>Distribution LINUX avec</p> <ul style="list-style-type: none"> — gcc 4 (ou version plus récente), — GNU make 3.77 (ou version plus récente), — PERL 5.6 (ou version plus récente), et — Java 1.5.0 (ou version plus récente). <p>Outils de post-traitement:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Meshty, — OpenDX, — GMV, — PARAVIEW, ou — FIELDVIEW. <p>Génération de maillage avec ISIS ou</p> <ul style="list-style-type: none"> — Emc2, — Mefisto, — Gambit, ou — GMSH.
Fournir des informations sur la source, le contenu et l'utilisation de bibliothèques de données pour des modèles informatiques	Des bibliothèques de données concernant les propriétés des combustibles, les murs ou les matériaux isolants sont disponibles dans le Manuel SFPE d'ingénierie de la protection incendie.

iTeh STANDARD PREVIEW
 (standards.iteh.ai)
 ISO/TR 16730-3:2013
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3def67a5-7dbf-4ca5-9fcd-02670a68e119/iso-tr-16730-3-2013>
 PARAVIEW, ou