

 Université de Liège  ArGenCo Laboratoire d'Essai au Feu	Essais de résistance au feu Fire resistance testing	Codification : Version : 14/03/17 Page : 1/49
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

ESSAIS DE RÉSISTANCE AU FEU FIRE RESISTANCE TESTING

Fabien Dumont

Laboratoire d'Essai au Feu – Université de Liège (Belgique)
Fire Testing Laboratory – University of Liège (Belgium)
fabien.dumont@ulg.ac.be

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION.....	3
2	METHODES D'ESSAI – TEST METHODS	4
2.1	Objet – Scope.....	4
2.2	Exigences générales – General requirements	4
2.3	Méthodes spécifiques – Specific methods	5
2.4	Exemples – Examples.....	7
3	EQUIPEMENT D'ESSAI – TEST EQUIPMENT.....	9
3.1	Four – Furnace.....	9
3.2	Résistances électriques chauffantes – Electrical heating	11
3.3	Matériel d'application de la charge – Loading equipment.....	13
4	CONDITIONS D'ESSAI – TEST CONDITIONS.....	16
4.1	Température du four (scénarios d'incendie) – Furnace temperature (fire scenarios).....	16
4.1.1	Consigne de température – Temperature setpoint.....	16
4.1.1	Tolérances de température – Temperature tolerances	18
4.2	Pression dans le four – Furnace pressure	19
4.2.1	Consigne de pression – Pressure setpoint.....	20
4.2.2	Tolérances de pression – Pressure tolerances	22
4.3	Atmosphère du four – Furnace atmosphere	23
4.4	Application de la charge – Loading	24
5	INSTALLATION DE L'ÉLÉMENT D'ESSAI – INSTALLATION OF TEST SPECIMEN.....	27
5.1	Cadre d'essai et construction support.....	27
5.2	Bord libre – Free edge.....	27
6	APPLICATION DE L'INSTRUMENTATION – APPLICATION OF INSTRUMENTATION.....	29
6.1	Thermocouples pour la surface non exposée – Unexposed surface thermocouples	29
6.1.1	Matériel – Device	29
6.1.2	Positionnement – Positioning.....	30
6.2	Déplacement – Deflection	32
7	RÉSULTATS D'ESSAI – TEST RESULTS.....	36
7.1	Capacité portante – Loadbearing capacity.....	36
7.1.1	Déplacement limite – Limiting deflection.....	37
7.1.2	Vitesse limite de déplacement – Limiting rate of deflection	38
7.2	Étanchéité au feu – Integrity.....	39
7.2.1	Tampon de coton – Cotton pad	39
7.2.2	Calibre d'ouverture – Gap gauge.....	40
7.2.3	Inflammation soutenue – Sustained flaming.....	41
7.3	Isolation thermique – Insulation.....	42
7.3.1	Élévation de température moyenne – Average temperature rise	42
7.3.2	Élévation de température maximale – Maximum temperature rise	42
7.4	Rayonnement – Radiation.....	44
7.5	Priorité des performances – Performances priority.....	45
7.6	Incertitudes sur les résultats d'essai – Uncertainties on test results.....	45
8	DOMAINE D'APPLICATION DIRECTE – FIELD OF DIRECT APPLICATION	48
9	DANGERS DES ESSAIS – HAZARD OF TESTS	49

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 3/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

1 INTRODUCTION



La détermination de la résistance au feu a pour but d'évaluer le comportement d'un élément de construction quand il est exposé à des conditions définies de chaleur, de pression et – le cas échéant – de chargement. Les méthodes expérimentales fournissent un moyen de quantifier l'aptitude d'un élément à résister à une exposition à de telles sollicitations. Plus précisément, il s'agit de quantifier le pouvoir séparant et/ou portant d'un élément de construction de façon à garantir le compartimentage d'un bâtiment et/ou sa stabilité structurelle.

Un échantillon (appelé "élément d'essai") représentatif de l'élément de construction est exposé à un régime spécifié d'échauffement et – le cas échéant – de chargement. Les essais sont réalisés sur des éléments de taille réelle ou sur des modélisations de taille réduite des éléments dépassant les capacités dimensionnelles des fours.

Les performances de l'élément d'essai sont déterminées en évaluant des critères décrits dans des méthodes d'essai. La résistance au feu de l'élément d'essai est exprimée sous la forme de durées pendant laquelle les critères appropriés ont été satisfaits. Les temps ainsi obtenus constituent une mesure de l'adéquation de la construction vis-à-vis d'un incendie, mais ils n'ont aucun rapport direct avec la durée d'un incendie réel.

En Europe, on compte à ce jour environ 50 laboratoires réalisant des essais de résistance au feu.



The objective of determining fire resistance is to assess the behaviour of a specimen of a building element when subjected to defined heating, pressure and – if relevant – loading conditions. The experimental methods provide a means of quantifying the ability of an element to withstand exposure to such stresses. More precisely, the issue is to quantify the separating and/or loadbearing capacity of a building element in order to ensure the separating function and/or structural stability of a building.

A representative sample (called "test specimen") of the building element is exposed to a specified scheme of heating and – where relevant – of loading. The tests are carried out on specimens in full size or on small-scale models for elements exceeding the dimensions of the furnaces.

The performances of the test specimen are determined by assessing criteria described in test methods. Fire resistance of the test specimen is expressed as the times for which the appropriate criteria have been satisfied. The times so obtained are a measure of the adequacy of the construction in a fire, but they have no direct relationship with the duration time of a real fire.

In Europe, about 50 laboratories currently perform fire resistance tests.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGenCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 4/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

2 METHODES D'ESSAI – TEST METHODS

2.1 OBJET – SCOPE



Le présent document n'aborde que les méthodes d'essai utilisées pour attester la résistance au feu d'éléments de construction destinés à une utilisation sur le marché. En Europe, ces méthodes d'essai sont décrites dans des Normes Européennes, dont la codification commence par "EN".

Les méthodes d'essai de résistance au feu se composent par l'association de plusieurs normes d'essai :

- les normes décrivant les exigences générales, communes à tous les éléments d'essais, auxquelles on adjoint
- les méthodes d'essais spécifiques, selon le type d'élément d'essai testé.



This document only addresses the test methods used to attest the fire resistance of building elements for use on the market. In Europe, these test methods are described in European Standards, whose coding begins with "EN".

Fire resistance test methods consist of a combination of several test standards:

- standards describing general requirements, common to all test items, completed by
- the specific test methods, depending on the type of test specimen under test.

2.2 EXIGENCES GENERALES – GENERAL REQUIREMENTS



Les exigences générales (EN 1363-1) décrivent les spécifications fondamentales applicables à tous les essais. Elles abordent les aspects essentiels suivants :

1. équipement d'essai
2. conditions d'essai
3. élément d'essai
4. installation de l'élément d'essai
5. conditionnement
6. application de l'instrumentation
7. mode opératoire
8. critères de performances
9. rapports d'essai

Quelques modes opératoires alternatifs ou supplémentaires sont prévus par la norme complémentaire EN 1363-2. C'est par exemple le cas de la courbe d'exposition au feu externe, ou encore de la mesure du rayonnement.

EN 1363-1	<i>Essais de résistance au feu - Partie 1 : Exigences générales</i>
EN 1363-2	<i>Essais de résistance au feu - Partie 2: Modes opératoires de substitution ou additionnels</i>



The general requirements (EN 1363-1) describe the basic specifications applicable to all tests. They address the following essential features:

1. test equipment
2. test conditions

3. test specimen
4. installation of test specimen
5. conditioning
6. application of instrumentation
7. test procedure
8. performance criteria
9. test report

Some alternative or additional procedures are provided in the complementary standard EN 1363-2. This is for example the case of the external fire exposure curve, or the measurement of radiation.

EN 1363-1	<i>Fire resistance tests - Part 1: General Requirements</i>
EN 1363-2	<i>Fire resistance tests - Part 2: Alternative and additional procedures</i>

2.3 METHODES SPECIFIQUES – SPECIFIC METHODS



Les méthodes d'essais spécifiques décrivent les spécifications additionnelles variant selon le type d'élément testé. Ces méthodes sont déclinées par familles de normes :

- EN 1364-x (éléments non porteurs)
- EN 1365-x (éléments porteurs)
- EN 1366-x (installations techniques)
- EN 1634-x (portes, fermetures et fenêtres)
- EN 13381-x (contribution de protections à la résistance au feu)

Ces normes reprennent les 9 aspects des exigences générales (EN 1363-1) et les complètent – lorsque pertinent – par des exigences spécifiques au type d'élément qu'elles couvrent. En outre, elles décrivent le domaine d'application directe des résultats d'essai.

EN 1364-1	<i>Essais de résistance au feu pour éléments non porteurs – Partie 1 : Murs</i>
EN 1364-2	<i>Essais de résistance au feu pour éléments non porteurs – Partie 2 : Plafonds</i>
EN 1364-3	<i>Essais de résistance au feu pour éléments non porteurs – Partie 3 : Murs rideaux – Configuration en grandeur réelle (assemblage complet)</i>
EN 1364-4	<i>Essais de résistance au feu pour éléments non porteurs – Partie 4 : Murs rideaux – Configuration partielle</i>
EN 1365-1	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 1 : Murs</i>
EN 1365-2	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 2 : Planchers et toits</i>
EN 1365-3	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 3 : Poutres</i>
EN 1365-4	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 4 : Poteaux</i>
EN 1365-5	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 5 : Balcons et passerelles</i>
EN 1365-6	<i>Essais de résistance au feu pour éléments porteurs – Partie 6 : Escaliers</i>
EN 1366-1	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 1 : Conduits</i>
EN 1366-2	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 2 : Clapets résistant au feu</i>
EN 1366-3	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 3 : Calfeutrements</i>
EN 1366-4	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 4 : Joints linéaires</i>
EN 1366-5	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 5 : Gains pour installation technique</i>
EN 1366-6	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 6 : Planchers surélevés</i>
EN 1366-7	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 7 : Fermetures de passages pour convoyeurs</i>
EN 1366-8	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 8 : Conduits d'extraction de fumées</i>
EN 1366-9	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 9 : Conduits d'extraction de fumées (compartiment simple)</i>
EN 1366-10	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques – Partie 10 : Clapets coupe-feu avec contrôle de fumées</i>
EN 1366-12	<i>Essais de résistance au feu des installations techniques - Partie 12: Barrière résistante au feu non</i>

	<i>mécanique pour les conduits de ventilation</i>
EN 1634-1	<i>Essais de résistance au feu et d'étanchéité aux fumées des portes, fermetures, fenêtres et éléments de quincailleries - Partie 1: Essais de résistance au feu des portes, fermetures et fenêtres</i>
EN 1634-2	<i>Essai de résistance au feu et d'étanchéité aux fumées des portes, fermetures, fenêtres et éléments de quincailleries - Partie 2: Caractérisation de la résistance au feu pour les éléments de quincaillerie</i>
EN 1634-3	<i>Essais de résistance au feu et d'étanchéité aux fumées des portes, fermetures, fenêtres et éléments de quincailleries – Partie 3: Essais d'étanchéité aux fumées des portes et fermetures</i>
EN 13381-1	<i>Méthodes d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 1 : Membranes de protection horizontales</i>
EN 13381-2	<i>Méthodes d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 2 : Membranes de protection verticales</i>
EN 13381-3	<i>Méthodes d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 3 : Protection appliquée aux éléments en béton</i>
EN 13381-4	<i>Méthodes d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 4 : Protection passive appliquée aux éléments en acier</i>
EN 13381-5	<i>Méthodes d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 5 : Protection appliquée aux dalles mixtes béton/tôle d'acier profilée</i>
EN 13381-6	<i>Méthodes d'essais pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 6 : Protection appliquée aux poteaux métalliques creux remplis de béton</i>
EN 13381-7	<i>Méthodes d'essais pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 7 : Protection appliquée aux éléments en bois</i>
EN 13381-8	<i>Méthodes d'essais pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 8 : Protection réactive appliquée aux éléments en acier</i>
EN 13381-9	<i>Méthodes d'essais pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 9 : Système de protection au feu appliqués aux poutres alvéolaires en acier</i>



The specific test methods describe additional specifications depending on the kind of test specimen. These methods are sorted into families of standards:

- EN 1364-x (non-loadbearing elements)
- EN 1365-x (loadbearing elements)
- EN 1366-x (service installations)
- EN 1634-x (door, shutters and windows)
- EN 13381-x (contribution of protections to the fire resistance)

These standards reopen the 9 aspects of the general requirements (EN 1363-1) and complement them - where relevant - by specific requirements related to the type of element they cover. In addition, they describe the field of direct application of test results.

EN 1364-1	<i>Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 1: Walls</i>
EN 1364-2	<i>Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 2: Ceilings</i>
EN 1364-3	<i>Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 3: Curtain walling - Full configuration (complete assembly)</i>
EN 1364-4	<i>Fire resistance tests for non-loadbearing elements - Part 4: Curtain walling - Part configuration</i>
EN 1365-1	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 1: Walls</i>
EN 1365-2	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 2: Floors and roofs</i>
EN 1365-3	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 3: Beams</i>
EN 1365-4	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 4: Columns</i>
EN 1365-5	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 5: Balconies and walkways</i>
EN 1365-6	<i>Fire resistance tests for loadbearing elements - Part 6: Stairs</i>
EN 1366-1	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 1: Ventilation ducts</i>
EN 1366-2	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 2: Fire dampers</i>
EN 1366-3	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 3: Penetration seals</i>

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu</p> <p>Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 7/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

EN 1366-4	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 4: Linear joint seals</i>
EN 1366-5	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 5: Service ducts and shafts</i>
EN 1366-6	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 6: Raised access and hollow core floors</i>
EN 1366-7	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 7: Conveyor systems and their closures</i>
EN 1366-8	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 8: Smoke extraction ducts</i>
EN 1366-9	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 9: Single compartment smoke extraction ducts</i>
EN 1366-10	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 10: Smoke control dampers</i>
EN 1366-12	<i>Fire resistance tests for service installations - Part 12: Non-mechanical fire barrier for ventilation ductwork</i>
EN 1634-1	<i>Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 1: Fire resistance test for door and shutter assemblies and openable windows</i>
EN 1634-2	<i>Fire resistance and smoke control tests for door, shutter and openable window assemblies and elements of building hardware - Part 2: Fire resistance characterisation test for elements of building hardware</i>
EN 1634-3	<i>Fire resistance and smoke control tests for door and shutter assemblies, openable windows and elements of building hardware - Part 3: Smoke control test for door and shutter assemblies</i>
EN 13381-1	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 1: Horizontal protective membranes</i>
EN 13381-2	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 2: Vertical protective membranes</i>
EN 13381-3	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 3: Applied protection to concrete members</i>
EN 13381-4	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 4: Applied passive protection to steel members</i>
EN 13381-5	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 5: Applied protection to concrete/profiled sheet steel composite member</i>
EN 13381-6	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 6: Applied protection to concrete filled hollow steel columns</i>
EN 13381-7	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 7: Applied protection to timber members</i>
EN 13381-8	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 8: Applied reactive protection to steel members</i>
EN 13381-9	<i>Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members - Part 9: Applied fire protection systems to steel beams with web openings</i>

2.4 EXEMPLES – EXAMPLES



Exemple 1

Essai sur un mur porteur : EN 1363-1 + EN 1365-1

Exemple 2

Essai sur une cloison vitrée avec mesure du rayonnement : EN 1363-1 + EN 1363-2 + EN 1364-1

Exemple 3

Essai sur une façade rideau avec exposition au feu externe : EN 1363-1 + EN 1363-2 + EN 1364-3



Example 1

Test on a loadbearing wall: EN 1363-1 + EN 1365-1

Example 2

Test on a glazed partition with measurement of radiation: EN 1363-1 + EN 1363-2 + EN 1364-1

Example 3

 Université de Liège  ArGenCo Laboratoire d'Essai au Feu	Essais de résistance au feu Fire resistance testing	Codification : Version : 14/03/17 Page : 8/49
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------

Test on a curtain walling with external fire exposure: EN 1363-1 + EN 1363-2 + EN 1364-3

3 EQUIPEMENT D'ESSAI – TEST EQUIPMENT

3.1 FOUR – FURNACE



Les fours d'essai sont spécialement conçus pour soumettre l'élément d'essai aux conditions d'essai. Ils peuvent utiliser des combustibles liquides ou gazeux. Selon leur conception, ils permettent de réaliser des essais sur :

- des éléments de séparation verticaux (murs, portes, ...), ou
- des éléments de séparation horizontaux (planchers, toitures, ...), ou
- des poteaux exposés au feu sur tout leur contour, ou
- des poutres exposées au feu sur trois ou quatre côtés, suivant le cas.



The test furnaces are specially designed to subject the test specimen to the test conditions. They can employ liquid or gaseous fuels. Depending on their design, they allow to carry out tests on:

- vertical separating elements (walls, doors, ...), or
- horizontal separating elements (floors, roofs, ...), or
- columns on all sides, or
- beams on three or four sides, as appropriate.



Four pour éléments d'essai verticaux
Furnace for vertical test specimens



Four pour éléments d'essai horizontaux
Furnace for horizontal test specimens



La température dans les fours est mesurée par des pyromètres à plaque. Ceux-ci sont constitués d'une structure en tôle pliée, sur laquelle est fixé un thermocouple chemisé de type K (de 1 à 3 mm de diamètre), et recouvert d'un matériau d'isolation. La jonction de mesure du thermocouple est fixée au centre géométrique de la plaque. Les pyromètres à plaques doivent être orientés de sorte que leur face non-isolée soit tournée vers le mur du fond du four.

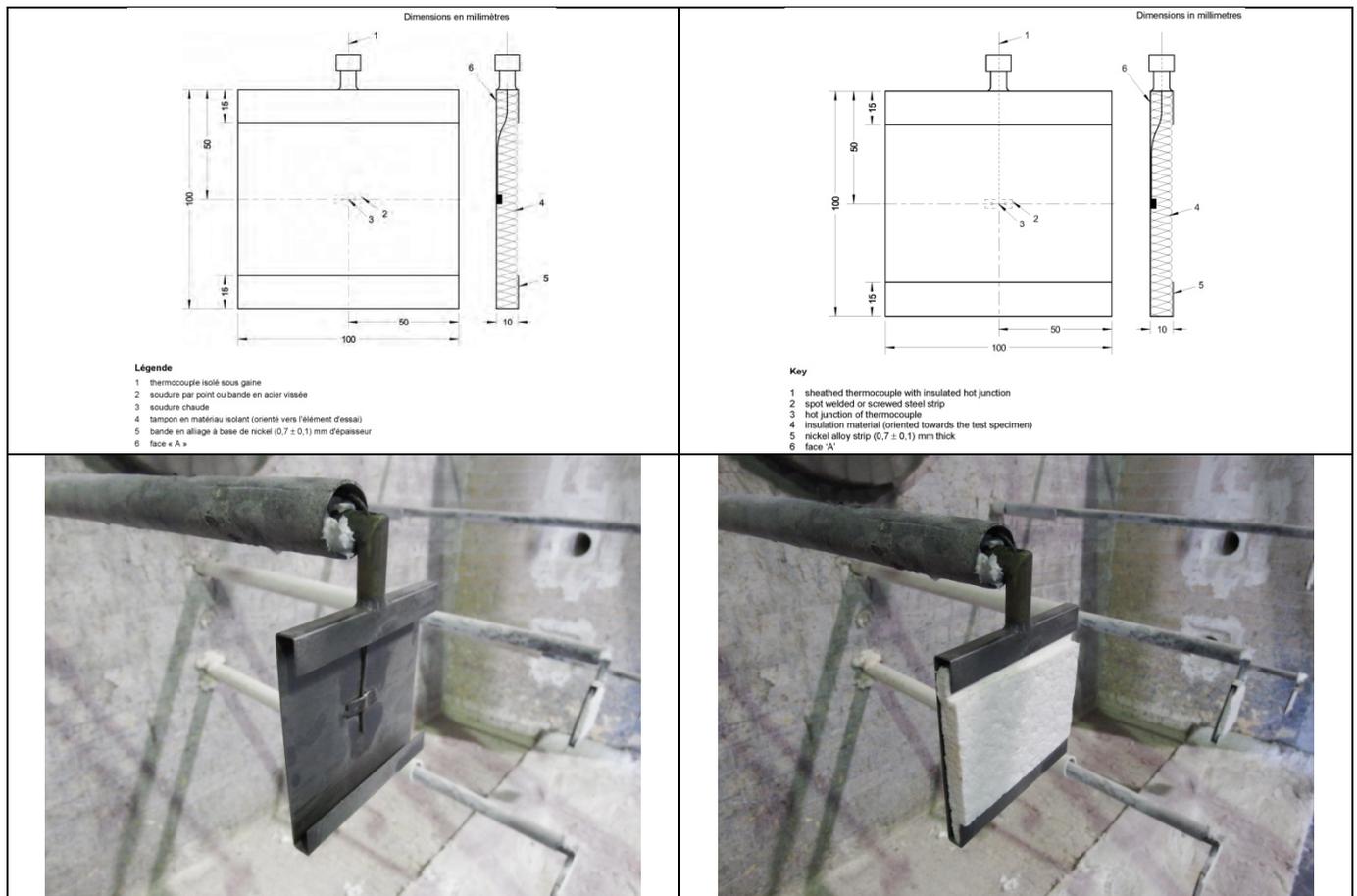
Niveau de précision à respecter pour ces thermocouples : $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (à démontrer par étalonnage)



The temperature in furnaces is measured by plate thermometers. These consist of an assembly of a folded steel plate, to which is fixed a sheathed type K thermocouple (of 1 to 3 mm in diameter), and covered with an insulated material. The thermocouple measurement junction shall be fixed to the

geometric centre of the plate. The plate thermometers shall be oriented so that their uninsulated side faces the back wall of the furnace.

Level of precision to meet for these thermocouples: $\pm 15^{\circ}\text{C}$ (to be demonstrated by calibration)



Pyromètres à plaque
Plate thermometers



La surpression dans le four ($\Delta P = P_{four} - P_{ext}$) est mesurée au moyen d'un capteur de pression de type micro-manométrique électronique pour basses pressions différentielles. L'ordre de grandeur de la surpression dans le four est très petite, typiquement dans la gamme 10 à 20 Pa.

Niveau de précision à respecter pour ce capteur : ± 2 Pa (à démontrer par étalonnage)



The overpressure in the furnace ($\Delta P = P_{furnace} - P_{ext}$) is measured by an electronic micro-manometer type pressure transducer for low differential pressures. The order of magnitude of the overpressure in the furnace is very small, typically in the range from 10 to 20 Pa.

Level of precision to meet for this transducer: ± 2 Pa (to be demonstrated by calibration)

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 11/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------



Capteur de pression pour basses pressions différentielles
Pressure transducer for low differential pressures

3.2 RÉSISTANCES ÉLECTRIQUES CHAUFFANTES – ELECTRICAL HEATING



A des fins de recherche, les éléments d'essai métalliques peuvent être chauffés par des nappes flexibles en céramique, dans lesquelles des résistances électriques sont insérées, disposées à une faible distance de l'élément (≈ 10 mm). L'élément en acier et les nappes en céramique sont enveloppés dans un matériau isolant afin de réduire les pertes thermiques et d'assurer une répartition homogène de la température dans l'élément. L'élévation de température peut être contrôlée indépendamment en 6 zones différentes. Cela permet, par exemple, l'injection de plus de puissance dans telle ou telle zone de l'élément d'essai, comme par exemple les zones à proximité des supports où les pertes de chaleur sont généralement plus élevées afin d'obtenir une répartition homogène de la température.

Cet équipement permet :

- d'atteindre une meilleure homogénéité dans l'élément d'essai que dans un four à gaz;
- travailler à un taux de chauffe constant, par exemple 5 K/min, ce qui est impossible dans un four à gaz conçu pour suivre la courbe normalisée température/temps;
- l'utilisation de capteurs de déplacement, même si l'élément est chauffé sur les quatre côtés.

Un tel équipement n'est pas approprié pour tester des éléments d'essai massifs tels que des éléments en béton armé car la puissance de l'équipement de chauffe est trop limitée et la lenteur de chauffe qui en résulte crée des gradients thermiques dans les sections qui sont moins sévères que ceux observés dans des incendies réels ou sous la courbe normalisée température/temps.



For research purposes, metallic test elements can be heated by flexible ceramic pads in which electrical resistances are inserted applied at a short distance of the element (≈ 10 mm). The steel element and the ceramic pads are wrapped in insulating material in order to reduce heat losses and to ensure a homogeneous temperature distribution in the element. The elevation of temperature can be controlled independently in 6 different zones. This allows, for example, introducing more power in the zones near the supports where heat losses are typically higher in order to obtain a homogeneous temperature distribution.

This equipment allows:

- reaching better homogeneity in the element than in a gas furnace;
- working at constant heating rate, e.g. 5 K/min, which is not possible in a gas furnace designed to follow the standard temperature/time curve;
- utilisation of displacement transducers even if the element is heated on four sides.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 12/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

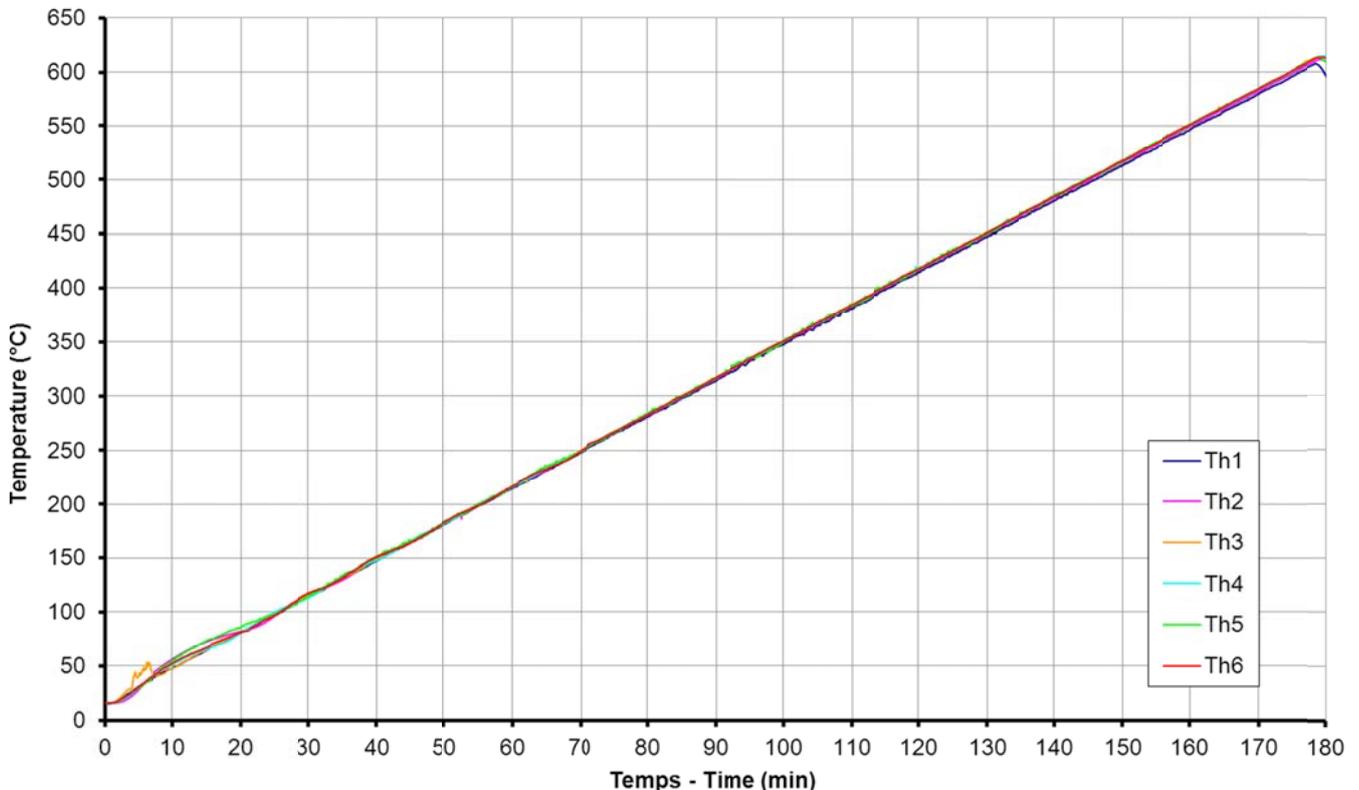
Such equipment is not appropriate to test massive elements such as reinforced concrete elements because the power is too limited and the slow heating that this induces creates thermal gradients in the sections that are less severe than those observed in real fires or under the standard temperature/time curve.



Colonne d'acier élancée enveloppée dans des nappes céramiques prêtes à être connectés
Slender steel column wrapped in ceramic pads ready to be connected



Transformateur 6 zones de 65 kVA
6 zones, 65 kVA transformer



Températures mesurées par les 6 thermocouples de pilotage
 Temperatures measured by the 6 control thermocouples

3.3 MATÉRIEL D'APPLICATION DE LA CHARGE – LOADING EQUIPMENT



Le matériel d'application de la charge doit être capable de soumettre les éléments d'essai à la charge d'essai. Il est permis d'appliquer la charge par des moyens hydrauliques, mécaniques ou à l'aide de poids.

Le matériel d'application de la charge doit être capable de simuler des conditions de charge uniforme, de charge ponctuelle, de charge concentrique, de charge axiale ou de charge excentrique suivant le cas.



The loading equipment shall be capable of subjecting test specimens to the test load. The load may be applied hydraulically, mechanically or by the use of weights.

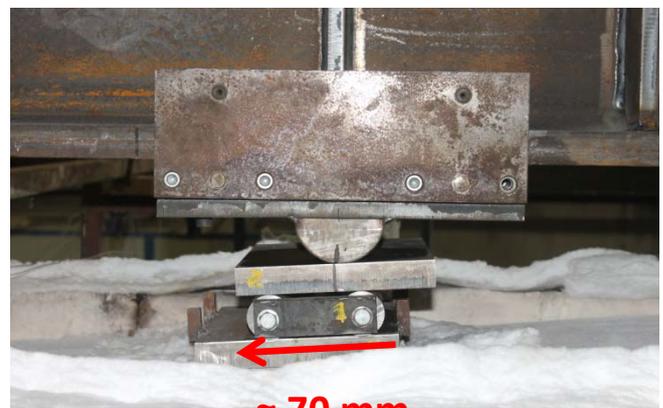
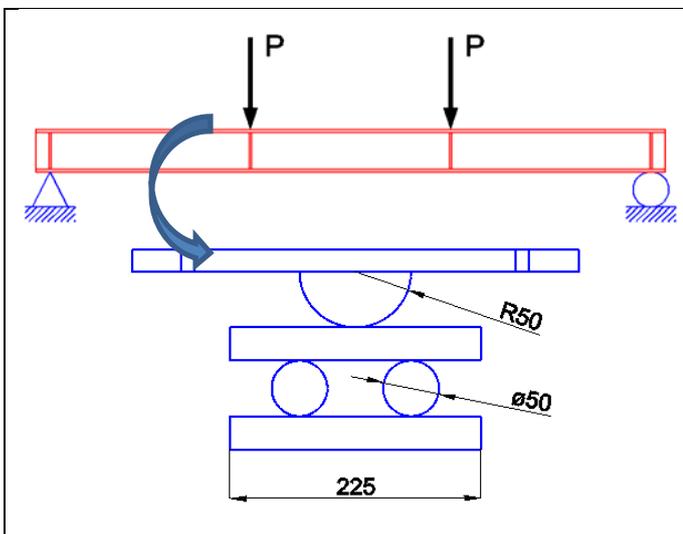
The loading equipment shall be able to simulate conditions of uniform loading, point loading, concentric loading, axial loading or eccentric loading as appropriate.



Matériel de chargement par vérins hydrauliques pour four vertical (4 vérins de 1000 kN)
Loading equipment by hydraulic jacks for vertical furnace (4 jacks of 1000 kN)



Matériel de chargement par vérins hydrauliques pour chargement en deux lignes sur four horizontal
(capable de suivre une flèche de 200 mm)
Loading equipment by hydraulic jacks for two lines loading on horizontal furnace (able to follow a deflection up to 200 mm)



Appui rotulé à rouleau

Rolling and hinged bearing



Poteau dans son cadre d'essai, détail de la rotule inférieure avec chargement excentrique (10 mm)
Column in test frame, detail of the lower hinge with eccentric loading (10 mm)



Chargement uniforme sur plancher
Uniform loading on floor

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 16/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

4 CONDITIONS D'ESSAI – TEST CONDITIONS

4.1 TEMPÉRATURE DU FOUR (SCÉNARIOS D'INCENDIE) – FURNACE TEMPERATURE (FIRE SCENARIOS)



La résistance au feu des éléments de construction peut être évaluée au moyen d'un ou plusieurs niveaux d'action thermique. Les normes d'essai précisent quelle(s) attaque(s) peuvent être utilisée(s) selon le type d'élément testé. Ces divers niveaux d'action thermique correspondent à différents scénarios d'incendie.

Les normes d'essai indiquent la consigne de température à suivre (sous la forme d'une équation température/temps) et les tolérances à respecter.

Les principaux scénarios d'incendie sont présentés ci-dessous. Il existe d'autres courbes d'échauffement; par exemple pour des cas extrêmes (tunnels routiers, centrales nucléaires, ...), des courbes conventionnelles plus sévères peuvent être exigées.

Dans les équations ci-dessous :

- t est le temps depuis le début de l'essai en minutes,
- T est la température moyenne du four en °C.



Fire resistance of building elements shall be assessed using one or several levels of thermal attack. Test standards identify which attack(s) shall be used depending on the type of test specimen. These various levels of thermal action reflect different fire scenarios.

The test standards give the temperature setpoint to follow (as a temperature/time equation) and the tolerances to be respected.

The main fire scenarios are listed below. Other heating curves exist; for example for extreme fire scenarios (traffic tunnels, nuclear plants, ...), more severe conventional curves can be specified.

In equations below:

- t is the time from the start of the test in minutes (min),
- T is the mean furnace temperature in degrees Celsius (°C).

4.1.1 Consigne de température – Temperature setpoint

Courbe normalisée température/temps (incendie après embrasement éclair) – Standard temperature/time curve (post flash-over fire)



Ce scénario est de loin le plus utilisé. Cette relation correspond au modèle d'incendie pleinement développé dans un compartiment. Cette courbe porte également le nom de "courbe ISO 834".

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$



This scenario is by far the most used. This relationship is a model of a fully developed fire in a compartment. This curve is also called "ISO 834 curve".

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 17/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Courbe d'échauffement lent (feu qui couve) – Slow heating curve (smouldering fire)



La résistance au feu de certains produits – telle que déterminée à l'aide de la courbe température/temps standard donnée ci-dessus – peut s'avérer substantiellement diminuée dans le cas d'un incendie à développement lent. C'est le cas des produits réagissant à la chaleur (c'est-à-dire des produits principalement réactifs ou intumescents).

L'essai de feu couvant est utilisé dans ce cas où l'on s'attend à des performances de résistance au feu réduites par l'exposition à des températures correspondant au stade de croissance d'un feu. Il est particulièrement bien adapté à des éléments dont les performances sont susceptibles de dépendre des grandes vitesses d'échauffement au-dessous de 500°C environ.

$$T = \begin{cases} 154t^{0,25} + 20 & \text{pour } 0 < t \leq 21 \\ 345 \log_{10}(8(t-20)+1) + 20 & \text{pour } 21 < t \end{cases}$$



The fire resistance of some products – determined using the standard temperature/time curve given above – may be substantially reduced in a slowly growing fire. Examples are products which are reactive under the influence of heat (i.e. mainly reactive or intumescent products).

The smouldering fire test is used in this specific case where it is expected that the fire resistance performance may be reduced by exposure to temperatures associated with the growth stage of a fire. It is particularly relevant to elements whose performance may be dependent upon high heating rates below approximately 500 °C.

$$T = \begin{cases} 154t^{0,25} + 20 & \text{for } 0 < t \leq 21 \\ 345 \log_{10}(8(t-20)+1) + 20 & \text{for } 21 < t \end{cases}$$

Courbe d'exposition au feu externe – External fire exposure curve



Dans certains cas, des éléments sont susceptibles d'être exposés à des conditions moins sévères que celles rencontrées lorsque l'élément est exposé à un feu dans un local. Les murs périphériques d'un bâtiment, susceptibles d'être exposés à un incendie extérieur ou à des flammes sortant des fenêtres, en sont un exemple. Il est également nécessaire de s'assurer que la nature de la protection incendie est telle qu'un retour de feu dans le bâtiment est empêché. En raison de la nature du feu externe caractérisé par les possibilités supplémentaires de dissipation de la chaleur, un niveau inférieur d'exposition à la chaleur est donné.

$$T = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20$$



In some cases elements may be exposed to conditions which are less severe than when the element or structure is exposed to a compartment fire. Examples of this are walls at the perimeter of a building which may be exposed to an external fire or flames coming out of windows. There is also a need to ensure that the nature of fire protection is such that the re-entry of the fire into the building is prevented. Because of the nature of external fire characterized by the additional possibilities for heat dissipation, a lower level of heat exposure is given.

$$T = 660(1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20$$

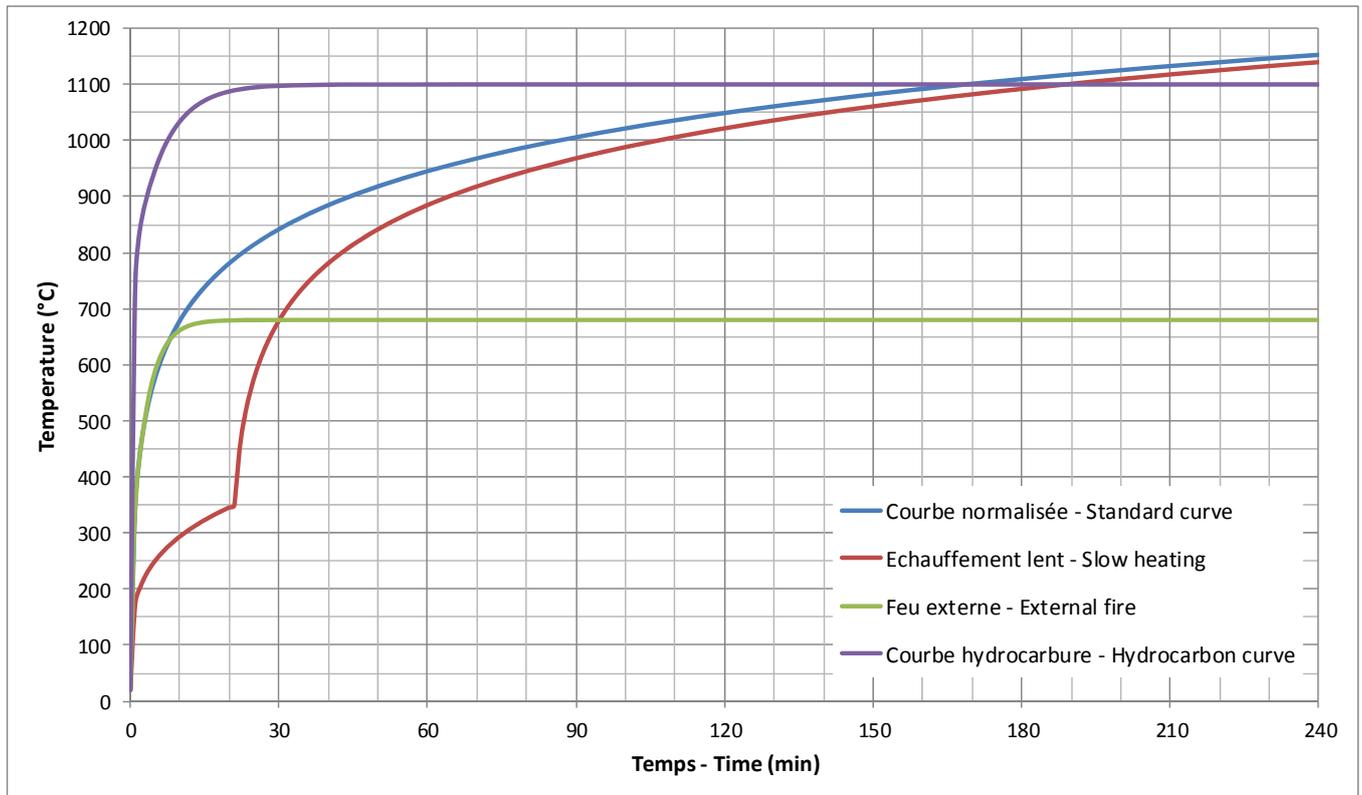
Courbe hydrocarbure – Hydrocarbon curve

 Dans certains cas pratiques, il est possible d'identifier des scénarios dans lesquels il pourrait exister un écart important par rapport aux conditions standards. Un exemple se rencontre dans l'industrie pétrochimique et l'exploitation pétrolière en mer où il existe une menace d'exposition à des feux très intenses comme les incendies de nappes de liquide. Ces incendies sont caractérisés par des températures plus élevées et une croissance très rapide.

$$T = 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20$$

 In some practical cases it is possible to identify scenarios where significant variation from the standard conditions could exist. One such example is in the petrochemical and offshore oil industries where there is a threat of exposure to very intense fires such as liquid pool fires. Such fires are characterized by higher temperatures and a rapid rate of growth.

$$T = 1080(1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20$$



Courbes de température usuelles
 Usual temperature curves

4.1.1 Tolérances de température – Temperature tolerances

 Pour les courbes usuelles détaillées ci-dessus, les tolérances à respecter lors de l'essai sont :

$$d_e = \left| 100 \frac{A_{mes} - A_{cons}}{A_{cons}} \right| \leq \begin{cases} 15\% & \text{pour } 5 < t \leq 10 \\ (15 - 0,5(t - 10))\% & \text{pour } 10 < t \leq 30 \\ (5 - 0,083(t - 30))\% & \text{pour } 30 < t \leq 60 \\ 2,5\% & \text{pour } 60 < t \end{cases}$$

où :

- d_e est l'écart en pourcentage (entre l'aire sous la courbe de température moyenne mesurée par les thermocouples du four en fonction du temps et l'aire sous la courbe de consigne de température en fonction du temps),
- A_{mes} est l'aire sous la courbe de température moyenne mesurée du four en fonction du temps,
- A_{cons} est l'aire sous la courbe de consigne température-temps.



For the usual curves detailed above, tolerances to be observed during the test are:

$$d_e = \left| 100 \frac{A_{meas} - A_{set}}{A_{set}} \right| \leq \begin{cases} 15\% & \text{for } 5 < t \leq 10 \\ (15 - 0,5(t - 10))\% & \text{for } 10 < t \leq 30 \\ (5 - 0,083(t - 30))\% & \text{for } 30 < t \leq 60 \\ 2,5\% & \text{for } 60 < t \end{cases}$$

where:

- d_e is the percentage deviation (in the area under the curve of the average temperature measured by the furnace thermocouples versus time from the area under the curve of the temperature setpoint versus time),
- A_{meas} is the area under the average measured furnace temperature/time curve,
- A_{set} is the area under the temperature/time setpoint curve.

4.2 PRESSION DANS LE FOUR – FURNACE PRESSURE



Dans un four, la répartition de la pression en fonction de la hauteur est principalement influencée par l'effet de poussée naturelle des gaz et, pour les besoins du contrôle de la pression, on peut supposer que le gradient de pression sera approximativement égal à 8,5 Pa par mètre de hauteur du four.

Le système de mesurage de la pression doit être tel qu'il ignore les variations rapides de pression (par exemple avec des cycles de 1 seconde ou moins) associées à des turbulences.

Les normes d'essai indiquent la consigne de pression à suivre (sous la forme d'une consigne constante) et les tolérances à respecter.

Dans les équations ci-dessous :

- t est le temps depuis le début de l'essai en minutes,
- $\Delta P = P_{four} - P_{ext}$ est la surpression dans le four en Pa.



The pressure distribution over the height of a furnace is mainly influenced by the natural buoyancy effect of the gases. For the purpose of controlling the pressure, it can be assumed that the pressure gradient will be approximately 8,5 Pa per metre height of furnace.

The pressure measuring system shall be such that it disregards rapid fluctuations in pressure (e.g. with cycles of 1 s or less) associated with turbulence.

The test standards give the pressure setpoint to follow (as a overpressure nominal constant value) and the tolerances to be respected.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 20/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

In equations below:

- t is the time from the start of the test in minutes (min),
- $\Delta P = P_{furnace} - P_{ext}$ is the overpressure in the furnace in Pa.

4.2.1 Consigne de pression – Pressure setpoint

Elements d'essai verticaux – Vertical test specimen



D'une façon générale (sauf rares prescriptions contraires dans les normes d'essais spécifiques), la consigne de pression doit être déterminée de façon :

- à établir le plan de pression neutre (une surpression nulle) à 500 mm au-dessus du niveau de plancher théorique, et
- à ce que la surpression nominale ne dépasse pas 20 Pa au sommet de l'élément d'essai.

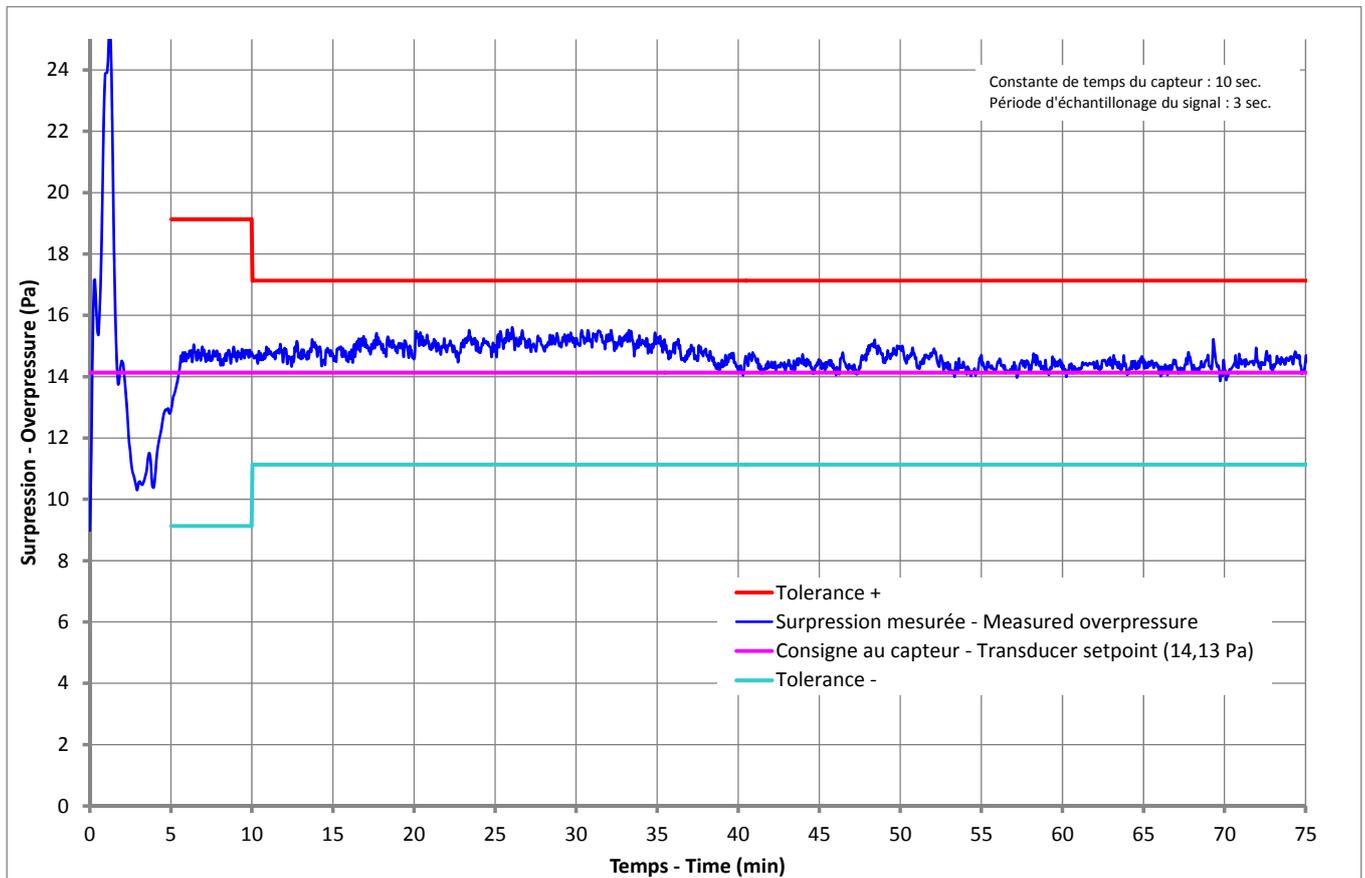
De la seconde prescription est susceptible de résulter un ajustement de la hauteur du plan de pression neutre.



Very generally (unless rare other specifications in specific test standards), the furnace pressure setpoint shall be determined so that:

- the neutral pressure plane (an overpressure of zero) is established 500 mm above notional floor level, and
- the nominal overpressure shall not exceed 20 Pa at the top of the test specimen.

The second requirement may result in adjustment of the height of the neutral pressure plane.



Surpression mesurée durant un essai sur une porte
 Measured overpressure during a test on a door

Elements d'essai horizontaux – Horizontal test specimen



D'une façon générale (sauf rares prescriptions contraires dans les normes d'essais spécifiques), la consigne de pression doit être déterminée de façon :

- à établir le plan de pression neutre (une surpression nulle) à 500 mm au-dessus du niveau de plancher théorique (ce qui nécessite de connaître la hauteur au-dessus du niveau de plancher à laquelle l'élément est destiné à être monté en pratique), et
- à ce que la surpression nominale ne dépasse pas 20 Pa à 100 mm au-dessous de la face inférieure de l'élément d'essai.

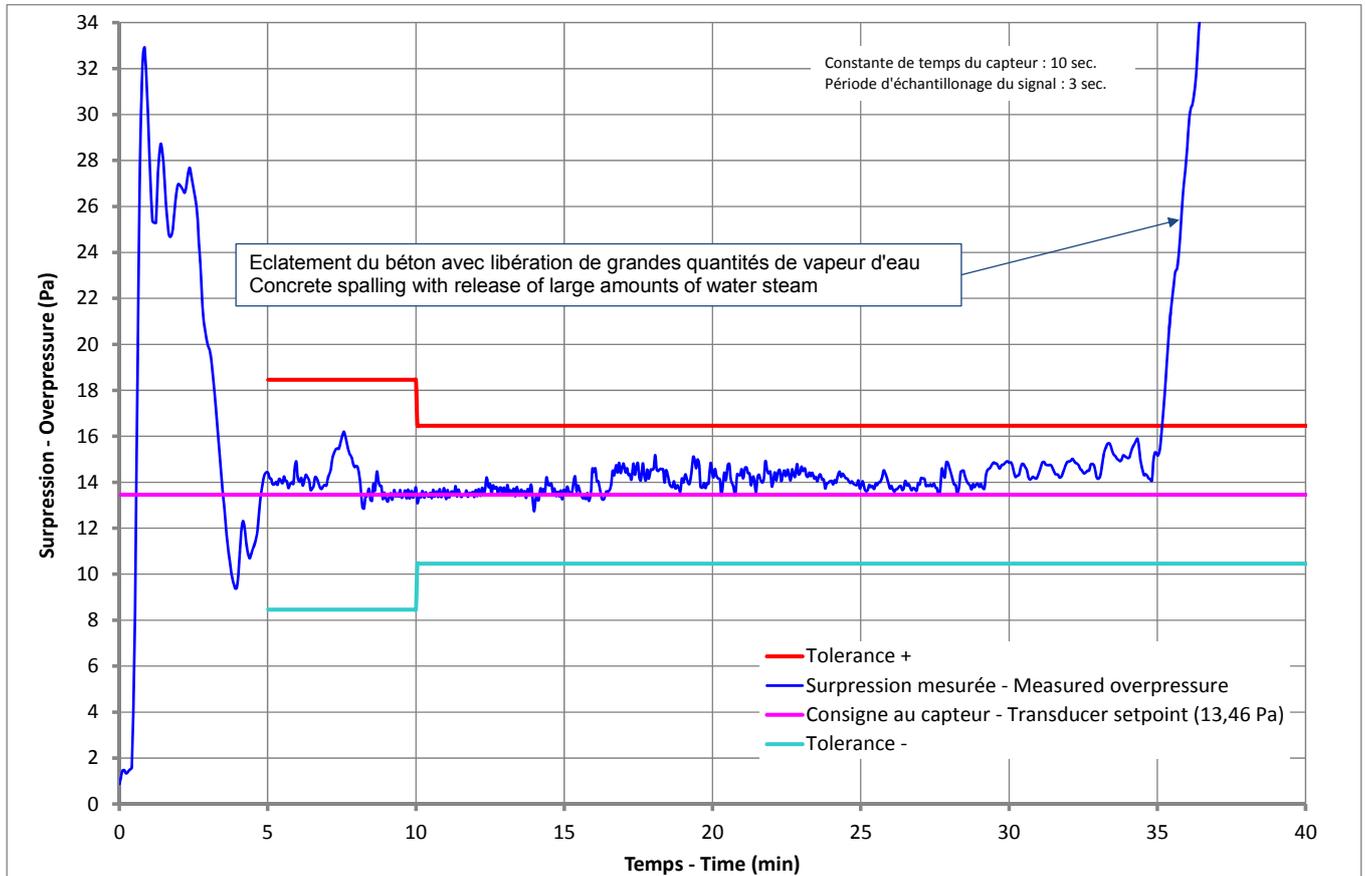
De la seconde prescription est susceptible de résulter un ajustement de la hauteur du plan de pression neutre.



Very generally (unless rare other specifications in specific test standards), the furnace pressure setpoint shall be determined so that:

- the neutral pressure plane (an overpressure of zero) is established 500 mm above notional floor level (this requires to know the height above the floor level at which the element is intended to be mounted in practice), and
- the nominal overpressure shall not exceed 20 Pa at 100 mm below the underside of the test specimen.

The second requirement may result in adjustment of the height of the neutral pressure plane.



Surpression mesurée durant un essai sur une dalle de plancher en béton
 Measured overpressure during a test on a concrete floor slab

4.2.2 Tolérances de pression – Pressure tolerances



Dans tous les cas, les tolérances à respecter lors de l'essai sont :

$$d_p = |\Delta P_{mes} - \Delta P_{cons}| \leq \begin{cases} \text{pas de contrainte} & \text{pour } t < 5 \\ 5 & \text{pour } 5 \leq t < 10 \\ 3 & \text{pour } 10 \leq t \end{cases}$$

où :

- d_p est l'écart entre la surpression mesurée par le capteur de pression du four et la consigne de surpression,
- ΔP_{mes} est la surpression mesurée dans le four,
- ΔP_{cons} est la consigne de surpression.

Pour un élément d'essai présentant des combustions rapides, un écart par excès des tolérances peut être accepté pendant une durée ne dépassant pas 5 min sous réserve que cet écart par excès soit clairement identifié comme étant associé à la combustion soudaine de quantités importantes de matériaux combustibles, conduisant à une augmentation de la pression des gaz dans le four.



In all cases, tolerances to be observed during the test are:

$$d_p = |\Delta P_{meas} - \Delta P_{set}| \leq \begin{cases} \text{no restriction} & \text{for } t < 5 \\ 5 & \text{for } 5 \leq t < 10 \\ 3 & \text{for } 10 \leq t \end{cases}$$

where:

- d_p is the deviation between the overpressure measured by the transducer in the furnace and the overpressure setpoint,
- ΔP_{meas} is the overpressure measured by the transducer in the furnace,
- ΔP_{set} is the overpressure setpoint.

For a test specimen which burns rapidly, a deviation in excess of the tolerances may be exceeded for a period of maximum 5 min, provided that such an excess deviation is clearly identified as being associated with the sudden ignition of significant quantities of combustible materials increasing the pressure in the furnace.

4.3 ATMOSPHÈRE DU FOUR – FURNACE ATMOSPHERE



La proportion combustible/air au niveau des brûleurs doit être réglée pour donner une teneur en oxygène de 4% au minimum dans l'atmosphère du four lors des essais effectués sur des éléments d'essai ne comportant aucun combustible. On utilise un capteur de concentration d'oxygène à cette fin.

Niveau de précision à respecter pour ce capteur : $\pm 0,5\%$ O_2 (à démontrer par étalonnage)



The fuel/air ratio to the burners shall be set to give a minimum oxygen content of furnace atmosphere of 4% when testing specimens with no combustible content. For this purpose, an oxygen concentration sensor is used.

Level of precision to meet for this transducer: $\pm 0,5\%$ O_2 (to be demonstrated by calibration)



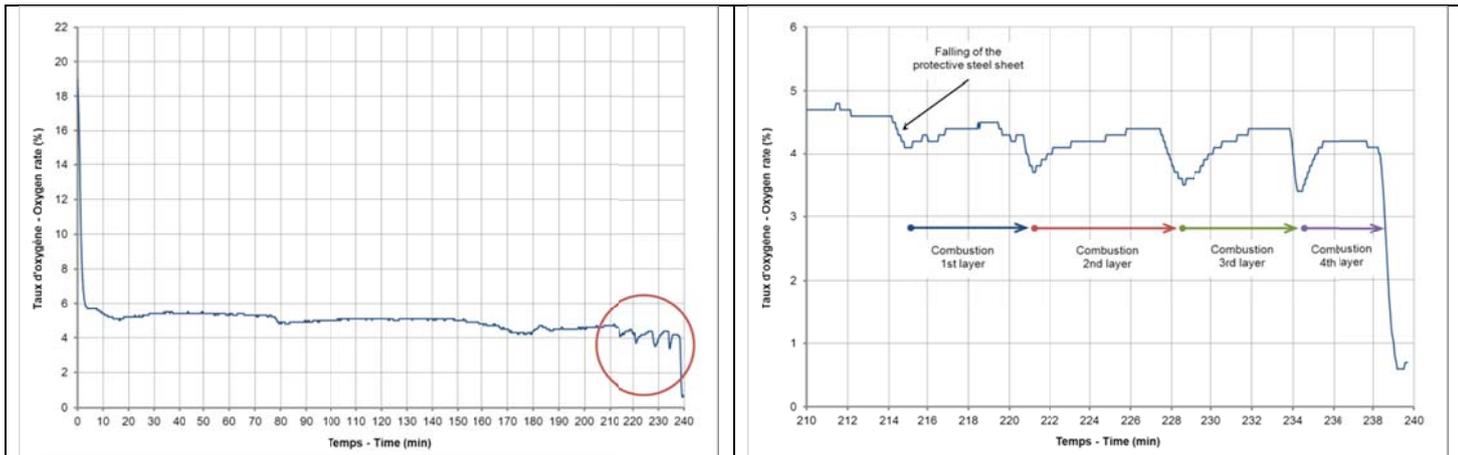
Capteur de concentration d'oxygène
Oxygen concentration sensor



La mesure du taux d'oxygène en cours d'essai peut parfois apporter des informations utiles concernant la combustion de l'élément d'essai. L'exemple ci-dessous montre le cas d'un mur consistant en 4 couches de panneaux isolant encapsulées dans des couvercles en tôle.



The measurement of oxygen ratio during fire tests can sometimes provide useful information regarding the combustion of the test specimen. The example below shows the case of a wall consisting of 4 insulated boards layers encapsulated in steel metal sheets.



Mesure de taux d'oxygène montrant un phénomène de combustion
 Oxygen level measurement showing a combustion phenomenon

4.4 APPLICATION DE LA CHARGE – LOADING



La charge appliquée sur un élément d'essai pendant un essai au feu a un effet important sur ses performances et constitue également un facteur important à considérer dans l'application ultérieure des données d'essai. Le commanditaire doit fournir au laboratoire les éléments concernant la charge d'essai en indiquant tous les calculs éventuels. Le commanditaire doit également indiquer le rapport existant entre la charge d'essai et la charge appliquée en service. Si la charge d'essai repose sur les propriétés des matériaux, le laboratoire doit vérifier autant que possible les valeurs réelles de ces propriétés sur l'élément d'essai.

La charge d'essai doit être appliquée au moins 15 minutes avant le début de l'essai et à une vitesse telle qu'il n'en résulte aucun effet dynamique. Tous les déplacements résultants doivent être mesurés et la charge maintenue constante avant l'essai au feu jusqu'à la stabilisation de ces déplacements.

Les charges appliquées par des systèmes hydrauliques doivent être mesurées au moyen d'une cellule de charge, ou d'un capteur de pression hydraulique dont les valeurs seront converties en charge. L'avantage du premier est d'être plus précis, alors que le second peut être placé loin de l'élément d'essai.

Niveau de précision à respecter pour ce capteur : $\pm 2,5\%$ de la charge d'essai (à démontrer par étalonnage)

Les normes d'essai indiquent les tolérances à respecter autour de la consigne de chargement : le matériel d'application de la charge doit être capable de maintenir la charge d'essai à une valeur constante (à $\pm 5\%$ près de la consigne) sans modification de sa répartition et en suivant le déplacement maximal ainsi que la vitesse de déplacement de l'élément d'essai jusqu'au point de rupture en capacité portante.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGENCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 25/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------



The load applied to a test specimen during a fire test has a significant effect upon its performance as well as being an important consideration in the further application of the test data. The sponsor shall provide to the laboratory the basis for the test load, including any calculation. The sponsor shall also indicate the relationship between the test load and the load applied in service. If the test load is based on material properties, the laboratory shall verify, as far as possible, the actual values of these properties on the test specimen.

The test load shall be applied at least 15 minutes before the commencement of the test and at such a rate that no dynamic effects are incurred. All resulting deflections shall be measured and the load shall be held constant prior to fire testing until the deflections are stabilised.

The loads applied by hydraulic loading systems shall be measured by means of a load cell, or by an hydraulic pressure transducer whose values will be converted into load. The advantage of the first is to be more accurate, while the second can be placed away from the test element.

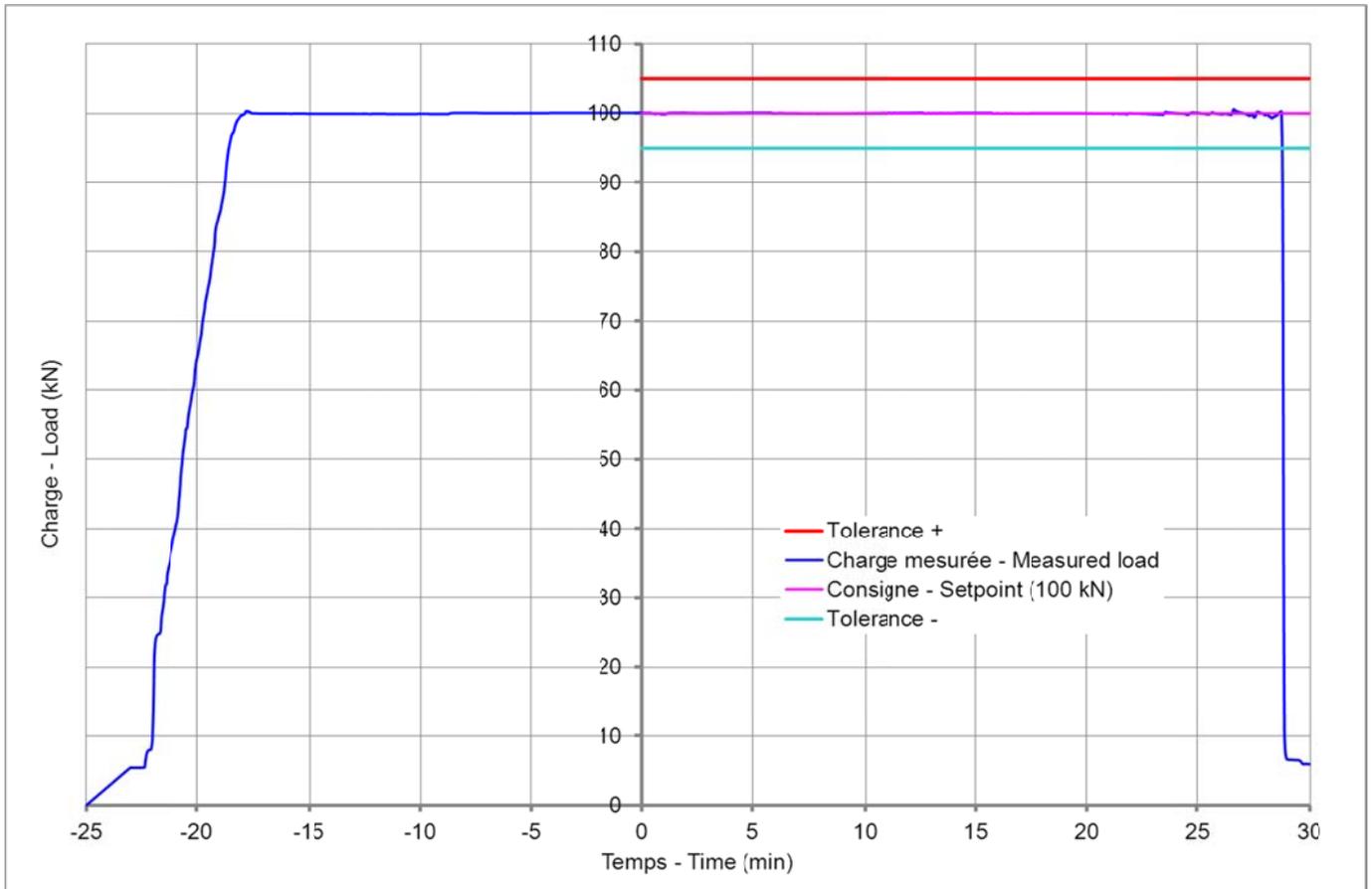
Level of precision to meet for this transducer: $\pm 2,5\%$ of the test load (to be demonstrated by calibration)

The test standards give the tolerances to be respected around the load setpoint: the loading equipment shall be capable of maintaining the test load at a constant value ($\pm 5\%$ of the setpoint) without changing its distribution and following the maximum deflection and the rate of deflection of the test specimen until failure of loadbearing capacity occurs.



Exemples d'instruments utilisés : cellule de force et transmetteur de pression hydraulique (tous deux piezorésistifs)

Examples of instruments used: load cell and hydraulic pressure transmitter (both piezoresistive)



Charge mesurée au cours d'un essai sur une poutre en acier HEB 300 (chargement en 2 points)
Load measured during a test on a steel beam HEB 300 (loading in 2 points)

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 27/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

5 INSTALLATION DE L'ÉLÉMENT D'ESSAI – INSTALLATION OF TEST SPECIMEN

 L'élément d'essai doit être installé d'une manière représentative de son utilisation pratique. Des modes opératoires détaillés pour l'installation de types différents d'éléments d'essai sont donnés dans les méthodes d'essai appropriées.

 The test specimen shall be installed in a manner representative of its use in practice. Detailed procedures for the installation of different types of test specimens are given in the relevant test methods.

5.1 CADRE D'ESSAI ET CONSTRUCTION SUPPORT

 Des cadres d'essai spéciaux ou d'autres moyens doivent être employés pour reproduire les limites et les conditions d'appui correspondant aux constructions d'essai. Suivant le type d'élément d'essai à évaluer, il peut s'avérer nécessaire de le monter dans une construction support. Dans ce cas, les méthodes d'essai envisagent la possibilité de conditions normalisées ou non, comme suit :

- construction support normalisée :
 - construction rigide à forte densité (murs en blocs de béton, en maçonnerie ou en béton homogène ayant une masse volumique globale $\geq 850 \text{ kg/m}^3$)
 - construction rigide à faible densité (murs en blocs de béton cellulaire ayant une masse volumique globale de $(650 \pm 200) \text{ kg/m}^3$)
 - construction flexible (cloison légère en plaques de plâtre à montants en acier)
- constructions support non normalisées

 Special test frames or other means shall be employed to reproduce the boundary and support conditions appropriate for the test constructions. Depending on the type of test specimen being evaluated, it may be necessary to mount it in a supporting construction. In this case, the test methods consider the possibility of standard or non-standard conditions, as follows:

- standard supporting constructions:
 - high density rigid construction (blockwork, masonry or homogenous concrete wall with an overall density $\geq 850 \text{ kg/m}^3$)
 - low density rigid construction (aerated concrete block wall with an overall density of $(650 \pm 200) \text{ kg/m}^3$)
 - flexible construction (lightweight plasterboard faced steel stud partition)
- non-standard supporting constructions

5.2 BORD LIBRE – FREE EDGE

 Lorsque la largeur de l'élément dans la pratique est plus grande que l'ouverture frontale du four, les normes d'essai imposent généralement qu'un bord vertical de l'élément reste non assujéti au cadre d'essai. Un jeu (de 25 mm à 50 mm) est alors laissé entre le bord libre de l'élément d'essai et le cadre d'essai, cet espace libre étant garni avec un matériau non combustible élastique (par exemple, de la fibre minérale) afin d'assurer un joint sans limiter la liberté de mouvement.

 Where, in practice the width of the construction is larger than the front opening of the furnace, test methods usually request that one vertical edge shall be left unrestrained from the test frame. A gap

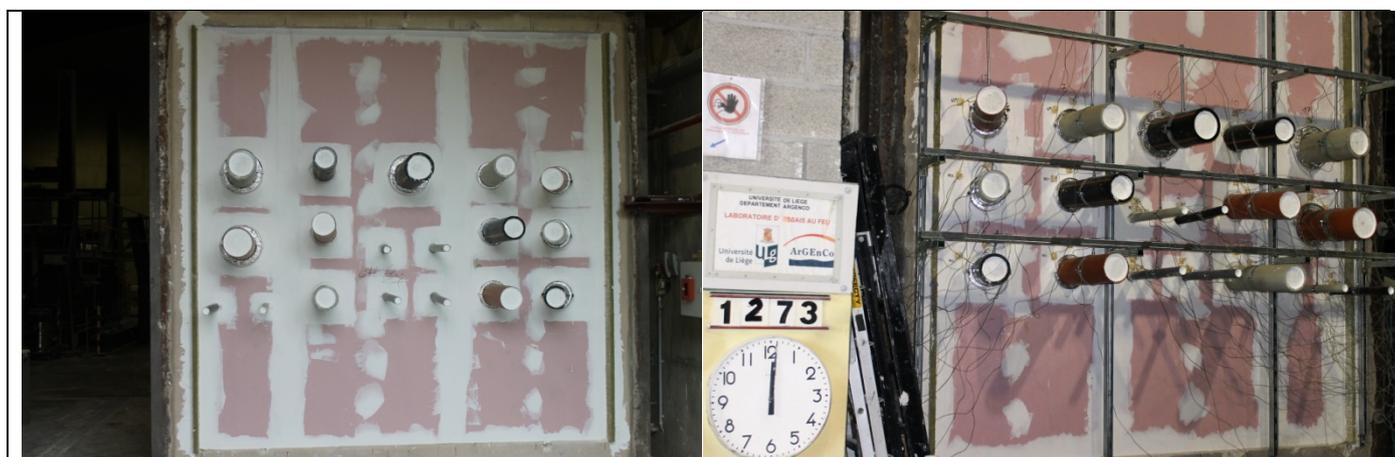
(of 25 mm to 50 mm) is then provided between the free edge of the test specimen and the test frame, this gap being packed with a resilient non-combustible material, e.g. mineral fibre, to provide a seal without restricting freedom of movement.



Porte montée dans une construction rigide à faible densité, elle-même montée dans un cadre d'essai
 Door mounted in a low density rigid construction, itself mounted in a test frame



Cloison en plaques de plâtre montée dans un cadre d'essai avec un bord libre vertical
 Plasterboard partition mounted in a test frame with a vertical free edge



Calfeutrements de trémie montés dans une construction flexible avec deux bords libres verticaux

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 29/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Penetration seals mounted in a flexible construction with two vertical free edges

6 APPLICATION DE L'INSTRUMENTATION – APPLICATION OF INSTRUMENTATION

6.1 THERMOCOUPLES POUR LA SURFACE NON EXPOSÉE – UNEXPOSED SURFACE THERMOCOUPLES

6.1.1 Matériel – Device

 La température de la surface non exposée de l'élément d'essai est mesurée au moyen de thermocouples à disque. Ceux-ci sont constitués de fils de thermocouple de type K (de 0,5 mm de diamètre) soudés sur un disque de cuivre (de 12 mm de diamètre), et recouvert d'un tampon isolant. La surface du disque de cuivre (jonction de mesure) doit être bien appliquée sur la surface non exposée de l'élément d'essai, et l'ensemble est maintenu en place par le tampon isolant au moyen d'une colle résistant à la chaleur. Il faut s'assurer qu'aucune colle ne se glisse entre le disque et la surface de l'élément d'essai. Outre ces thermocouples fixes, un thermocouple mobile peut également être appliqué sur tous les points chauds présumés qui se manifestent pendant l'essai.

Niveau de précision à respecter pour ces thermocouples : $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (à démontrer par étalonnage)

 The temperature of the unexposed surface of the test specimen is measured by means of disc thermocouples. These consist of type K thermocouple wires (0,5 mm in diameter) soldered to a copper disc (12 mm in diameter), and covered with an insulating pad. The surface of the copper disc (measuring junction) shall be in intimate contact with the unexposed surface of the specimen, and the whole is fixed by the insulating pad by the use of a heat-resistant adhesive. Ensure that no adhesive gets between the disc and the surface of the specimen. In addition to these fixed thermocouples, a similar roving thermocouple may also be applied to any suspected hot spot which develops during the test.

Level of precision to meet for these thermocouples: $\pm 4^{\circ}\text{C}$ (to be demonstrated by calibration)



Thermocouple à disque et sa jonction de mesure

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGenCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 30/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Disc thermocouple and its measuring junction



Utilisation d'un thermocouple mobile sur une cloison en panneaux sandwich
Use of a roving thermocouple on a sandwich panels wall

6.1.2 Positionnement – Positioning

Température moyenne de la face non exposée – Average unexposed face temperature



Le mesurage de la température moyenne de la face non exposée a pour but de déterminer le niveau général de l'isolation thermique de l'élément d'essai, en négligeant les points chauds particuliers desquels les thermocouples doivent rester à une distance d'au moins 50 mm (ponts thermiques, joints, fixations traversantes, ...). L'élévation moyenne de la température est ainsi basée sur les mesurages obtenus à partir des 5 thermocouples de surface situés au centre de l'élément d'essai et au centre de chaque quart.



The purpose of the average unexposed face temperature measurement is to determine the general level of insulation of the test specimen, while ignoring particular hotspots from which thermocouples must be maintained at a distance of at least 50 mm (thermal bridges, joints, through fixings, ...). The average temperature rise is thus based upon measurements obtained from 5 surface thermocouples located at the centre of the test specimen and at the centre of each quarter section.

Température maximale de la face non exposée – Maximum unexposed face temperature



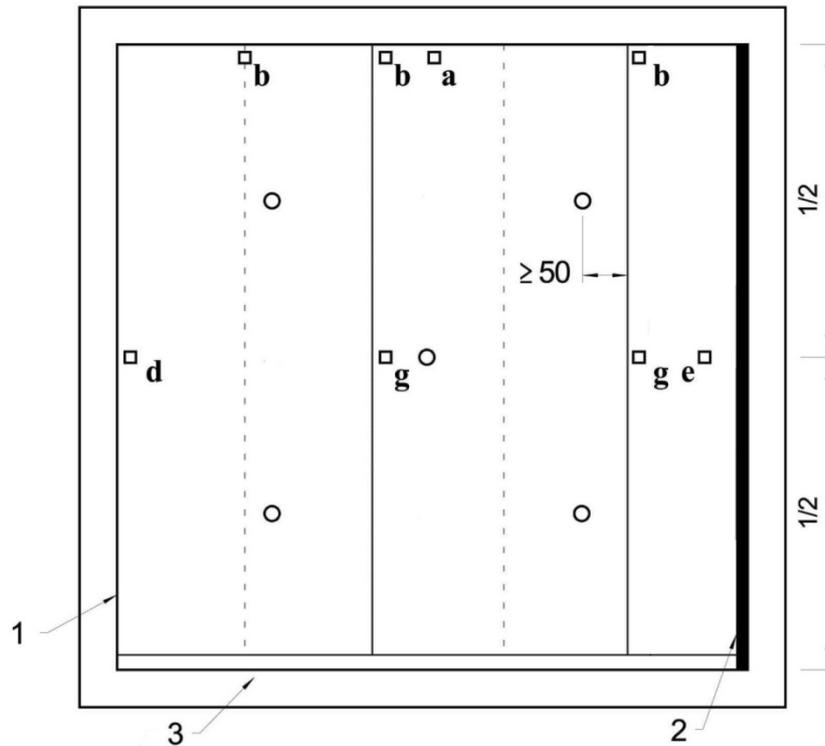
Le mesurage de la température maximale de la face non exposée a pour but de déterminer le niveau d'isolation thermique aux endroits où l'on rencontre des températures plus élevées. Des thermocouples doivent ainsi être fixés à cet effet en appliquant, normalement, un minimum de deux thermocouples pour chaque type de joint ou particularité. Lors de la mise en place d'un thermocouple près d'une discontinuité (entre deux panneaux adjacents dans un mur, par exemple), le centre du disque ne doit pas être placé à moins de 20 mm de la discontinuité.

Pour l'évaluation de l'élévation de la température maximale, les règles à suivre pour l'application des thermocouples sont données dans les méthodes d'essai spécifiques. Il n'est pas possible de résumer ces règles car elles sont presque aussi nombreuses que les types d'éléments et les géométries d'éléments rencontrés en pratique. Deux exemples coutumiers sont donnés ci-dessous.



The purpose of maximum unexposed face temperature measurement is to determine the level of insulation at those locations where higher temperatures are expected to occur. Thermocouples shall be attached for this purpose normally with a minimum of two thermocouples being applied for each type of joint/feature or location of concern. When positioning a thermocouple near a discontinuity, e.g. between adjacent panels in a wall, the centre of the disc shall not be placed closer than 20 mm to the discontinuity.

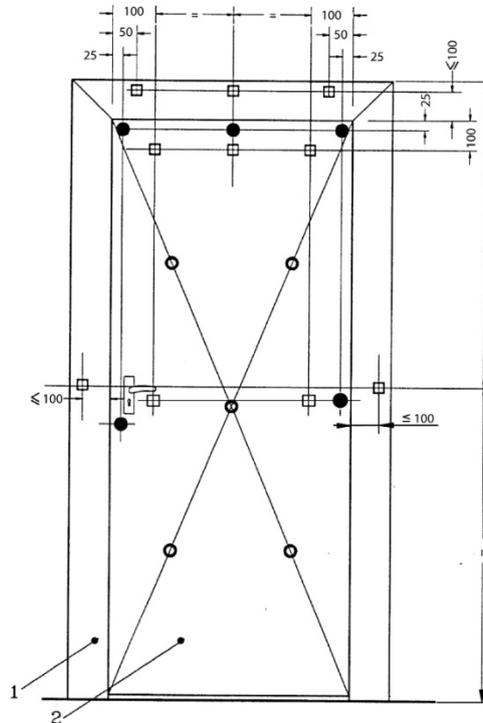
Rules for the application of thermocouples for evaluating maximum temperature rise are given in the specific test methods. It is not possible to summarize these rules because there are almost as numerous as element types and element geometries encountered in practice. Two customary examples are given below.



○ thermocouples pour l'élévation de la température moyenne
 □ thermocouples pour l'élévation de la température maximale
 1 bord fixe
 2 bord libre
 3 cadre d'essai

○ thermocouples for average temperature rise
 □ thermocouples for maximum temperature rise
 1 fixed edge
 2 free edge
 3 test frame

Exemple d'emplacement des thermocouples sur un mur creux avec une ossature en métal ou en bois
 Example of location of thermocouples on a hollow panel walls with metal or timber framework



○ thermocouples pour l'élévation de la température moyenne
 □ thermocouples pour l'élévation de la température maximale (mode opératoire normal)
 ● thermocouples supplémentaires pour l'élévation de la température maximale (mode opératoire supplémentaire)
 1 dormant
 2 ouvrant

○ thermocouples for average temperature rise
 □ thermocouples for maximum temperature rise (normal procedure)
 ● additional thermocouples for maximum temperature rise (supplementary procedure)
 1 door frame
 2 door leaf

Exemple d'emplacement des thermocouples sur un bloc-porte battant à un seul vantail
 Example of location of thermocouples on a hinged single leaf doorset

6.2 DÉPLACEMENT – DEFLECTION



Une instrumentation appropriée doit être prévue pour établir un historique de toutes les déformations importantes de l'élément d'essai pendant l'essai. Cet équipement peut utiliser des techniques mécaniques, optiques ou électriques.

Dans le cas d'éléments d'essai porteurs :

- ces mesures doivent être effectuées dès le début de l'application de la charge,
- pour les éléments porteurs horizontaux (planchers, poutres, toitures, ...), le déplacement transversal D doit être mesuré au point où il est prévu que la flèche atteigne un maximum; pour les éléments en appui simple, ce point se situe généralement à mi-portée,
- pour les éléments porteurs verticaux, le déplacement axial C (contraction) doit être mesuré.

Dans le cas d'éléments d'essai non-porteurs, les méthodes d'essai spécifiques contiennent les directives concernant l'emplacement et la fréquence de mesurage pour l'élément particulier en essai. Cela se résume essentiellement à mesurer le déplacement horizontal des éléments verticaux de séparation (murs, façades, portes, ...) en certains points spécifiques.

Niveau de précision à respecter pour ces capteurs : (à démontrer par étalonnage)

- $\pm 0,5$ mm pour les déplacements axiaux

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 33/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

- ± 2 mm pour les déplacements transversaux



Appropriate instrumentation shall be provided to determine a history of all significant deflection of the test specimen during the test. This equipment can employ mechanical, optical or electrical techniques.

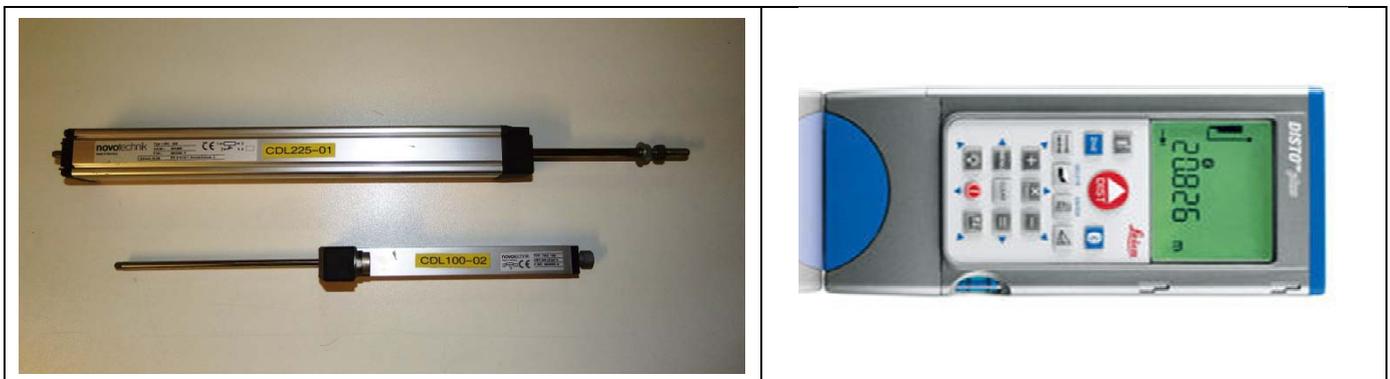
In the case of loadbearing test specimens:

- these measurements shall be made from the beginning of the application of the test load,
- for horizontal loadbearing specimens (floors, beams, roofs, ...), the transverse displacement shall be measured at the location where the maximum deflection is expected to occur; for simply supported elements this is usually at mid span,
- for vertical loadbearing specimens, axial displacement (contraction) shall be measured.

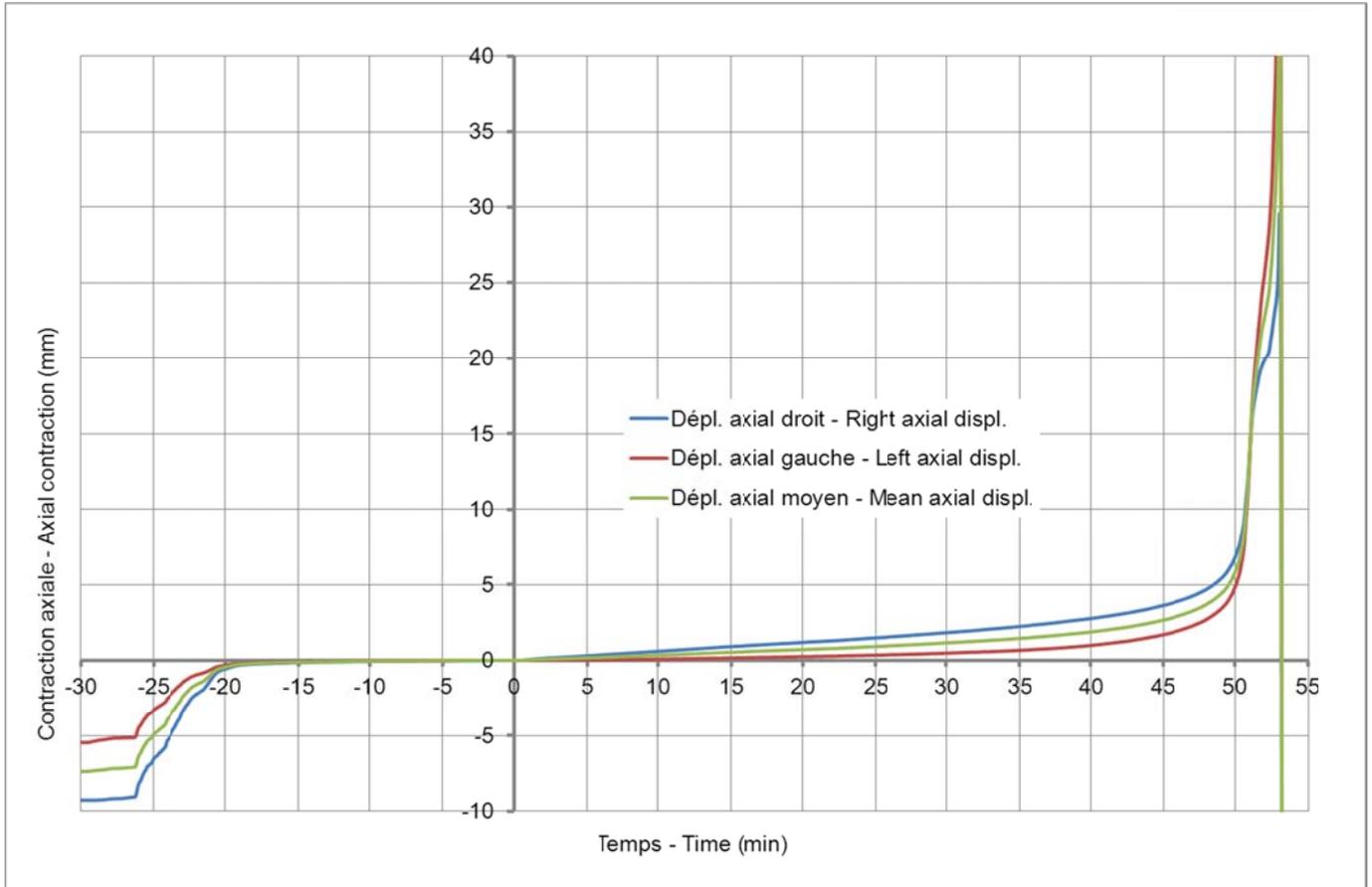
In the case of non-loadbearing test specimens, the specific test methods contain guidance on the location and frequency of measurement for the particular element under test. In essence, it boils down to measure the horizontal deflection of vertical separating elements (walls, facades, doors, ...) in some specific points.

Level of precision to meet for these transducers: (to be demonstrated by calibration)

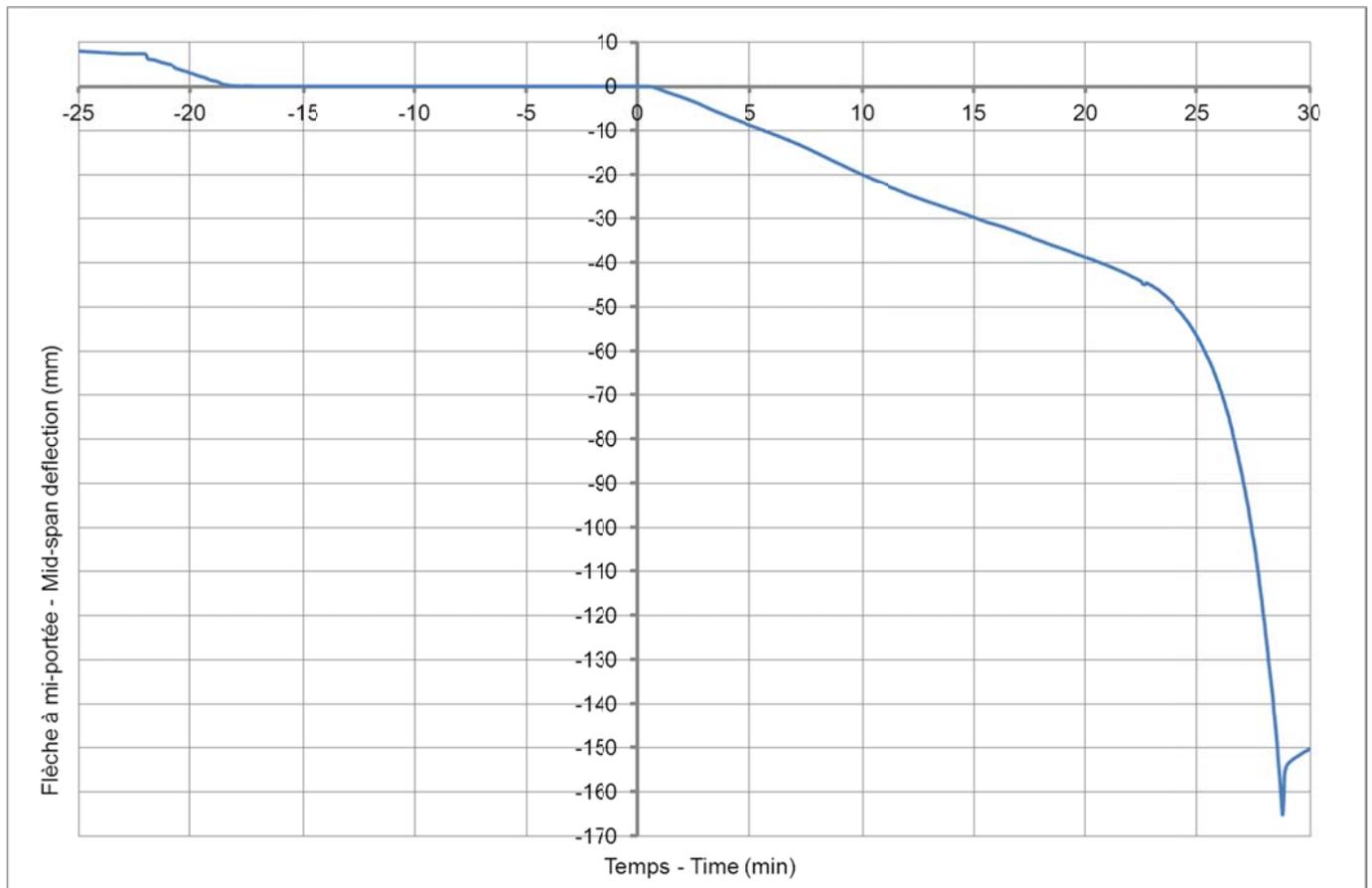
- $\pm 0,5$ mm for axial displacements
- ± 2 mm for transverse displacements



Exemples d'instruments utilisés : capteurs de déplacement potentiométrique et lasermetre
Examples of instruments used: potentiometric position transducer and lasermeter



Déplacements axiaux mesurés au cours d'un essai sur un mur porteur à ossature bois
Axial displacements measured during a test on a loadbearing timber frame wall



Flèche mesurée au cours d'un essai sur une poutre en acier HEB 300
Deflection measured during a test on a steel beam HEB 300

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu</p> <p>Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 36/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

7 RÉSULTATS D'ESSAI – TEST RESULTS



Les méthodes d'essai décrivent des critères de défaillance à évaluer. La durée, exprimée en minutes, pendant laquelle chaque critère a été satisfait constitue un résultat d'essai. Pour un essai, il existe donc autant de résultats d'essai que de critères à évaluer.

De là, les méthodes d'essai définissent des performances. Chacune est déterminée par la combinaison de plusieurs critères et s'exprime sous la forme de la durée, exprimée en minutes, pendant laquelle les critères concernés ont été satisfaits simultanément.

Les principales performances de résistance au feu sont :

- la capacité portante,
- l'étanchéité au feu,
- l'isolation thermique, et plus accessoirement
- le rayonnement.

Le début de l'essai correspond au moment du lancement de la courbe d'échauffement (allumage des brûleurs du four). Le temps écoulé est mesuré à partir de ce point.



The test methods describe some failure criteria to assess. The time, in minutes, during which each criterion was satisfied represents a test result. For one test, there are thus as many test results as criteria to assess.

From there, test methods define some performances. Each of them is determined by the combination of several criteria and is expressed as the time, in minutes, during which the appropriate criteria have been satisfied simultaneously.

The main fire resistance performances are:

- the loadbearing capacity,
- the integrity,
- the insulation, and to a lesser extent
- the radiation.

The commencement of the test is the moment when the heating curve has been initiated (igniting the burners of the furnace). The elapsed time is measured from this point.

7.1 CAPACITÉ PORTANTE – LOADBEARING CAPACITY



La capacité portante est l'aptitude d'un élément de construction à supporter l'exposition au feu sous des actions mécaniques définies sur une ou plusieurs faces pendant un temps donné sans perte de stabilité structurale.

La capacité portante est déterminée comme étant le temps en minutes pleines pendant lequel les deux critères ci-dessous restent satisfaits.

Dans les équations ci-dessous :

- D est la flèche prise par l'élément d'essai en mm,
- L est la longueur de la portée de l'élément d'essai en mm,
- d est la distance entre la fibre extrême de la zone de compression en calcul à froid et la fibre extrême de la zone extensible en calcul à froid de la section structurale en mm,

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 37/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

- C est la contraction axiale de l'élément d'essai en mm,
- h est la hauteur initiale de l'élément d'essai en mm.

Pour l'application des critères, le point zéro des déplacements est considéré après avoir appliqué la charge au commencement de l'essai et avant le début de l'échauffement.



Loadbearing capacity is the ability of an element of construction to withstand fire exposure under specified mechanical actions, on one or more faces, for a period of time, without any loss of structural stability.

Loadbearing capacity is determined as the time in completed minutes during which the two criteria below are met.

In equations below:

- D is the deflection of the test specimen in mm,
- L is the clear span of the test specimen in mm,
- d is the distance from the extreme fibre of the cold design compression zone to the extreme fibre of the cold design tension zone of the structural section in mm,
- C is the axial contraction of the test specimen in mm,
- h is the initial height of the test specimen in mm.

For the purposes of the criteria, zero point for displacements is considered after applying the load at the beginning of the test and before commencement of heating.

7.1.1 Déplacement limite – Limiting deflection



La défaillance du critère survient lorsque l'amplitude du déplacement atteint les valeurs suivantes :

- pour les éléments chargés en flexion : $D = \frac{L^2}{400 d} mm$
- pour les éléments chargés axialement : $C = \frac{h}{100} mm$

Pour les éléments chargés axialement, le déplacement limite représente un niveau très élevé de contraction. Ce niveau n'est pas toujours atteint car des raisons de sécurité peuvent inciter à arrêter l'essai. A titre d'illustration, les images ci-dessous montrent deux exemples du niveau de déformation:

- pour un poteau (hauteur 2500 mm) atteignant une contraction de 37 mm à la fin de l'essai (à comparer à la contraction limite de 25 mm),
- pour un mur en maçonnerie (hauteur 3230 mm) toujours à une dilatation thermique de 1,8 mm à la fin de l'essai, et donc pas encore dans sa phase de contraction (à comparer à la contraction limite de 32,3 mm).



The failure of the criterion occurs when the amount of deflection achieves the following values:

- for flexurally loaded elements: $D = \frac{L^2}{400 d} mm$
- for axially loaded elements: $C = \frac{h}{100} mm$

For axially loaded elements, the limiting deflection represents a very high level of contraction. This level is not always achieved because of safety/security reasons that incite to stop the fire test. As an illustration, the pictures below shows two examples of what the level of deformation looks like:

- for a column (height 2500 mm) achieving a contraction of 37 mm at the end of the test (to be compared to the limiting contraction of 25 mm),
- for a masonry wall (height 3230 mm) still at a thermal elongation of 1,8 mm at the end of the test, and thus not yet in its contraction phase (to be compared to the limiting contraction of 32,3 mm).



Poteau en acier
Steel column



Mur en maçonnerie
Masonry wall

7.1.2 Vitesse limite de déplacement – Limiting rate of deflection



La défaillance du critère survient lorsque la vitesse de déplacement atteint les valeurs suivantes :

- pour les éléments chargés en flexion : $\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000 d} \text{ mm / min}$
- pour les éléments chargés axialement : $\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} \text{ mm / min}$

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu</p> <p>Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 39/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Des déplacements relativement rapides pouvant se produire tant que des conditions de stabilité ne sont pas atteintes, le critère de vitesse de déplacement n'est pas appliqué pendant les 10 premières minutes d'essai au feu.

En pratique, seuls les déplacements sont mesurés, et les vitesses de déplacement doivent en être déduites. Les méthodes d'essai n'abordant pas la question du calcul de la vitesse de déplacement, les laboratoires européens ont décidé en 2016 d'uniformiser leurs méthodes de calcul en adoptant la méthode des différences finies arrière avec un pas de 1 minute.



The failure of the criterion occurs when the rate of deflection achieves the following values:

- for flexurally loaded elements: $\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000 d} \text{ mm / min}$
- for axially loaded elements: $\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} \text{ mm / min}$

Since relatively rapid deflections can occur until stable conditions are reached, the rate of deflection criterion is not applied in the first 10 min of the fire test.

In practice, only the deflections are measured, and the rates of deflection must be computed. Since the test methods do not address any computing method, European laboratories have decided in 2016 to standardize their methods of calculation by adopting the backward finite difference scheme with a differentiation time step of 1 minute.

7.2 ÉTANCHÉITÉ AU FEU – INTEGRITY



L'étanchéité au feu est l'aptitude d'un élément de construction ayant une fonction de compartimentage à résister à une exposition au feu sur un seul côté en empêchant les flammes et les gaz chauds à le traverser et à empêcher l'apparition de flammes sur le côté non exposé.

L'étanchéité au feu est déterminée comme étant le temps en minutes pleines pendant lequel les trois critères ci-dessous restent satisfaits.



Integrity is the ability of an element of construction that has a separating function to withstand fire exposure on one side only by preventing the passage of flames and hot gases through and to prevent the occurrence of flames on the unexposed side.

Integrity is determined as the time in completed minutes during which the three criteria below are met.

7.2.1 Tampon de coton – Cotton pad



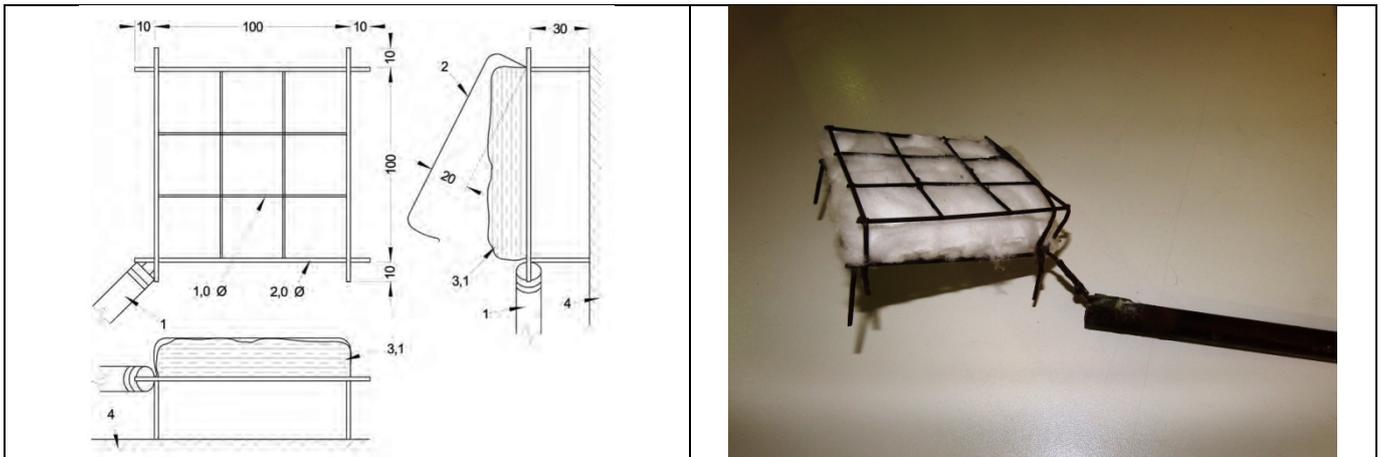
La défaillance du critère survient lorsque l'application d'un tampon de coton sur la surface non exposée de l'élément d'essai cause son allumage.

Un tampon de coton, disposé dans une cage spécifique, est appliqué à au moins 30 mm de la surface de l'élément d'essai. Les zones où sont présents des flammes ou des gaz chauds issus d'une discontinuité, d'une fissure ou d'une ouverture, sont à inspecter en priorité. Il ne faut pas prendre en compte une carbonisation du tampon de coton sans flammes ni incandescence.

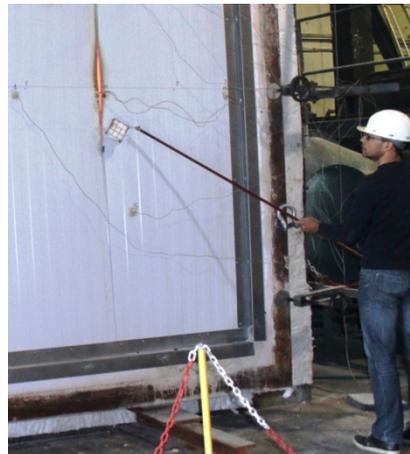


The failure of the criterion occurs when the application of a cotton pad on the unexposed surface of the test specimen causes its ignition.

A cotton pad, mounted in a specific frame, is placed at least at 30 mm of the test specimen surface. The areas where either flames or hot gasses from a discontinuity, a crack or a gap, are present shall be inspected as a priority. Charring of the cotton pad without flaming or glowing shall be ignored.



Cage de soutien du tampon de coton avec dispositif espaceur de 30 mm
 Frame for supporting the cotton pad with 30 mm spacer device



Application du tampon de coton près d'une ouverture
 Cotton pad test near an opening

7.2.2 Calibre d'ouverture – Gap gauge



La défaillance du critère survient lorsqu'une ouverture dans l'élément d'essai devient assez grande pour y permettre la pénétration d'un calibre d'ouverture.

Deux calibres d'ouverture sont employés pour déterminer :

- si le calibre d'ouverture de $\varnothing 6$ mm peut traverser l'élément d'essai de façon à dépasser dans le four et peut alors être déplacé sur une distance de 150 mm le long de l'interstice ; ou

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 41/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

- si le calibre d'ouverture de \varnothing 25 mm peut traverser l'élément d'essai de façon à dépasser dans le four.

Les calibres d'ouverture doivent être utilisés sans forcer pour passer à travers l'ouverture.



The failure of the criterion occurs when an opening in the test specimen becomes large enough to allow the penetration of a gap gauge into it.

Two gap gauges are employed to determine:

- whether the \varnothing 6 mm gap gauge can be passed through the test specimen, such that the gauge projects into the furnace, and can be moved a distance of 150 mm along the gap; or
- whether the \varnothing 25 mm gap gauge can be passed through the test specimen such that the gauge projects into the furnace.

The gap gauges shall be used without undue force to enter through the gap.



Calibres d'ouverture de \varnothing 6 et 25 mm
Gap gauges of \varnothing 6 et 25 mm

7.2.3 Inflammation soutenue – Sustained flaming



La défaillance du critère survient lorsqu'il y a apparition continue de flammes sur la surface non exposée de l'élément d'essai pendant une durée supérieure à 10 secondes.



The failure of the criterion occurs when continuous flaming occurs on the unexposed surface of the test specimen for a period of time greater than 10 seconds.



Inflammation soutenue sur une cloison (joint entre deux panneaux) et une porte (jeu huisserie-vantail)
Sustained flaming on a wall (joint between two panels) and a door (gap frame-doorleaf)

7.3 ISOLATION THERMIQUE – INSULATION



L'isolation thermique est l'aptitude d'un élément de construction ayant une fonction de compartimentage à résister à une exposition au feu sur un seul côté en limitant l'élévation de température sur la face non exposée à une valeur inférieure à des niveaux prescrits.

L'isolation thermique est déterminée comme étant le temps en minutes pleines pendant lequel les deux critères ci-dessous restent satisfaits.



Thermal insulation is the ability of an element of construction that has a separating function to withstand fire exposure on one side only by restricting the temperature rise of the unexposed face to below specified levels.

Thermal insulation is determined as the time in completed minutes during which the two criteria below are met.

7.3.1 Élévation de température moyenne – Average temperature rise



La défaillance du critère survient lorsque la température de la surface non exposée de l'élément d'essai excède, en moyenne (moyenne des thermocouples pour l'élévation de la température moyenne), la température moyenne initiale de plus de 140 K.



The failure of the criterion occurs when the temperature on the unexposed surface of the test specimen increases, in average (average of the thermocouples for average temperature rise), the initial average temperature by more than 140 K.

7.3.2 Élévation de température maximale – Maximum temperature rise



La défaillance du critère survient lorsque la température de la surface non exposée de l'élément d'essai excède, en un point quelconque (thermocouples pour l'élévation de la température maximale, y compris le thermocouple mobile), la température moyenne initiale de plus de 180 K.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 43/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

Certains éléments de construction ont des critères d'élévation de la température de la face non exposée plus élaborés que ceux donnés ci-dessus. Les règles à suivre sont données dans les méthodes d'essai spécifiques. Dans le cas des portes par exemple, il existe deux critères distincts d'élévation de température maximale :

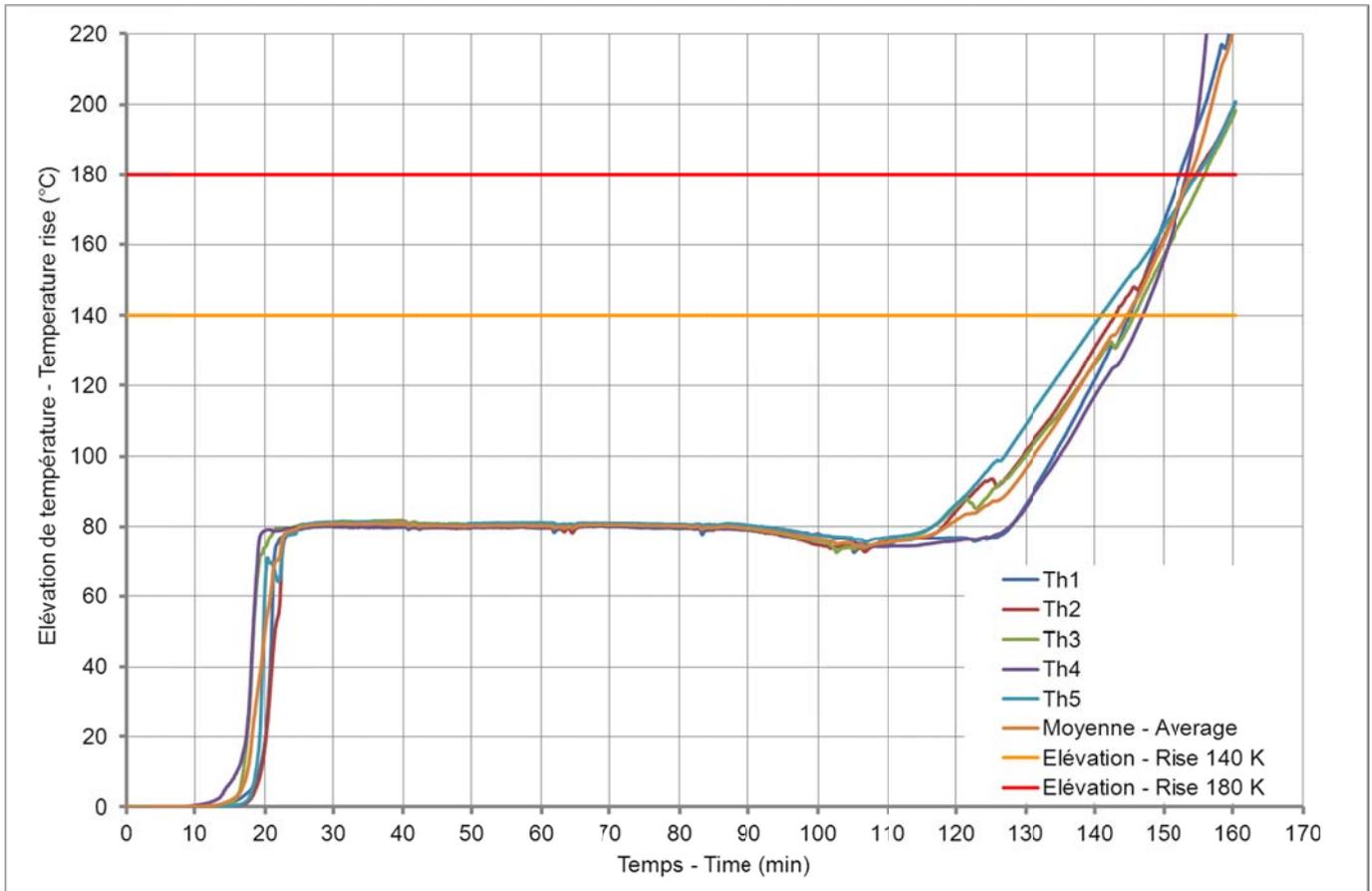
- le mode opératoire normal : le critère ci-dessus est appliqué (180 K) excepté que :
 - les thermocouples supplémentaires pour l'élévation de la température maximale (mode opératoire supplémentaire) ne sont pas pris en considération,
 - l'élévation de température doit être limitée à 360 K pour tout élément du dormant,
- le mode opératoire supplémentaire : le critère ci-dessus est appliqué (180 K), tous les thermocouples sont pris en considération.



The failure of the criterion occurs when the temperature on the unexposed surface of the test specimen increases, at any location (thermocouples for maximum temperature rise, including the roving thermocouple), the initial average temperature by more than 180 K.

Some elements of construction have more sophisticated criterion of unexposed face temperature rise from those given above. Rules are given in the specific test methods. In the case of doors for example, there are two distinct criteria of maximum temperature rise:

- the normal procedure: the above criterion is applied (180 K) with the exception that:
 - the additional thermocouples for maximum temperature rise (supplementary procedure) are not taken into account,
 - the limit for temperature rise for any perimeter frame member shall be 360 K,
- the supplementary procedure: the above criterion is applied (180 K), all thermocouples are taken into account.



Exemple d'une porte double en acier remplie de panneaux en fibro-silicate : températures mesurées par les thermocouples pour l'élévation de la température moyenne (un palier de déshydratation est clairement visible dans cet exemple)

Example of a double leaf steel door filled with fibro-silicate boards: temperatures measured by thermocouples for average temperature rise (a dehydration stage is clearly visible in this example)

7.4 RAYONNEMENT – RADIATION



Le rayonnement est l'aptitude d'un élément de construction ayant une fonction de compartimentage à résister à une exposition au feu sur un seul côté de façon à réduire la probabilité de propagation du feu due à un rayonnement de chaleur important, soit au travers de l'élément, soit depuis la surface non exposée au feu de l'élément, vers les matériaux adjacents.

Le rayonnement est déterminé comme étant le temps en minutes pleines pendant lequel la valeur maximale du rayonnement, mesurée à une distance de 1 m de la surface non exposée de l'élément d'essai, ne dépasse pas 15 kW/m².

Pour comparaison, la plupart des auteurs estiment qu'au-delà d'un flux thermique de 25 kW/m², l'embrasement spontané et immédiat se produit pour la plupart des matériaux combustibles, un flux de 20 kW/m² étant généralement cité comme condition nécessaire au flashover.

Niveau de précision à respecter pour ce capteur : ±5% du fond d'échelle, soit typiquement 2,5 kW/m² (à démontrer par étalonnage)

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 45/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------



Radiation is the ability of an element of construction that has a separating function to withstand fire exposure on one side only so as to reduce the probability of the transmission of fire as a result of significant radiated heat, either through the element, or from its unexposed surface, to adjacent materials.

Radiation is determined as the time in completed minutes during which the maximum value of radiation, measured at a distance of 1 m from the unexposed surface of the test specimen, does not exceed a value of 15 kW/m².

For comparison, most authors consider that beyond a heat flux of 25 kW/m², spontaneous and immediate ignition occurs for most combustible materials, a 20 kW/m² flux being generally cited as prerequisite to flashover.

Level of precision to meet for this transducer: ±5% of full range, or typically 2,5 kW/m² (to be demonstrated by calibration)



Captur de rayonnement (type Schmidt-Boelter) utilisé en résistance au feu (gamme 0...50 kW/m²)
Heat flux transducer (Schmidt-Boelter type) used in fire testing (range 0...50 kW/m²)

7.5 PRIORITÉ DES PERFORMANCES – PERFORMANCES PRIORITY



Les critères des performances d'isolation thermique et d'étanchéité au feu doivent être automatiquement considérés comme n'étant plus satisfaits dès que la performance de capacité portante cesse de l'être.

Les critères de la performance d'isolation thermique doivent être automatiquement considérés comme n'étant plus satisfait dès que la performance d'étanchéité au feu cesse de l'être.



The criteria for insulation and integrity performances shall automatically be assumed not to be satisfied when the loadbearing capacity performance ceases to be satisfied.

The criteria for insulation performance shall automatically be assumed not to be satisfied when the integrity performance ceases to be satisfied.

7.6 INCERTITUDES SUR LES RÉSULTATS D'ESSAI – UNCERTAINTIES ON TEST RESULTS



Il existe de nombreux facteurs susceptibles d'influer sur les résultats d'un essai de résistance au feu.

On notera d'emblée que ceux liés à la variabilité de l'élément d'essai (ses matériaux, sa fabrication, son installation, ...) ne doivent pas être considérés dans l'incertitude de mesure.

Par contre, en raison de la nature de l'essai exigeant une main d'oeuvre très importante, de nombreux facteurs ayant une influence sur le résultat dépendent de l'opérateur. L'entraînement, l'expérience et l'attitude de l'opérateur sont ainsi des éléments cruciaux pour limiter l'influence de telles variables, qui peuvent contribuer de façon importante à l'incertitude de mesure.

La détermination de l'incertitude par le calcul nécessiterait d'établir un modèle mathématique complet décrivant les effets des nombreux facteurs d'influence sur les résultats d'essai. Il est cependant peu probable qu'un tel modèle mathématique puisse être développé dans des domaines complexes de la science. C'est le cas de résistance au feu, pour lesquelles un tel développement est tout simplement infaisable. Dans de tels cas, d'autres approches peuvent être utilisées. En particulier, les principales sources de variabilité peuvent être évaluées par comparaisons interlaboratoires ("round robin").

A ce jour, en Europe, deux comparaisons interlaboratoires portant sur les essais de résistance au feu ont été organisées. Chaque laboratoire participant a été invité à effectuer deux essais identiques, sur des répliques identiques d'un élément d'essai, dans des conditions de répétabilité. De ces interlaboratoires ont été déduites les estimations suivantes pour les incertitudes :

Performance	Critère	Incertitude relative
Capacité portante		12%
	Déplacement limite	11%
	Vitesse limite de déplacement	12%
Etanchéité au feu		20%
	Tampon de coton	20%
	Calibre d'ouverture	13%
	Inflammation soutenue	12%
Isolation thermique		17%
	Elévation de température moyenne	13%
	Elévation de température maximale	21%

Incertitudes relatives sur les résultats d'essai de résistance au feu qui peuvent être attendues entre les laboratoires européens

Ces quantités montrent dans quelles proportions sont dispersés les résultats d'essai en raison de tous les facteurs rencontrés lors des essais selon les méthodes standardisées (différences dans la manutention et le positionnement de l'élément d'essai, différences d'instrumentation et d'étalonnage, différences des fours et autres équipements, différences entre les opérateurs, différences de procédures et de calculs, ...).



There are many factors which can affect the result of a fire resistance test.

It should be noted at the outset that those concerned with the variability of the test specimen (its materials, manufacture, installation, ...) are not related to the uncertainty of measurement.

On the other hand, because of the very labour intensive nature of the test, many of the factors that have a bearing on the result are operator-dependent. The training, experience and attitude of the operator are thus crucial to limit the influence of such variables which can contribute significantly to the uncertainty of measurement.

The determination of uncertainty by calculation would require establishing a comprehensive mathematical model describing the effects of the various influence factors on the test results. However, the development of such comprehensive mathematical model is assumed to be unlikely in complex fields of science. That's the case of fire resistance, for which such development is simply infeasible. In

such cases alternative approaches may be used. In particular, the major sources of variability can be assessed by interlaboratory comparisons ("round robin").

Up to now, in Europe, two round robins on fire resistance tests have been organised. Each participating laboratory was requested to conduct two identical tests, on identical replicates, under repeatability conditions. From these round robins were derived the following estimates for the uncertainties:

Performance	Criterion	Relative uncertainty
Loadbearing capacity		12%
	Limiting deflection	11%
	Limiting rate of deflection	12%
Integrity		20%
	Cotton pad	20%
	Gap gauge	13%
	Sustained flaming	12%
Insulation		17%
	Average temperature rise	13%
	Maximum temperature rise	21%

Relative uncertainties on fire resistance test results that may be expected between European laboratories

These amounts depict in what proportions the test results are spread because of all the factors encountered when testing according to standard methods (differences in handling and positioning the test specimen, differences in instrumentations and calibrations, differences in furnaces and other equipments, differences in operators, differences in procedures and calculations, ...).

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGEnCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 48/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

8 DOMAINE D'APPLICATION DIRECTE – FIELD OF DIRECT APPLICATION



La plupart des produits résistant au feu fournis par les fabricants sont différents de ceux ayant été testés. Ces produits sont fournis dans une grande variété de dimensions, de formes, de matériaux, de finitions, afin de satisfaire les exigences du marché. Pratiquement, il n'est donc pas possible d'effectuer un essai pour chaque variante de chaque produit. Cependant, il n'est pas pour autant acceptable d'admettre des variations de produits sans justification. Par conséquent, il est nécessaire de disposer d'un mécanisme grâce auquel des variations par rapport aux éléments d'essai testés peuvent être acceptées, avec un niveau raisonnable de confiance, de sorte que de telles variantes – soumises au même essai que l'élément d'essai d'origine – rempliraient aussi bien leur rôle.

Ces mécanismes sont formalisés par les domaines d'application directe.

Dans le cadre du domaine d'application directe, la possibilité ou non de modifier un produit ayant été soumis aux essais est donnée dans des règles qui limitent les variations admises par rapport à l'élément d'essai, sans autre évaluation ou calcul. Les variantes admises dans le cadre de l'application directe peuvent ainsi être introduites automatiquement dans les fabrications courantes sans évaluation supplémentaire.

Le domaine d'application directe est fourni dans chaque méthode d'essai spécifique, et doit être mentionné dans le rapport d'essai.



Most fire resisting products supplied by manufacturers are different from the specimens that were originally tested. Products are supplied in a wide variety of sizes, shapes and materials including finishes in order to satisfy the requirements of the market. It is thus impractical to test every variation of each product. However, it is not acceptable to allow variations of products without some form of justification. Therefore, there needs to be a mechanism by which variations from the tested specimens can be accepted with a reasonable degree of confidence that such variants would perform equally well if they were subjected to the same test as the original test specimen.

These mechanisms are formalized in the fields of direct application.

The extent to which a tested product may or may not be changed under the field of direct application is given in rules which limit the permitted variation away from the test specimen without further evaluation or calculation. The variations that are permitted under direct application can be introduced automatically to manufactured products without additional assessment.

The field of direct application method is provided in each specific test method, and must be mentioned in the test report.

 <p>Université de Liège</p> <p>ArGenCo</p> <p>Laboratoire d'Essai au Feu</p>	<p>Essais de résistance au feu Fire resistance testing</p>	<p>Codification :</p> <p>Version : 14/03/17</p> <p>Page : 49/49</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------

9 DANGERS DES ESSAIS – HAZARD OF TESTS

 Les essais au feu revêtent un caractère dangereux. Il existe notamment une possibilité de dégagement de gaz et de fumées toxiques ou nocives pendant les essais. Des dangers mécaniques et manipulatoires peuvent également être rencontrés lors de la construction des éléments ou des structures d'essai, de leurs essais et de la mise au rebut des résidus des essais.

 Fire testing might be hazardous. Especially, there is a possibility that toxic and/or harmful smoke and gases will be emitted during the tests. Mechanical and operational hazards might also arise during the construction of the test elements or structures, their testing and disposal of test residues.



Exemples de flammes et fumées pouvant se produire durant les essais
Examples of flames and smokes that may occur during tests

BIBLIOGRAPHIE – BIBLIOGRAPHY

- EN 1363-1:2012, Fire resistance tests - Part 1: General Requirements, CEN, Brussels
- EN 1363-2:1999, Fire resistance tests - Part 2: Alternative and additional procedures, CEN, Brussels
- EN 13501-2:2016, Fire classification of construction products and building elements - Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. CEN, Brussels
- Loadbearing capacity criteria in fire resistance testing, Dumont, F., Wellens, E., Gernay, T. and Franssen, J.M., Materials and Structures (2016) 49:4565–4581, DOI 10.1617/s11527-016-0807-7
- Summarised report of the Egolf round-robin nr. TC2 09-1 in fire resistance testing, Dumont, F., EGOLF (European Group of Organisations for Fire Testing, Inspection and Certification), Document TC2 N595, September 2010
- Summary report of the EGOLF round-robin nr. TC2 14-1 in fire resistance testing, Dumont, F., Boström, L., Łukomski, M., van den Berg, G., EGOLF (European Group of Organisations for Fire Testing, Inspection and Certification), Document TC2 N766, March 2015