

SYSTÈMES DE PROTECTION PASSIVE CONTRE L'INCENDIE

*Justification des performances
pour les structures de tunnel routier*



AVERTISSEMENT

Les guides sont l'aboutissement de travaux de synthèse, de réflexion méthodologique, de recherche, de retour d'expérience, menés ou commandités par le CETU. Ils ont vocation à servir de référence pour la conception, la réalisation ou l'exploitation des ouvrages souterrains. Comme tout état de l'art à un moment donné, un guide peut toutefois devenir un jour obsolète, soit du fait de l'évolution des techniques ou des réglementations, soit par la mise au point de méthodes plus performantes.

*Systemes de protection passive
contre l'incendie
Justification des performances
pour les structures de tunnel routier*

Document actualisé en mars 2017

Centre d'Études des Tunnels

25, avenue François Mitterrand

69674 BRON - FRANCE

Tél. +33 (0)4 72 14 34 00

Fax. +33 (0)4 72 14 34 30

cetu@developpement-durable.gouv.fr

www.cetu.developpement-durable.gouv.fr

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	5
Définitions	6
1 présentation	7
2 Les principes généraux de protection au feu	8
3 Les protections passives et leur mise en œuvre sur chantier	9
3.1 Les protections par plaques ou par matériaux projetés	9
3.2 Le Règlement Produits de Construction et le marquage CE	9
3.3 La prise en compte de l'ensemble du système de protection	10
3.4 L'application sur chantier	11
4 Les conditions d'acceptation des protections passives sur chantier	12
4.1 Les essais « conventionnels » selon les normes européennes	12
4.2 État des lieux et pratique actuelle	12
4.3 Évolution et recommandations dans le cadre de la réalisation d'essais HCM	13
4.4 La validité et la recevabilité des essais de résistance au feu	13
5 Références bibliographiques	15

ANNEXES

A Annexe A : référentiel d'essai HCM	16
B Annexe B : documents à produire / à exiger	24
C Annexe C : essais complémentaires facultatifs	25

AVANT-PROPOS

Le présent document remplace le guide des systèmes de protection passive paru en mars 2013.

Par rapport à la version du guide de 2013, les principales modifications listées ci-dessous ont été introduites :

- le guide et en particulier l'annexe A « référentiel d'essai HCM » ont été mis en conformité avec la NF EN 13381-3 parue en mai 2015 ;
- le paragraphe 3.2 du guide a été mis en conformité avec le Règlement Produits de Construction entré en vigueur le 1^{er} juillet 2013 et abrogeant la Directive Produits de Construction 89/106/EEC ;
- la durée de validité d'un Procès-Verbal de caractérisation d'un système de protection passive sous HCM est maintenant fixée à un an ;
- la température ambiante du four est désormais mesurée uniquement à l'aide de pyromètres à plaques (paragraphe A.9 de l'annexe A) ;
- la durée d'un essai HCM a été précisée en fonction de la teneur en eau du produit de protection passive testé (paragraphe A.11 de l'annexe A) ;
- les limites d'applicabilité des résultats d'un essai HCM ont été définies en fonction de la classe du béton de la dalle support et de la température caractéristique à la surface exposée du béton derrière la protection obtenue pendant l'essai (paragraphe A14 de l'annexe A) ;
- les essais de suivi nécessaires au renouvellement annuel d'un Procès-Verbal de caractérisation d'un système de protection passive sous HCM ont été définis (paragraphe A15 de l'annexe A).

Le présent document est disponible en français et en anglais.

DÉFINITIONS

Avis de chantier :

Appréciation de laboratoire agréé fixant les performances de résistance au feu d'un système de protection pour un chantier donné. L'avis de chantier est demandé lorsque la conception du système de protection passive du chantier cité a des spécificités non présentes dans le Procès-Verbal d'origine. L'avis de chantier peut être fondé sur une analyse des résultats d'essais, sur des connaissances acquises lors des incendies, et/ou sur l'utilisation de résultats numériques de calculs simplifiés ou avancés.

Essai de caractérisation :

Essai au feu mené dans le but de déterminer la contribution d'un système de protection passive à la résistance au feu d'un élément structurel en béton, conformément à l'annexe A du présent guide pour une sollicitation HCM et à la norme NF EN 13381-3 pour une sollicitation CN.

Essai de référence :

Premier essai de suivi réalisé au moment de l'essai de caractérisation d'un système de protection passive.

Essai de suivi :

Essai au feu mené dans le but de contrôler la constance des caractéristiques de transfert thermique d'un système de protection passive sous sollicitation HCM, conformément au paragraphe A.15 du présent guide. Cet essai est réalisé annuellement dans le cadre de la reconduction du procès-verbal de caractérisation du système de protection passive.

Laboratoire agréé :

Laboratoire disposant d'un agrément délivré par le ministère de l'Intérieur français, selon l'arrêté du 5 février 1959 modifié portant agrément des laboratoires sur le comportement au feu des matériaux.

Laboratoire accrédité :

Laboratoire disposant d'une accréditation portant sur le référentiel NF EN ISO 17025, pour les essais de résistance au feu. L'accréditation est délivrée par un organisme d'accréditation européen comme le Comité français d'accréditation (Cofrac). L'organisme European cooperation for Accreditation (EA) regroupe tous les organismes d'accréditation européens.

Matériau de protection contre le feu :

Matériau ou combinaison de matériaux appliqués à la surface d'un élément en béton dans le but d'accroître la résistance au feu de ce dernier par isolation thermique.

Procès-verbal :

Appréciation de laboratoire rédigée par un laboratoire agréé sur la base d'un ou plusieurs rapports d'essais. Le Procès-Verbal fixe les performances de résistance au feu d'un système de protection.

Rapport de classement :

Rapport rédigé par un laboratoire accrédité pour la méthode d'essai sur la base d'un ou plusieurs rapports d'essai.

Rapport d'essai :

Rapport rédigé par le laboratoire accrédité pour la méthode d'essai concernée et effectuant l'essai au feu. Le rapport d'essai précise les détails de construction, les conditions d'essai et les résultats obtenus.

Système de protection :

Produit de protection, associé à une méthode prescrite de fixation sur un support béton donné.

Température caractéristique :

Moyenne entre la température moyenne et la température individuelle maximale $[(\text{moyenne} + \text{maximale}) / 2]$ pour un groupe ou un emplacement de thermocouples donné. C'est la température caractéristique qui doit être utilisée pour l'évaluation des résultats d'essai.

PRÉSENTATION

L'application des objectifs de l'Instruction Technique annexée à la circulaire interministérielle 2000-63 remplacée depuis par la 2006-20 [1,2], à la mise en sécurité des tunnels routiers de plus de 300 mètres, nécessite bien souvent la mise en place de protections passives afin de garantir aux structures existantes un niveau de résistance au feu suffisant. Cette technique peut également être employée pour les ouvrages neufs. La réglementation ne précise cependant pas la nature des produits à mettre en place pour atteindre un niveau de performance donné, ni la méthodologie à suivre pour spécifier ou qualifier les systèmes de protection utilisés. Le second point peut néanmoins être abordé conformément à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié¹ [3]. En effet, cet arrêté relatif à «La résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrage» fixe les méthodes et les conditions d'évaluation des performances de leur résistance au feu, auxquelles se réfèrent les règlements de sécurité contre l'incendie.

Certains éléments relatifs à la réalisation des essais feu et à l'élaboration de cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) figurent désormais dans d'autres documents parus depuis la publication de l'Instruction Technique. Ces documents visent à faciliter l'application de cette dernière sans pour autant présenter une synthèse complète sur ce sujet. On citera notamment le Guide du comportement au feu des tunnels routiers publié par le CETU en 2005, ses Compléments en 2011, les recommandations du GT37 de l'AFTES en 2008, ainsi que le catalogue des protections passives disponible sur le site du CETU et réactualisé régulièrement [4,5,6,7].

L'expérience progressivement acquise au cours de ces dix dernières années, la mise en place de normes relatives aux essais feu, ainsi que les informations apportées par les fournisseurs de produits, permettent aujourd'hui de répondre à une demande réelle de la profession. Conjointement avec les laboratoires agréés français : le CSTB, EFFECTIS France et le CERIB, le CETU a donc élaboré le présent guide visant à clarifier les modalités de justification des performances des systèmes de protection passive pour les structures de tunnel routier en béton. En particulier, ce guide définit un référentiel pour la réalisation des essais HCM. Il est rédigé en conformité avec l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3].

Ce guide s'adresse aux entreprises, aux laboratoires d'essais de résistance au feu, aux fournisseurs et poseurs de protections passives, ainsi qu'aux maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, afin de les aider dans le choix, la justification et l'acceptation des systèmes de protection passive pour les éléments de structure de tunnel routier.

Par ailleurs, l'annexe A constitue un référentiel d'essai HCM et s'adresse plus particulièrement aux laboratoires d'essais de résistance au feu.

1. L'arrêté du 22 mars 2004 après avoir été consolidé le 6 octobre 2006 a été modifié par l'arrêté du 14 mars 2011.

LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE PROTECTION AU FEU

L'application d'une protection incendie sur les éléments de structure de tunnel vise à satisfaire aux degrés de stabilité au feu requis par la réglementation en vigueur, en limitant les dégradations des éléments structurels de manière à ce qu'ils demeurent aptes à assurer leurs fonctions. Ces dégradations peuvent résulter :

- de l'élévation de la température des matériaux conduisant à une réduction des propriétés mécaniques de ces derniers,
- des déformations thermiques générant des efforts,
- de la perte de matière due à l'écaillage.

Dans le présent guide, nous appellerons «écaillage» tous les phénomènes similaires (épaufrures, éclatements, etc.) ayant pour effet une désolidarisation du béton en surface des éléments de structure exposés au feu. Pour plus de détails sur les définitions des différents phénomènes on pourra se référer par exemple au guide du CETU sur le comportement au feu des tunnels routiers [4].

Les deux sollicitations thermiques pré-déterminées utilisées en tunnel routier pour le dimensionnement des structures sont la courbe normalisée dite «CN» et la courbe Hydrocarbure Majorée dite «HCM» (cf. figure 1). En conformité avec l'Instruction Technique [1], il est considéré que les effets d'écaillage sont négligeables sous la courbe CN pour des bétons ordinaires². Par contre, il est connu qu'aucune règle simple n'a, à l'heure actuelle, permis d'estimer les épaisseurs d'écaillage du béton en fonction du temps, en fonction des températures ou bien encore en fonction de la nature des bétons considérés sous la sollicitation HCM pour tout type de béton, ou sous la sollicitation CN pour les bétons à hautes performances.

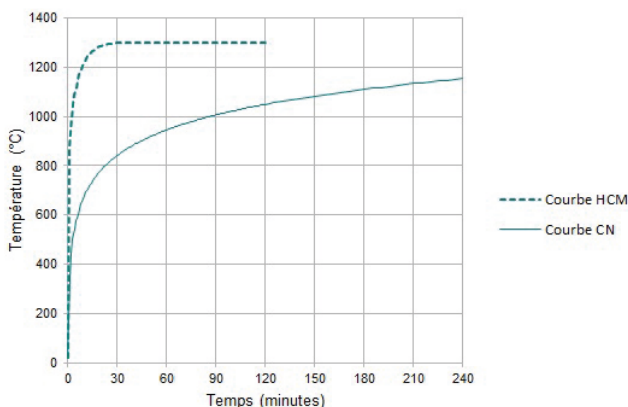


Figure 1 : courbes température-temps

2. L'Instruction Technique s'appuie sur l'ENV 1992-1-2 qui ne considérait l'écaillage sous sollicitation CN que pour les bétons à hautes performances. Depuis, l'Eurocode 2 partie 1-2 (EN 1992-1-2) incluant la règle de teneur en eau de 3 % (cf. article 4.5.1) est entré en vigueur. Ainsi la question d'étudier l'écaillage du béton ayant une teneur en eau supérieure à 3 % sous sollicitation CN devrait normalement également se poser indépendamment de sa résistance mécanique.

Le comportement au feu des structures protégées par protections passives est évalué à partir d'un calcul thermo-mécanique prenant en compte le champ de température atteint au sein des différents éléments constituant la structure. Pour l'évaluation du comportement au feu par le calcul, on se référera au guide «Comportement au feu des tunnels routiers» du CETU ainsi qu'à ses compléments [4,5].

L'exigence de stabilité au feu de la structure peut se traduire dans le cahier des charges du projet par la spécification d'une température caractéristique à la surface exposée du béton à ne pas dépasser. La spécification peut également porter sur une température critique maximale des armatures de la structure. Cette température peut être fixée par référence à l'Eurocode 2 partie 1.2 (NF EN 1992-1-2).

On signalera qu'un critère d'isolation thermique peut également être exigé en face non exposée dans certains cas (ex : cloison intérieure d'abri ou paroi d'un cheminement d'évacuation).

En pratique, on a actuellement recours à des protections passives :

- lorsque le degré de stabilité au feu requis n'est pas atteint dans la structure existante,
- lorsqu'il s'avère impossible d'évaluer expérimentalement le risque et le niveau d'écaillage dans la structure existante,
- lorsque l'évaluation de l'écaillage met en évidence que la valeur de ce dernier ne permet pas d'atteindre le degré de stabilité au feu visé.

La présence d'une protection passive réduit la montée en température de la surface des structures protégées. Cette température, malgré une sollicitation HCM en face exposée de la protection passive, restera alors généralement très inférieure à la courbe CN. De ce fait et uniquement dans le cadre de l'évaluation des transferts thermiques, il est admis que les phénomènes d'écaillage ne sont pas à prendre en compte en présence de protection passive. En effet, dans cette hypothèse, les matériaux restent en place et contribuent à l'isolation thermique de la structure.

L'objectif des essais de résistance au feu est alors de s'assurer de l'intégrité de la protection passive. De plus, une caractérisation peut être opérée sur la base des températures caractéristiques de surface exposée du béton derrière la protection.

LES PROTECTIONS PASSIVES ET LEUR MISE EN ŒUVRE SUR CHANTIER

3.1 LES PROTECTIONS PAR PLAQUES OU PAR MATÉRIAUX PROJETÉS



Mise en place de plaques



Mise en place de matériau projeté

Figure 2 : les différents types de protection passive

Les différents produits de protection passive sont constitués à ce jour soit de plaques rapportées ou placées en fond de coffrage, soit de mortiers projetés ou coulés en place.

Les plaques sont des produits préfabriqués rigides, généralement à base de liants hydrauliques, dont la conception et la fabrication doivent être adaptées à la géométrie de l'ouvrage et des parties à protéger (revêtement de la voûte ou des piédroits, dalles ou chemins de câbles). Elles sont mises en place suivant un plan de calepinage précis. Elles sont fixées soit directement dans le support à protéger, soit sur des ossatures en acier. Elles sont juxtaposées de manière à minimiser les joints qui ne nécessitent alors généralement pas de traitement spécifique.

Selon la partie d'ouvrage à protéger, les mortiers peuvent être quant à eux, soit projetés, soit coulés en place. Ce sont des produits élaborés à base de liants hydrauliques classiques ou réfractaires (du type aluminates de calcium). L'adhérence du mortier projeté au support peut être assurée par une préparation du support et/ou la mise en place d'un grillage fixé au support par des boulons.

Qu'il s'agisse des plaques ou des mortiers, l'épaisseur mise en place doit être adaptée à chaque application afin de répondre à l'objectif de température caractéristique demandé (température de surface du béton derrière la protection ou température critique des aciers à ne pas dépasser).

3.2 LE RÈGLEMENT PRODUITS DE CONSTRUCTION ET LE MARQUAGE CE

Le Règlement Produits de Construction (RPC) est entré en vigueur le 1^{er} juillet 2013, abrogeant la Directive Produits de Construction 89/106/EEC. Il précise et harmonise la commercialisation des produits de construction sur le marché de l'Union Européenne. Dès lors qu'un produit de construction est couvert par une norme Européenne harmonisée ou est conforme à une Évaluation Technique Européenne (ETE), le fabricant doit

établir une déclaration des performances pour ce produit lors de sa mise sur le marché et apposer le marquage CE.

Aucune ETE ne couvre les performances sous courbe HCM.

Dans les éléments de tunnel routier pour lesquels les exigences réglementaires françaises sont formulées en termes de

performance de résistance au feu définie par la norme NF EN 1363-1 (solicitation thermique dite «CN»), seuls des produits faisant l'objet soit d'un Procès-Verbal de caractérisation délivré par un laboratoire agréé, soit d'un marquage CE en référence à une ETE³ accompagné des rapports de classement associés en langue française peuvent être employés.

Lorsque les niveaux de résistance supérieurs sont requis : N1+HCMt⁴, N2 ou N3, la réglementation française considère un scénario de feu correspondant à une courbe HCM et sort donc du champ d'application du Guide d'Agrément Technique Européen : l'ETAG 018. Néanmoins, certaines approches décrites dans l'ETAG 018 peuvent être prises comme référence pour l'évaluation des performances des produits HCM, comme cela est déjà le cas pour les produits CN ne relevant pas d'une ETE (voir ci-avant).

Il est recommandé par le présent guide de privilégier les protections ayant suivi les processus définis pour assurer la conformité du produit dans le contexte d'un système d'attestation de la conformité, à savoir :

- que le laboratoire d'essais applique la procédure spécifique d'échantillonnage avant les essais de caractérisation

des produits de protection. Cette procédure d'échantillonnage a pour but d'évaluer le produit tel qu'il est fabriqué en continu, et non d'évaluer un échantillon de produit spécifiquement fabriqué pour l'essai de caractérisation ;

- qu'une procédure de Contrôle de Production en Usine (CPU) soit mise en application. Cette procédure a pour but de vérifier que les produits issus des procédés de fabrication et mis en œuvre sur chantier restent en conformité avec les produits utilisés pour l'évaluation par essais. Ce point permet de limiter la dérive des performances par rapport à l'essai de type initial. Par ailleurs, dans le cas particulier d'un produit faisant l'objet d'une production limitée, l'inspection de type CPU peut être réalisée via un essai de transfert thermique sur échantillon afin de vérifier les propriétés initiales. Enfin, si le produit est un prototype, les caractéristiques de formulation ou les caractéristiques thermiques pourront servir de traceurs pour vérifier les performances du produit lors du contrôle de fabrication courante.

Il est également recommandé de privilégier les protections dont la conservation des performances est assurée par une qualification des effets d'exposition et de vieillissement conformément à l'ETAG 018 a minima.

3.3 LA PRISE EN COMPTE DE L'ENSEMBLE DU SYSTÈME DE PROTECTION

En complément de la caractérisation portant sur le produit lui-même, c'est bien l'ensemble du système de protection passive qui doit être caractérisé. C'est ainsi que les systèmes de protection passive doivent justifier de leur résistance au feu sous sollicitation CN ou HCM par un rapport de classement associé au marquage CE incluant l'exigence de résistance au feu ou par un Procès-Verbal. Ces documents sont rédigés sur la base d'un ou plusieurs rapports d'essais, selon le cas (cf. paragraphe 4.4 et figure 3 du présent guide).

Les points suivants doivent notamment être pris en compte dans la définition du système :

- l'épaisseur de la protection et son éventuelle nature hétérogène (multicouches),
- la nature du support⁵,
- le mode de fixation et de mise en œuvre (nature des fixations, nombre et espacement, présence éventuelle d'un bandeau couvre-joint ou de glissières dans le cas des plaques ; présence d'un grillage, fixations, préparation éventuelle du support et mise en œuvre similaire dans le cas d'un matériau projeté ou coulé en place).

Il est à noter également que les dimensions des plaques et le chargement peuvent avoir des répercussions sur les performances du système.

Enfin, il est rappelé qu'il faut rester vigilant sur la nature et la représentativité des produits testés (régularité de production en termes de performances et de propriétés, stabilisation hydrique, etc.), ainsi que sur la réalisation et la préparation du support (formule et classe de béton, stabilisation hygrométrique, etc.).

3. En l'absence de norme harmonisée, le marquage CE des produits de protection relève d'une ETE établie de manière courante sur la base du Guide d'Agrément Technique Européen : ETAG 018

4. Le niveau N1 (défini par la courbe CN) est parfois complété par la vérification de la stabilité de la structure sous un feu à développement rapide (courbe HCM) pendant un temps donné t . Cette exigence est alors notée «HCMt», avec t exprimé en minutes.

5. Une certaine tolérance peut être admise sur le support mais ce dernier doit cependant rester de même nature et présenter une épaisseur conforme au présent guide (cf. paragraphes 4.2 et 4.3).

3.4 L'APPLICATION SUR CHANTIER

Lorsque les performances du système de protection ont été évaluées, il reste encore à s'assurer de la représentativité du système testé en regard de ce qui est réellement réalisé sur le chantier (nature du support, conditions de mise en œuvre, etc.).

L'article 18 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3] énumère les différentes possibilités permettant d'attester de la performance de résistance au feu d'un produit, d'un élément de construction ou d'ouvrage dans le contexte particulier de sa mise en œuvre sur un chantier donné.

En application de cet article, lorsque pour un ouvrage donné, la justification des performances de résistance au feu du système de protection n'est pas possible directement sur la base d'un rapport de classement ou d'un Procès-Verbal (en raison par exemple d'écart trop importants entre la nature du système testé et celui réellement mis en œuvre, ou bien entre les conditions d'essais et celles du chantier), une appréciation de laboratoire agréé pourra être demandée. Cette appréciation de laboratoire prend alors la forme soit d'une extension du rapport de classement ou du Procès-Verbal, soit d'un avis de chantier valable uniquement pour l'ouvrage concerné.

Le paragraphe 4.4. du présent guide reprend en détail le processus et les documents permettant d'attester la performance de résistance au feu d'un système de protection sur chantier conformément à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié.

LES CONDITIONS D'ACCEPTATION DES PROTECTIONS PASSIVES SUR CHANTIER

4.1 LES ESSAIS « CONVENTIONNELS » SELON LES NORMES EUROPÉENNES

L'annexe 1 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3] définit les essais conventionnels selon les méthodologies normalisées européennes d'une part, et selon les méthodologies nationales d'autre part (portes, volets, éléments de structures, ventilateurs de ventilation mécanique contrôlée, plafonds stables au feu et clapets). Les essais conventionnels sont à distinguer en fonction du type d'élément considéré.

En ce qui concerne les protections passives, différents référentiels européens s'appliquent (normes des séries EN 1364, 1365, 13381). **Pour le cas particulier des protections passives des structures en béton, objet du présent guide, la référence est la norme NF EN 13381-3.** Pour les autres situations (structure acier, membranes verticales, etc.) il sera fait référence aux normes européennes appropriées.

4.2 ÉTAT DES LIEUX ET PRATIQUE ACTUELLE

L'acceptation d'un produit de protection passive pour un chantier donné est de la responsabilité du maître d'œuvre. Elle dépend de la vérification de l'ensemble du système et de son application au chantier comme précisé aux paragraphes 3.3 et 3.4.

De façon générale, le maître d'œuvre vérifie les points suivants :

- la fourniture des documents attestant de la performance de résistance au feu d'un système de protection au sens de l'article 18 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié (cf. paragraphe 4.4 et figure 3 du présent guide),
- le respect du critère défini par le cahier des charges lorsqu'il est spécifié. Ce critère peut-être exprimé en termes de température de surface du béton ou bien de température admissible des aciers (cf. paragraphe 2 du présent guide).

Il vérifie également la conformité du système mis en œuvre sur le chantier à celui testé lors des essais. Cette conformité porte sur les points suivants :

- la nature du support,
- l'épaisseur du produit de protection et ses principales caractéristiques (dimensions dans le cas de produits par plaques, masse volumique, teneur en eau),
- le mode de mise en œuvre (treillis, fixations dans le cas de produits projetés ou coulés en place, plan de calepinage, type de fixations, présence éventuelle de bandeau couvre-joint ou d'ossature dans le cas de produits par plaques).

Des écarts entre la réalisation des essais et le chantier peuvent cependant être acceptés. Ils concernent :

- la nature du béton support : on considère que dans la gamme des températures de surface exposée du béton derrière la protection (250 °C - 400 °C), la nature du béton ne modifie pas le comportement du produit de protection,
- l'épaisseur du béton support mis en œuvre pour l'essai : la plupart du temps elle est inférieure à l'épaisseur de l'ouvrage, ce qui, dans la gamme des températures de surface exposée de béton (derrière la protection) et compte tenu des chargements mécaniques, apparaît défavorable car le support va se déformer davantage que dans l'ouvrage,
- le chargement de la dalle support : en situation réelle, le chargement varie d'un point à l'autre et au cours du temps. Le chargement durant l'essai, quel qu'il soit, n'est donc généralement pas représentatif de l'ouvrage ; le guide du CETU [4] recommande donc le chargement fixé par la norme NF EN 13381-3 qui a le mérite d'être normalisé,
- certaines caractéristiques des produits projetés : en pratique, il est plus difficile pour ce type de protection de vérifier le mode de mise en œuvre, en particulier la masse volumique, la teneur en eau, et l'épaisseur mise en place à chaque passe.

6. La courbe RWS est une courbe réglementaire aux Pays-Bas, très proche de la courbe HCM (cf. [9]).

Des écarts par rapport aux conditions d'essais de la norme NF EN 13381-3 ont également pu être acceptés par le passé du fait des délais nécessaires à la mise au point des moyens expérimentaux. En toute rigueur, on notera que dans la mesure où la norme NF EN 13381-3 ne s'applique normalement qu'aux essais sous sollicitation CN, le fait de s'écarter des conditions d'essais de cette norme lors de la réalisation d'essais HCM pouvait effectivement être toléré. Ces écarts concernaient :

- le chargement de la dalle support : des chargements autres que celui fixé par la norme NF EN 13381-3 (voir l'absence de chargement) ont pu être appliqués,
- les dimensions du support : même si le guide du CETU recommande les dimensions de la norme NF EN 13381-3,

certains essais ont été réalisés afin de reproduire un ouvrage en particulier et s'écartent des dimensions de la norme. On a pu admettre que les dimensions du support jouaient peu sur le comportement des protections dans la mesure où c'est la déformation qui importe.

Le présent guide recommande de ne plus accepter ces écarts relatifs aux conditions d'essais dans le cadre de l'évaluation des performances d'un système de protection. En ce qui concerne les essais HCM, le paragraphe 4.3 et l'annexe A du présent guide fixent désormais le référentiel d'essai HCM. Des écarts pourront cependant être justifiés dans certains cas, lors de l'application à un chantier donné lorsque ces écarts visent à se rapprocher des conditions réelles.

4.3

ÉVOLUTION ET RECOMMANDATIONS DANS LE CADRE DE LA RÉALISATION D'ESSAIS HCM

D'après l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3], les performances de résistance au feu d'un système de protection sous HCM doivent être fixées par un Procès-Verbal (cf. article 11 de l'arrêté). Afin d'établir ce Procès-Verbal, le présent guide recommande le référentiel d'essai HCM décrit ci-après.

Les essais de caractérisation sous HCM de système de protection passive appliquée sur des structures béton sont réalisés conformément aux conditions générales de la norme NF EN 1363-1 ainsi qu'à celles particulières de la norme NF EN 13381-3, auxquelles s'ajoutent ou se substituent les dispositions

complémentaires indiquées en annexe A du présent guide. Certaines de ces dispositions, telles que le développement de la courbe HCM, ont été prises par analogie aux procédures décrites dans la norme NF EN 1363-2.

Pour que les performances des produits évaluées sous courbe RWS⁶ soient admises de la même manière que les performances évaluées sous courbe HCM, il est recommandé que les essais RWS soient réalisés conformément au référentiel d'essai HCM décrit ci-avant, à la seule exception du programme thermique.

4.4

LA VALIDITÉ ET LA RECEVABILITÉ DES ESSAIS DE RÉSISTANCE AU FEU

La validité et la recevabilité des essais de résistance au feu pour la justification des performances d'un système de protection passive sont décrites ci-dessous pour les essais CN et HCM conformément à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3].

Il est à noter qu'au sens de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié, les essais CN et HCM sont considérés comme des essais conventionnels de résistance au feu (essais effectués avec des actions thermiques prédéterminées).

Les essais CN et HCM doivent être réalisés par un laboratoire accrédité. Pour les essais CN, le laboratoire doit être accrédité pour les méthodes d'essais fixées par la norme NF EN 13381-3. Pour les essais HCM, le laboratoire doit être accrédité pour le référentiel d'essai HCM décrit dans le présent guide (cf. paragraphe 4.3 et annexe A).

Le laboratoire accrédité rédige pour chaque essai un rapport d'essai.

Les performances de résistance au feu sont ensuite fixées par :

- un rapport de classement, en langue française, à condition qu'il soit annexé à l'attestation de conformité correspondante établie dans le cadre d'un marquage CE ;
- un Procès-Verbal établi par un laboratoire agréé.

En cas de modification du système testé, un laboratoire agréé doit être sollicité pour établir une appréciation pouvant conduire à une extension de classement ou de Procès-Verbal.

Lorsque le chantier fait appel à des particularités non identifiées dans le rapport de classement ou dans le Procès-Verbal, le système de protection devra faire l'objet d'un avis de chantier par un laboratoire agréé. Contrairement à l'extension de classement ou de Procès-Verbal, l'avis de chantier n'est valable que pour l'ouvrage cité.

La figure 3 reprend le processus d'acceptation des produits de protection passive ainsi que les documents à fournir. Le contenu des documents est décrit en annexe B.

Afin d'établir des extensions et avis de chantiers, les laboratoires agréés doivent pouvoir apprécier au mieux l'influence de certains paramètres. Des essais complémentaires listés en annexe C peuvent alors être nécessaires.

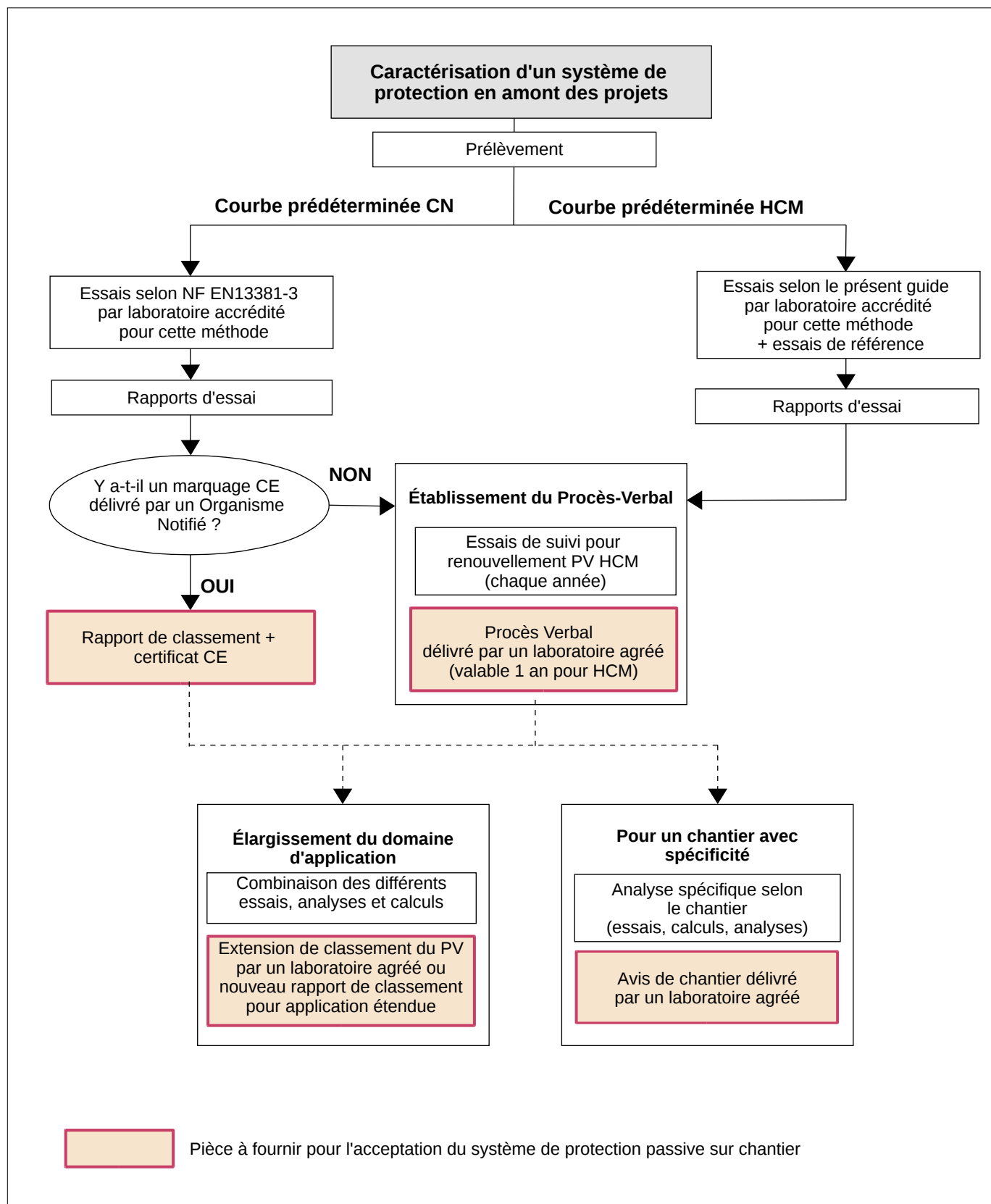


Figure 3 : processus de caractérisation des systèmes de protection passive

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Instruction Technique relative aux dispositions de sécurité dans les nouveaux tunnels routiers, annexée à la circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.
- [2] Circulaire n° 2006-20 du 29 mars 2006 relative à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres.
- [3] Arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages modifié par l'arrêté du 14 mars 2011.
- [4] Guide du Comportement au feu des tunnels routiers, CETU, mars 2005.
- [5] Compléments au guide du comportement au feu des tunnels routiers, CETU, mars 2011.
- [6] Tunnels routiers : résistance au feu, Recommandation du GT37 de l'AFTES, Tunnels et ouvrages souterrains, n° 205, Janvier/Février 2008.
- [7] Catalogue des protections passives, CETU, décembre 2005, réactualisé en ligne sur le site du CETU : www.cetu.developpement-durable.gouv.fr.
- [8] Arrêté du 19 octobre 2006 portant application aux produits de protection contre le feu du décret n° 92-647 du 8 juillet 1992 concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction, modifié par les décrets n° 95-1051 du 20 septembre 1995 et n° 2003-947 du 3 octobre 2003.
- [9] Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers, AIPCR, 1999.
- [10] NF EN 13381-3, Méthode d'essai pour déterminer la contribution à la résistance au feu des éléments de construction – Partie 3 : Protection appliquée aux éléments en béton.

ANNEXES

ANNEXE A : RÉFÉRENTIEL D'ESSAI HCM

Cette annexe présente les dispositions complémentaires à la norme NF EN 13381-3, et constitue ainsi un référentiel d'essai pour déterminer la contribution des systèmes de protection passive, à la résistance au feu des éléments de construction en béton sous sollicitation HCM.

A.1 Représentativité des essais

Les produits de protection faisant l'objet des essais devront être prélevés par une tierce partie indépendante sur le stock courant de l'industriel.

A.2 Dimensions et épaisseurs des éprouvettes d'essai

Les essais de caractérisation de systèmes de protection destinés à être mis en œuvre sur dalles ou murs/voiles doivent être réalisés sur des dalles planes de grandes dimensions («Grandes éprouvettes»), telles que définies par la norme NF EN 13381-3.

A.3 Nombre d'éprouvettes d'essai et épaisseurs de produit de protection au feu

Dans le cadre de la caractérisation d'un produit de protection mis en œuvre sur site en une seule épaisseur, un seul essai est mené sur une dalle de grandes dimensions telle que définie ci-dessus et protégée avec l'épaisseur à qualifier.

Dans le cadre de la caractérisation d'un produit de protection applicable sur site sur une gamme d'épaisseur définie par $[E_{\text{mini}}, E_{\text{maxi}}]$, un essai doit être mené sur deux dalles de grandes dimensions telle que définies ci-dessus et protégées respectivement avec les épaisseurs E_{mini} et E_{maxi} .

A.4 Classe et caractéristiques du béton support

Sauf demande spécifique, les dalles supports doivent être réalisées avec un béton de classe de résistance C25/30 à C30/37. Des éprouvettes cylindriques de béton doivent systématiquement être confectionnées conformément à la norme NF EN 206, lors du coulage des dalles supports, avec le même

béton. Elles doivent servir à déterminer les caractéristiques mécaniques du béton :

- 28 jours après le coulage,
- 90 jours après le coulage,
- au jour de l'essai au feu sauf si celui-ci a lieu le 90^e jour.

Ces éprouvettes doivent être conservées à proximité des dalles supports et dans les mêmes conditions ambiantes.

Trois éprouvettes prismatiques en béton $(200 \pm 5) \text{ mm} \times (200 \pm 5) \text{ mm} \times (140 \pm 5) \text{ mm}$ doivent également systématiquement être confectionnées lors du coulage des dalles supports, avec le même béton. Elles doivent être étanchées à minima sur leur périphérie de sorte à échanger avec l'environnement de manière représentative des conditions de stockage en laboratoire des dalles supports. Elles servent à réaliser le suivi de la stabilisation hygrométrique du béton et sont conservées à proximité des dalles supports dans les mêmes conditions ambiantes.

L'essai au feu ne sera réalisé qu'une fois la stabilisation hygrométrique de ces éprouvettes en béton atteinte. Au jour de l'essai, elles serviront à déterminer :

- la masse volumique apparente (kg/m^3),
- la teneur en eau, après étuvage à 105 °C (% du poids sec).

Ces caractéristiques doivent être déterminées conformément aux procédures indiquées à cet effet dans les normes NF EN 1363-1 et NF EN 13381-3.

A.5 Caractéristiques des produits de protection

Les caractéristiques des produits de protection (masse volumique et teneur en eau) doivent être déterminées à partir de trois échantillons par épaisseur à qualifier. Les dimensions minimales de ces derniers seront de 300 mm × 300 mm. Ils sont confectionnés avec, ou prélevés sur les mêmes lots de produit de protection que ceux mis en œuvre sur les dalles d'essai en béton. Ces échantillons doivent être conservés à proximité et dans les mêmes conditions ambiantes que les dalles d'essai.

Les essais au feu ne doivent être réalisés qu'une fois atteinte la stabilisation hygrométrique des produits de protection ainsi que

celles des éprouvettes en béton (cf. paragraphe A.4). Au jour de l'essai, les échantillons doivent servir à déterminer :

- la masse volumique apparente (kg/m^3),
- la teneur en eau, après étuvage à $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$, voire $(50 \pm 5)^\circ\text{C}$ pour des produits à base plâtre (% du poids sec). Cette teneur en eau peut conditionner la durée de l'essai (cf. paragraphe A.11)

Ces caractéristiques doivent être déterminées conformément aux procédures indiquées à cet effet dans les normes NF EN 1363-1 et NF EN 13381-3.

A.6 Conditionnement des dalles d'essai en béton

Le temps de conditionnement minimal de 90 jours recommandé par la norme NF EN 13381-3 pourra être réduit à 85 jours sous réserve que la stabilisation hygrométrique du béton constitutif des dalles supports ait été atteinte par les trois éprouvettes béton $(200 \pm 5) \text{ mm} \times (200 \pm 5) \text{ mm} \times (140 \pm 5) \text{ mm}$ confectionnées à cet effet.

A.7 Instrumentation des dalles d'essai en béton

L'instrumentation des dalles d'essai en béton telle que préconisée par la norme NF EN 13381-3 n'est pas suffisante pour évaluer correctement à la fois la tenue mécanique du produit de protection sous courbe HCM, la température des surfaces exposées du béton (sous le matériau de protection) et, le cas échéant, la température des surfaces exposées du béton au droit des joints entre plaques. Il est donc nécessaire d'augmenter le nombre de sections de mesure aux emplacements décrits dans les paragraphes A.7.1 et A.7.2 selon qu'il s'agit de produits de protection de type projetés, coulés en place ou à plaques.

Les températures mesurées pourront servir à l'interpolation des résultats pour des épaisseurs intermédiaires de produit de protection, comprises entre les épaisseurs minimale et maximale effectivement testées, par le biais de simulations numériques de transfert thermique.

A.7.1 Pour les produits de protection au feu projetés ou coulés en place

Dans le cas de produits de protection au feu appliqués par projection ou coulés en place, l'instrumentation de mesure de la température des éprouvettes d'essai doit être constituée de 7 échelles de thermocouples placées dans la partie centrale de la dalle béton : 3 échelles à mi-largeur et aux quarts de largeur sur la plus petite médiane, et 4 échelles au centre de chaque demi-diagonale (cf. figure A.1 - sections S1 à S7).

Ces 7 échelles de thermocouples doivent comprendre chacune 7 points de mesures comme indiqué ci-dessous et sur la figure A.2 :

- 5 thermocouples dans l'épaisseur de la dalle en béton tel que préconisé au paragraphe 9.3.2 – alinéa v de la norme NF EN 13381-3 (cf. figure A.2 - positions B à F),
- 1 thermocouple à la surface exposée du béton sous le produit de protection (cf. figure A.2 - position A),
- 1 thermocouple en face non exposée de la dalle béton (cf. figure A.2 - position G).

Les thermocouples à la surface exposée du béton doivent être placés en fond de coffrage comme préconisé dans la norme NF EN 13381-3. Une attention particulière doit être portée après décoffrage. En particulier, les traces de laitance de béton doivent être nettoyées, les pastilles en cuivre doivent être refixées par point de colle si nécessaire en fond d'empreinte. Une photo de chaque thermocouple avant application de la protection doit être présentée dans le rapport d'essai.

A.7.2 Pour les produits de protection au feu de type à plaques

Dans le cas de produit de protection au feu de type à plaques, l'instrumentation de mesure de la température des éprouvettes d'essai est constituée de :

- 7 échelles de thermocouples placées dans la surface exposée de la dalle (3 échelles à mi-largeur et aux quarts de largeur, et 4 échelles aux quarts des diagonales (cf. figure A.1 - sections S1 à S7)) avec pour chaque échelle de thermocouples :
 - 5 thermocouples dans l'épaisseur de la dalle béton tel que préconisé au paragraphe 9.3.2 – alinéa v de la norme NF EN 13381-3 (cf. figure A.2 - positions B à F),
 - 1 thermocouple à la surface exposée du béton sous le produit de protection (cf. figure A.2 - position A),
 - 1 thermocouple en face non exposée de la dalle béton (cf. figure A.2 - position G).
- 3 échelles de thermocouples supplémentaires en milieu de plaques de protection, hors proximité immédiate des points de fixation (100 mm minimum) et dans un carré de $3\,000 \text{ mm} \times 3\,000 \text{ mm}$ centré sur la dalle (cf. figure A.3 - sections S8 à S10). Sur ces emplacements, les températures doivent être mesurées :
 - à la surface exposée du béton sous le produit de protection (cf. figure A.4 - position A),
 - à 15 mm et 30 mm de la face exposée du béton (cf. figure A.4 - positions B et C),
 - en face non exposée de la dalle béton (cf. figure A.4 - position G).

Si un de ces emplacements se trouve à moins de 200 mm d'une échelle telle que décrite au point précédent, alors aucune échelle de thermocouples supplémentaire n'est rajoutée à cet emplacement.

- Thermocouples supplémentaires en face exposée du béton (sous le produit de protection) au droit des joints dans un carré de 3000 mm × 3000 mm centré sur la dalle :
 - au droit de joints longitudinaux entre 2 plaques de protection (cf. figure A.3 - position X),
 - au droit de joints transversaux entre 2 plaques de protection (cf. figure A.3 - position Y),
 - au droit de joints entre 3 ou 4 plaques de protection (cf. figure A.3 - position Z).

Les thermocouples de surface placés en face exposée du béton et appartenant aux échelles de thermocouples des deux premiers points (positions A des figures A.2 et A.4 relatives aux sections S1 à S10 des figures A.1 et A.3) doivent être placés en fond de coffrage comme préconisé dans la norme NF EN 13381-3.

De même, les thermocouples de surface placés en face exposée du béton au droit des joints (positions X, Y et Z - figure A.3) doivent être soit des thermocouples INCONEL de diamètre 1,5 mm placés en fond de coffrage ou rapportés sur la dalle après coulage, soit des thermocouples avec une pastille en cuivre conformément à la NF EN 1363-1 placés en fond de coffrage.

Une attention particulière devra être portée après décoffrage. En particulier, les traces de laitance de béton doivent être nettoyées, les pastilles en cuivre doivent être refixées par point de colle si nécessaire en fond d'empreinte. Une photo de chaque thermocouple avant application de la protection doit être présentée dans le rapport d'essai.

Le commanditaire de l'essai doit fournir le plan de calepinage des plaques avant le coulage des dalles supports de sorte que le laboratoire puisse positionner les thermocouples cités ci-avant dans le coffrage de chaque dalle.

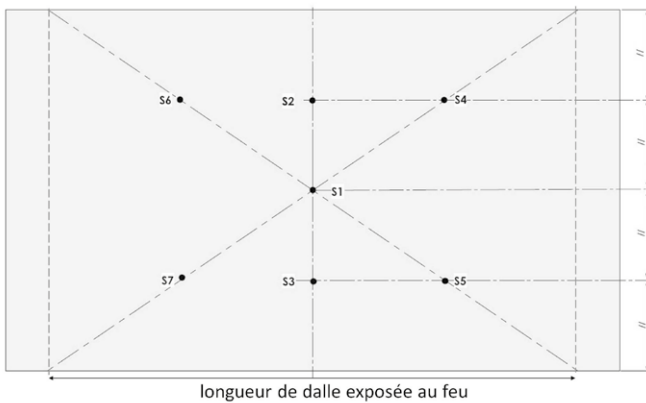


Figure A.1 : positions des sections de mesures dans la dalle d'essai en béton (vue en plan)

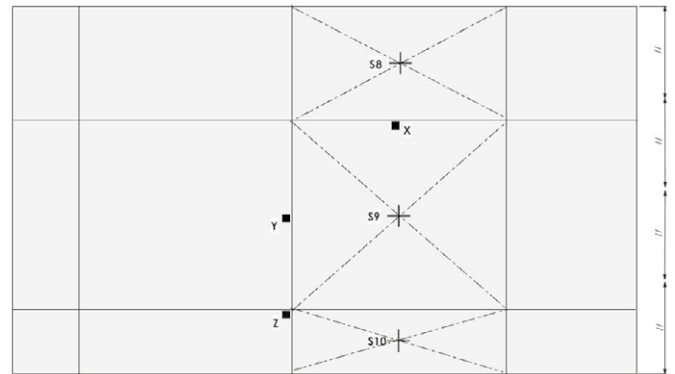


Figure A.3 : positions des sections de mesures et thermocouples supplémentaires dans le cas de protections au feu par plaques (vue en plan)

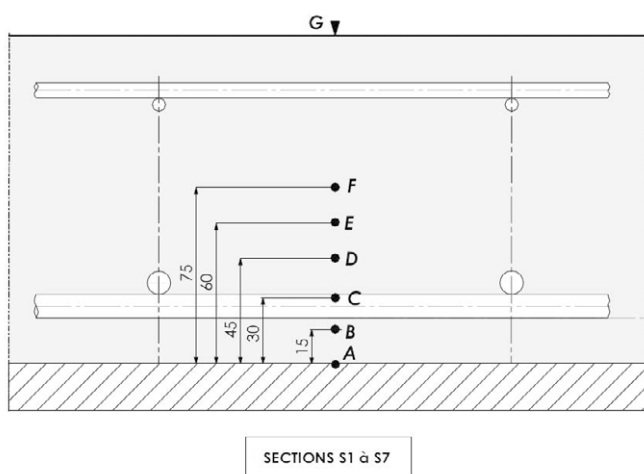


Figure A.2 : positions des thermocouples dans la dalle d'essai en béton (vue en coupe)

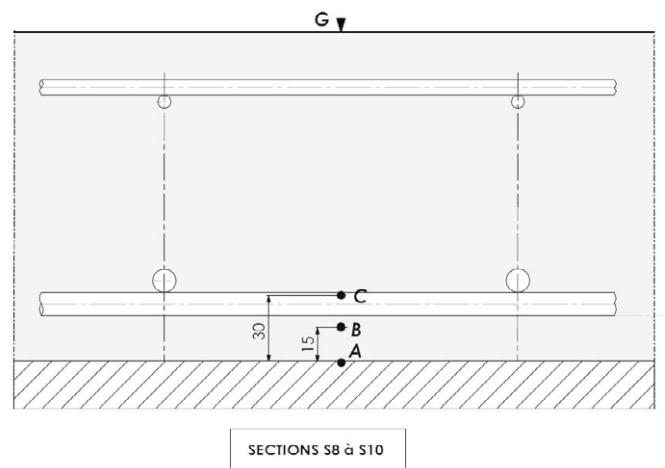


Figure A.4 : positions des thermocouples supplémentaires dans l'épaisseur de la dalle d'essai en béton dans le cas de protections au feu par plaques (vue en coupe)

A.8 Chargement de l'éprouvette d'essai

À défaut de pouvoir être représentatives de l'ouvrage, les conditions de chargement doivent être conformes aux exigences de la norme NF EN 13381-3.

Le chargement à appliquer peut également être mis en œuvre par poids morts uniformément répartis sur toute la surface de la dalle, définie par la largeur multipliée par la portée entre appuis.

La charge d'essai doit être définie de façon à ce qu'elle induise un moment fléchissant produisant une contrainte de traction dans les barres d'armature inférieures de la dalle d'essai en béton égale à 300 MPa, tel que requis par la norme NF EN 13381-3. Les poids propres de la dalle et du système de protection doivent être pris en compte pour la détermination de la charge à appliquer.

La charge doit être maintenue en place jusqu'à ce que la flèche mesurée à mi-portée de dalle atteigne $L_{\text{portée entre appuis}}/30$. Une fois cette déformation maximale atteinte, la charge doit être totalement retirée; l'évaluation est donc terminée. L'essai au feu peut être poursuivi mais à titre informatif uniquement.

A.9 Programme thermique HCM

Le programme thermique HCM dit «**Hydrocarbure majoré**» est défini comme précisé ci-dessous.

La température ambiante du four doit suivre la fonction analytique suivante :

$$T = 1280 (1 - 0,325 e^{-0,167t} - 0,675 e^{-2,5t}) + 20$$

où : t = temps (min)

T = température moyenne du four à l'instant t (°C)

Les températures ambiantes dans le four doivent être mesurées à (100 ± 50) mm de la face exposée de l'élément testé. Ces mesures doivent se faire à l'aide de pyromètres à plaque recommandés par la norme NF EN 1363-1.

Les mesures doivent satisfaire les exigences suivantes :

- Aucun thermocouple ne doit s'écarter de plus de 130 °C de la courbe théorique après 10 minutes (cf. figure A.5).
- Les écarts en pourcentage entre l'aire sous la courbe enregistrée et l'aire sous la courbe théorique doivent respecter les valeurs suivantes (cf. figure A.6) :
 - 20 % de 5 à 10 min après le début de l'essai,
 - 15 % de 10 à 20 min après le début de l'essai,
 - 10 % de 20 à 30 min après le début de l'essai,
 - 5 % de 30 à 60 min après le début de l'essai,
 - 2,5 % au-delà de 60 min d'essai.

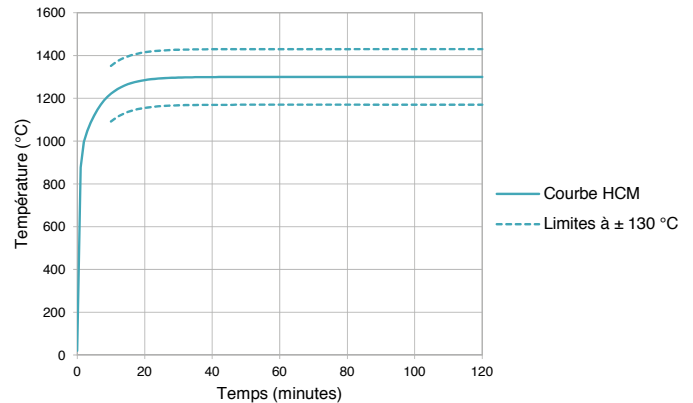


Figure A.5 : courbe de température du four

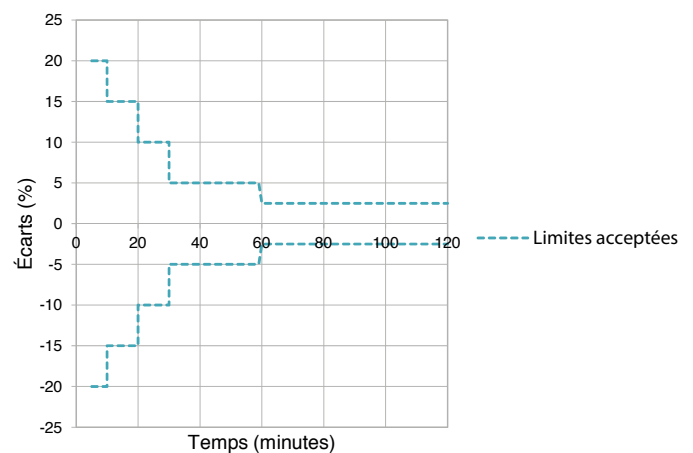


Figure A.6 : écarts en pourcentage entre l'aire sous la courbe de température du four enregistrée et l'aire sous la courbe théorique, à ne pas dépasser

A.10 Pression

Aucun critère de pression n'est recommandé.

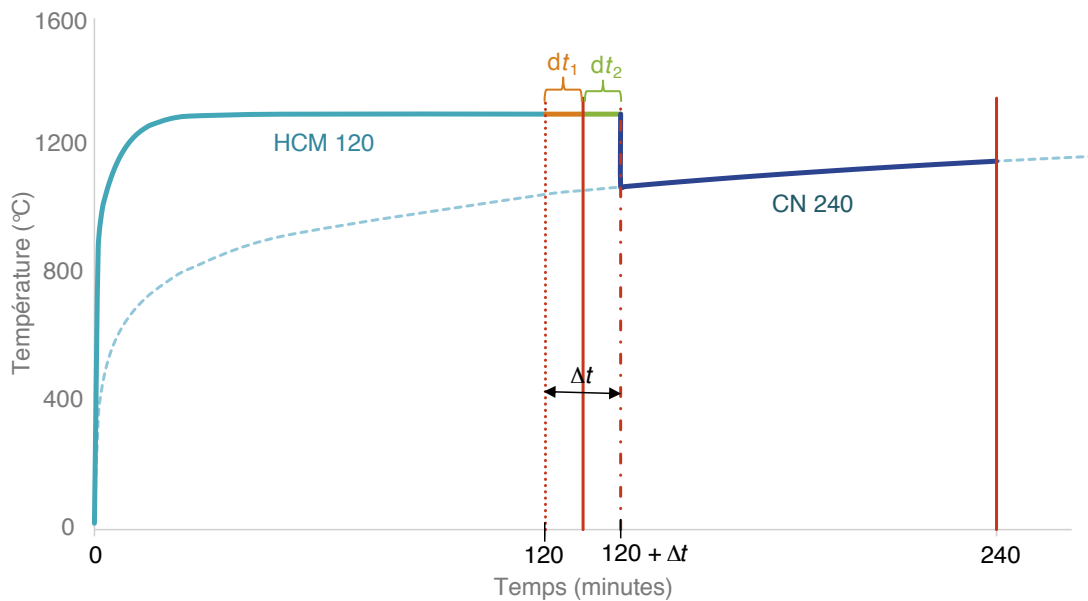
A.11 Fin de l'essai

La durée d'un essai doit être égale à celle visée par le niveau de sécurité à atteindre, augmentée de + 10 % (ex : 132 minutes lorsque l'objectif de résistance au feu est de 120 minutes).

Dans le cas où la mesure de la teneur en eau des produits de protection est supérieure à 3 %, la durée de l'essai doit être prolongée de la valeur maximale entre les + 10 % décrits ci-dessus et la différence entre la durée du premier palier de vaporisation (température entre 85 °C et 100 °C) obtenue pendant l'essai et celle d'un produit à 3 % de teneur en eau

Dans le cas de l'enchaînement de deux programmes thermiques : un essai HCM 120 poursuivi sur la courbe CN jusqu'à 240 min, les résultats obtenus à l'issue de ces deux périodes sont admis pour vérification du niveau N3 (HCM 120 et CN 240).

Exemple 1 : essai HCM 120 poursuivi sur la courbe CN jusqu'à 240 min pour la vérification du niveau N3 (HCM 120 + CN 240)



Avec :

- Durée de l'essai HCM = 120 min + Δt
- $\Delta t = dt_1 + dt_2$ (≥ 12 min*)
- $dt_1 \geq 0$ min : différence de durée du premier palier de vaporisation d'un produit à plus de 3 % de teneur en eau comparé à un produit à 3 % de teneur en eau
- $dt_2 = \begin{cases} 12 \text{ min}^* - dt_1 & \text{si } dt_1 < 12 \text{ min}^* \\ 0 & \text{si } dt_1 \geq 12 \text{ min}^* \end{cases}$
- Durée de l'essai CN = 240 min
- Temps pour calculs des températures caractéristiques HCM 120 = 120 min + dt_1
- Temps pour calculs des températures caractéristiques CN 240 = 240 min

* La durée de 12 min correspond à 10 % de la durée HCM visée (ici 120 min) et doit donc être calculée pour chaque essai (ex : 6 min pour HCM 60, 12 min pour HCM 120, etc.)

Figure A.7 : consigne d'un essai HCM 120 + CN 240 (niveau N3)

L'essai est terminé lorsqu'une ou plusieurs des conditions ci-après sont remplies :

- non-respect des conditions de sécurité du personnel du laboratoire et autres participants à l'essai,
- mise en danger de l'intégrité des installations d'essais du laboratoire,
- durée écoulée,
- dépassement du critère de température maximale dans les barres HA10 de la nappe d'armatures inférieures supérieure à 550 °C,
- requête expresse du commanditaire de l'essai.

A.12 Détermination des températures de référence du système de protection

Les températures de référence sont les températures caractéristiques telles que définies au paragraphe 13.1 de la norme NF EN 13381-3. Elles sont mesurées à la surface exposée du béton derrière la protection (en partie courante de plaques pour les protections par plaques), à 15 mm et 30 mm dans le béton et en face non exposée de la dalle d'essai.

Dans le cas d'une protection par plaques, les températures mesurées sur la surface exposée du béton derrière les joints ne sont pas prises en compte dans le calcul de la température caractéristique de surface exposée du béton (derrière le produit de protection). Les températures du béton au droit des joints peuvent être sensiblement impactées par des retraits significatifs entre joints pendant les essais feu. Ces températures doivent servir uniquement à mettre en évidence d'éventuels points singuliers présents au droit des joints.

Dans le cas où la mesure de la teneur en eau du produit de protection est supérieure à 3 %, les températures caractéristiques au temps t doivent être déterminées sur la base des mesures à $t + dt_1$ où dt_1 est la différence entre la durée du premier palier de vaporisation obtenue pendant l'essai et celle d'un produit à 3 % de teneur en eau (cf. paragraphe A.11).

Exemple 2

Le produit de protection soumis à essai a une teneur en eau de 5 %. La durée du premier palier de vaporisation du produit à 5 % est de 10 min. Alors la température caractéristique à 60 min doit être calculée en prenant en compte les températures mesurées à 64 min ($60 \text{ min} + 10 \text{ min} \times (5 \% - 3 \%) / 5 \%$).

A.13 Rapport d'essais

Le rapport d'essais doit présenter les données et résultats conformément au paragraphe 12 de la norme NF EN 13381-3.

Il comprendra en particulier les données suivantes :

- la description générale et les détails précis du système de protection,
- les caractéristiques du béton,
- les caractéristiques du produit de protection,
- les critères d'adhésivité au sens du paragraphe 13.5 de la norme NF EN 13381-3,
- un tableau résumant les températures caractéristiques à 1 h 00, 2 h 00 et le cas échéant 4 h 00 (cf. paragraphe A.12),
- l'ensemble des résultats des essais de référence (cf. paragraphe A.15),
- l'ensemble des résultats des essais complémentaires décrits en annexe C, si effectués,
- les photos des différentes phases de montage dont :
 - les photos de chaque thermocouple en phase exposée de la dalle au décoffrage,
 - les photos de la face exposée de l'éprouvette après essai.

A.14 Limites d'applicabilité des résultats

Les résultats de l'évaluation sont uniquement applicables aux systèmes de protection contre le feu qui ont les mêmes systèmes de fixation et de jointoiement que ceux soumis à essai.

Le tableau suivant définit les limites d'applicabilité des résultats suivant la classe du béton de la dalle support et la température caractéristique à la surface exposée du béton derrière la protection obtenue pendant l'essai.

Température caractéristique à la surface exposée du béton derrière la protection obtenue pendant l'essai	Classe du béton de la dalle support (définie conformément à la norme NF EN 206/CN)	
	≤ C50/60	> C50/60
≤ 400 °C	Les résultats de l'évaluation sont applicables aux éléments en béton de type inférieur ou égal à C50/60.	Les résultats de l'évaluation sont applicables aux éléments en béton de classe égale à celle testée ou d'une classe supérieure à celle testée.
≥ 400 °C	Les résultats de l'évaluation sont applicables aux éléments en béton de classe égale à celle testée ou d'une classe supérieure limitée à C50/60, à celle testée.	Les résultats de l'évaluation sont applicables aux éléments en béton de classe égale à celle testée.

Tableau 1 : limites d'applicabilité des résultats

A.15 Essais de suivi

Les essais de suivi ont pour objectif de contrôler la constance des caractéristiques de transfert thermique du système de protection passive sous sollicitation HCM et ses éventuelles variations liées à des modifications lors de sa production pouvant impacter sa performance en résistance au feu.

Un premier essai de ce type dit « essai de référence » doit être réalisé lors de l'essai de caractérisation du système de protection passive, sur le même lot de fabrication du produit afin d'obtenir les températures de référence nécessaires aux essais de suivi avec les échantillons placés en dalle ou en voile, à la discrétion du laboratoire.

Les essais de suivi doivent ensuite être répétés annuellement avec une éprouvette placée dans la même orientation que l'essai de référence afin d'évaluer la constance de performances du système de protection passive dans le cadre de la reconduction du Procès-Verbal de caractérisation.

Inspiré des essais de durabilité de l'ETAG 018 –3 (annexe E), le mode opératoire des essais de suivi doit se dérouler comme suit :

- l'éprouvette d'essai est une dalle d'essai en béton armé protégée avec le système de protection passive soumis à essai ;
- deux dalles en béton doivent être soumises à essais, protégées respectivement de l'épaisseur minimale et maximale de la gamme du produit de protection soumis à essai ;

- le type de béton (classe de résistance et type de granulats) et l'enrobage des aciers des dalles d'essai doivent être identiques à ceux utilisés pour l'essai de caractérisation défini par le présent référentiel d'essai (cf. paragraphe A.4) ;
- les éprouvettes d'essai doivent avoir les dimensions nécessaires pour offrir une surface d'exposition minimale de 400 mm × 300 mm et une épaisseur nominale de (140 ± 5) mm. Une attention particulière devra être portée par le laboratoire d'essai à l'épaisseur du cadre support pour maximiser la surface exposée ;
- l'instrumentation des dalles en béton pour la mesure de la température doit être constituée à minima de 5 échelles de thermocouples telles que représenté sur la figure A.8 (une échelle au centre de la dalle et 4 échelles aux quarts des diagonales). Ces 5 échelles de thermocouple doivent comprendre 2 points de mesure : 1 thermocouple à la surface exposée du béton sous le produit de protection et 1 thermocouple à 15 mm dans l'épaisseur de la dalle béton (cf. figure A.9). Le type et mode de fixation de ces thermocouples doivent être conformes aux prescriptions du paragraphe A7 ;
- la sollicitation thermique doit être la courbe HCM décrite au paragraphe A.9 pendant une durée minimale de 120 minutes. De la même manière que pour l'essai de caractérisation (cf. paragraphe A.11), dans le cas où la mesure de la teneur en eau du produit de protection est supérieure à 3 %, la durée de l'essai doit être prolongée de la différence entre la durée du premier palier de vaporisation obtenue pendant l'essai et celle d'un produit à 3 % de teneur en eau.

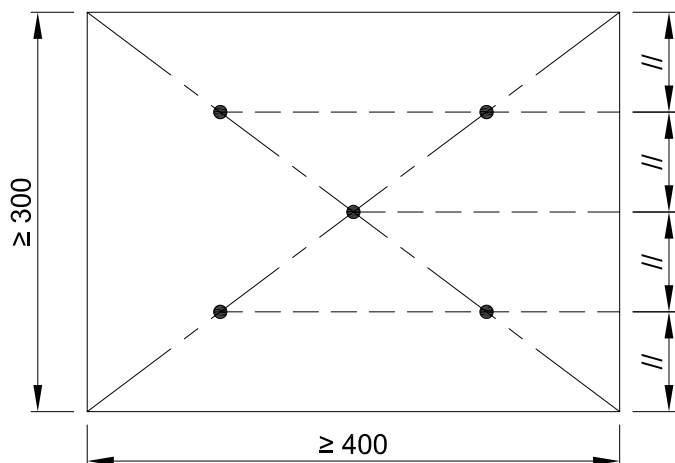


Figure A.8 : positions des sections de mesure dans la dalle béton de l'essai de suivi (vue en plan)

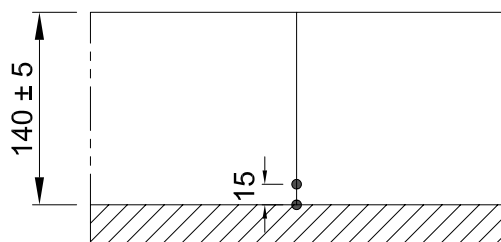


Figure A.9 : positions des thermocouples dans l'épaisseur de la dalle béton de l'essai de suivi (vue en coupe)

L'évaluation de la constance des caractéristiques de transfert thermique du système de protection passive est basée sur le temps nécessaire pour atteindre la température caractéristique à 15 mm de la surface exposée dans l'épaisseur de la dalle béton déterminée lors de l'essai de référence à 120 min. Cette température est appelée «température de référence». Le temps obtenu lors de l'essai de suivi doit être supérieur à 102 min (représentant 85 % de 120 min).

Dans le cas où la valeur de mesure de la teneur en eau du produit de protection est supérieure à 3 % :

a) si le produit est utilisé pour l'essai de référence, la température caractéristique à 120 min doit être calculée conformément au paragraphe A.12.

b) si le produit est utilisé pour l'essai de suivi annuel, le temps correspondant à l'obtention de la température de référence à 15 mm dans la dalle béton doit être calculé en ôtant au temps obtenu lors de l'essai de suivi la différence de durée du premier palier de vaporisation par rapport à une teneur en eau du produit de 3 %.

Exemple 3

Le produit de protection soumis à essai a une teneur en eau de 5 %. La durée du palier de vaporisation du produit à 5 % est de 10 min. Alors :

a) cas où le produit est utilisé pour l'essai de référence : la température caractéristique à 120 min doit être calculée avec les températures à 124 min ($120 \text{ min} + 10 \text{ min} \times (5 \% - 3 \%) / 5 \%$).

b) cas où le produit est utilisé pour l'essai annuel de suivi : durant l'essai de suivi, la température de référence à 15 mm est atteinte au bout de 116 min. Ce temps doit être corrigé comme suit : $116 \text{ min} - (10 \text{ min} \times (5 \% - 3 \%) / 5 \%) = 111 \text{ min}$. Dans cet exemple, on obtient donc 111 min ce qui est supérieur à 102 min et respecte donc le critère de l'essai de suivi.

ANNEXE B : DOCUMENTS À PRODUIRE / À EXIGER

Les documents à produire par le laboratoire agréé et exigibles par le maître d'œuvre pour la justification des performances des systèmes de protection passive sont mentionnés au paragraphe 4.4 du présent guide. Leur contenu est décrit ci-après, à l'exception du rapport de classement pour lequel on se référera à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié.

B.1 Procès-verbal

Sur la base du ou des rapports d'essais émis par un laboratoire accrédité, le laboratoire agréé rédige un procès-verbal décrivant les points suivants :

- nom du laboratoire ayant délivré le procès-verbal,
- nom et adresse du demandeur,
- identification du (des) rapport(s) d'essai(s) pris en référence,
- description sommaire du système de protection passive,
- conditions de mise en œuvre de l'élément, nécessaires au contrôle sur chantier,
- représentativité de l'élément,
- tableau de résultats des températures caractéristiques prenant en compte la teneur en eau,
- tableau des températures maximales au droit des joints (cas des plaques de protection),
- domaine de validité,
- limite de validité,
- date de l'émission de l'appréciation,
- nom et signature de l'émetteur.

Pour les essais HCM, le Procès-Verbal a une durée de validité de 1 an, reproductible sous réserve de justification de la constance des caractéristiques de transfert thermique (cf. paragraphe A.15 de l'annexe A).

B.1 Extensions et avis de chantier

Rappelons que l'avis de chantier sera motivé par une conception légèrement modifiée par rapport au système évalué lors de l'essai de caractérisation. Ces modifications peuvent porter en particulier sur les points suivants :

- calepinage,
- densité et type de fixation,
- dimensions de plaque,
- épaisseur de plaque,
- nature du support,
- critère de résistance au feu.

Un avis de chantier est déterminé conformément à l'arrêté du 22 mars 2004 modifié [3], sur la base :

- d'un ou plusieurs rapports d'essais,
- d'un ou plusieurs procès-verbaux,
- de données expérimentales disponibles,
- d'évaluations numériques complémentaires.

Le laboratoire procédera à des vérifications sur la base des connaissances acquises au jour de l'émission de l'avis de chantier. Ces connaissances peuvent résulter d'une combinaison entre essais existants ou à réaliser et calculs ou expertise.

L'avis de chantier au sens de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié, n'est valable que pour le chantier cité.

Lorsque la demande est générique et susceptible d'impacter plusieurs chantiers, une extension du procès-verbal ou du rapport de classement (cf. paragraphe 4.4 du présent guide) est nécessaire. Les extensions concernant les éléments ci-dessus devront alors être justifiées. La combinaison avec des essais sur corps d'épreuve de dimensions réduites pourra être prise en compte.

Un écart important entre la configuration de l'essai et le comportement du béton au sein de l'ouvrage (nature, caractéristiques mécaniques, chargement etc.) peut être constaté. En cas de doute sur la transposition des performances de résistance au feu de l'essai à l'ouvrage considéré, un essai complémentaire pourra être exigé.

ANNEXE C : ESSAIS COMPLÉMENTAIRES FACULTATIFS

On rappelle que le jour de l'essai, la masse volumique apparente (kg/m^3) et la teneur en eau des produits de protection, après étuvage à $105\text{ }^\circ\text{C}$ (% du poids sec), voire à $50\text{ }^\circ\text{C}$ pour des produits à base de plâtre (cf. paragraphe A.5 de l'annexe A) doivent être systématiquement mesurées.

Afin d'établir des extensions et avis de chantiers (cf. paragraphe 4.4 du présent guide), le laboratoire agréé pourra être amené à effectuer les essais complémentaires ci-après pour caractériser d'autres propriétés thermophysiques des produits de protection comme :

- la conductivité thermique ($\text{W}/\text{m}\cdot^\circ\text{C}$) entre 20 et $1250\text{ }^\circ\text{C}$;
- la chaleur spécifique ($\text{J}/\text{kg}\cdot^\circ\text{C}$) sur la plage de température comprise entre 20 et $1250\text{ }^\circ\text{C}$;
- la diffusivité thermique ;
- le coefficient de retrait/dilatation sur la plage de température comprise entre 20 et $1250\text{ }^\circ\text{C}$.

Les points de température auxquels sera déterminée la conductivité thermique couvriront la plage comprise entre 20 et $1250\text{ }^\circ\text{C}$. Une analyse ATD/ATG (Analyse Thermique Différentielle / Analyse Thermo-Gravimétrique) sera réalisée au préalable de façon à déterminer les températures indicatrices d'un changement dans le produit de protection. Les échantillons utilisés pour ces essais seront prélevés dans le même lot de produit de protection que celui mis en œuvre pour les essais de résistance au feu menés conformément à la norme NF EN 13381-3. Ces essais de caractérisation seront réalisés sur chaque épaisseur de produit de protection utilisée lors des essais au feu.

La conductivité thermique et la chaleur spécifique pourront servir aux simulations numériques de transfert thermique par méthode aux éléments finis pour déterminer les performances d'isolation thermique d'une épaisseur intermédiaire de produit de protection, comprise entre les épaisseurs minimale et maximale effectivement testées.

La courbe de coefficient de retrait/dilatation thermique permettra une corrélation avec la tenue mécanique à chaud du produit de protection telle que notée lors des essais ainsi que, le cas échéant, les retraits éventuels le long des joints entre plaques.

Pour le béton, la masse volumique et la teneur en eau prises en compte dans les calculs seront celles déterminées à partir des éprouvettes témoins (200 ± 5) mm \times (200 ± 5) mm \times (140 ± 5) mm confectionnées à cet effet lors du coulage des dalles supports. La conductivité thermique et la chaleur spécifique seront celles indiquées dans la norme EN 1992-1-2 Eurocode 2 : « Calcul des structures en béton – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu » : décembre 2004.

Contributeurs

La révision du guide a été assurée par un groupe de travail piloté par Bérénice MOREAU (CETU) et constitué du CETU (Lætitia D'ALOIA), du CSTB (Romuald AVENEL, Pierre PIMIENTA), d'EFFECTIS France (Roman CHIVA, Daniel JOYEUX, Regis KORYLUK) et du CERIB (Nathalie BRIAND, Cédric COLLIGNON, Christophe TESSIER).



Centre d'Études des Tunnels
25 avenue François Mitterrand
69674 BRON - FRANCE
Tél. +33 (0)4 72 14 34 00
Fax. +33 (0)4 72 14 34 30
cetu@developpement-durable.gouv.fr

