

SOMMAIRE

1.	OBJET	3
2.	DOMAINE D'APPLICATION	5
3.	RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	7
4.	LOGIGRAMME GÉNÉRAL	9
5.	NOTICE D'UTILISATION DES FEUILLES DE CALCUL EXCEL®	11
5.1	Présentation générale.....	11
5.2	Calculs mécaniques	12
5.3	Calculs d'échauffement	29
6.	EXEMPLES D'APPLICATION DES FEUILLES DE CALCUL À DES CAS RÉELS DE BÂTIMENTS COURANTS	43
6.1	Exemple 1 : Vérification de la stabilité au feu ½ heure d'un tirant en acier inoxydable.....	43
6.2	Exemple 2 : Vérification de la stabilité au feu 1 heure d'un poteau d'un bâtiment de type R+2	45
6.3	Exemple 3 : Vérification de la résistance au déversement en situation d'incendie d'une poutre protégée de classe 1	53
6.4	Exemple 4 : Vérification de la stabilité au feu ½ heure d'un poteau de portique de classe 1 comprimé et fléchi	55
6.5	Exemple 5 : Vérification de la stabilité au feu ¼ heure d'un poteau de portique de type PRS de classe 4 comprimé et fléchi.....	59
6.6	Exemple 6 : Détermination de la résistance de calcul d'assemblages en situation d'incendie.....	64
7.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	69
8.	SYMBOLES	71

1. OBJET

Ce Guide d'Application porte sur l'Action du feu sur les structures en acier. Il s'inscrit dans le programme d'accompagnement de la Directive Produit de Construction (DPC) et a pour objectif de faciliter l'application de la **NF EN 1993-1-2** de Novembre 2005 (Eurocode 3 – Calcul des structures en acier – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu) et de son Annexe Nationale (AN) d'octobre 2007.

Le Guide se compose :

- **des feuilles de calcul Excel®** (téléchargement gratuit sur <http://e-cahiers.cstb.fr>) programmées pour appliquer directement les modèles de calcul simplifiés de l'**EN 1993-1-2 + AN** (calculs mécaniques et calculs d'échauffement – paragraphe 4.2 de l'**EN 1993-1-2**) ;
- **d'une notice d'utilisation** (chapitre 5), qui explique comment utiliser les feuilles de calcul Excel® (paragraphe 5) ;
- **d'exemples d'application des feuilles de calcul** (chapitre 6) à quelques cas réels d'élément en acier de bâtiments courants (paragraphe 6).

Les feuilles de calcul Excel® couvrent les principaux modèles de calcul simplifiés de l'**EN 1993-1-2 + AN** et permettent donc de vérifier le comportement au feu d'éléments isolés (analyse par élément). Elles traitent :

- **pour le comportement mécanique :**
 - du calcul de la résistance à température élevée des éléments en acier au carbone de classes 1, 2, 3 et 4 : éléments tendus, comprimés, fléchis, comprimés et fléchis (**EN 1993-1-2 §4.2.3** et Annexe Nationale) ;
 - du calcul de la résistance à température élevée des éléments en acier inoxydable de classes 1, 2 et 3 : éléments tendus, comprimés, fléchis, comprimés et fléchis (**EN 1993-1-2 §4.2.3** et Annexe C) ;
 - du calcul de la température critique (**EN 1993-1-2 §4.2.4**) ;
 - du calcul des assemblages en situation incendie : boulons soumis au cisaillement, boulons tendus et soudures d'angle (**EN 1993-1-2 Annexe D**) ;

2. DOMAINE D'APPLICATION

Le domaine d'application général des feuilles de calcul mises au point est celui de l'**EN 1993-1-2 + AN** qui, pour rappel, s'applique aux structures, ou parties de structures, couvertes par l'**EN 1993-1** et l'**EN 1993-1-4** et conçues en conséquence.

Néanmoins, dans le cadre du Projet Eurocodes, les restrictions spécifiques suivantes ont été intégrées :

- les feuilles de calcul permettant l'application des modèles de calcul simplifiés mécaniques pour les éléments de classes 1, 2 et 3 s'appliquent aux éléments en acier au carbone ou en acier inoxydable, de type profilés laminés à chaud en I, H ou U, de type PRS (profilés reconstitués soudés) en I ou H, et de type tubes creux (ronds, carrés ou rectangulaires) ;
- pour les éléments tendus, les feuilles de calcul relatives à la résistance à la traction s'appliquent aussi aux éléments de type tirants (section de type rond plein) ;
- les feuilles de calcul permettant l'application des modèles de calcul simplifiés mécaniques pour les éléments de classe 4 s'appliquent aux éléments en acier au carbone de type profilés laminés à chaud en I ou H, de type PRS (profilés reconstitués soudés) en I ou H, et de type tubes creux (ronds, carrés ou rectangulaires), pour lesquels le flambement par torsion ou par flexion-torsion ne représente pas un mode de ruine prédominant dans le dimensionnement à froid ;
- les calculs mécaniques relatifs au déversement en situation incendie ne sont valables que pour les éléments de type profilés laminés à chaud ou PRS de type I ou H. Pour les autres sections, en particulier celle de type tube creux, les formules de calcul prenant en compte le déversement ne sont pas applicables ;
- pour les calculs mécaniques de résistance des éléments en situation d'incendie, il ne sera pas pris en compte une distribution non uniforme de température en section, en dehors de celle proposée pour les éléments fléchis (sans risque de déversement) avec l'utilisation des facteurs d'adaptation κ_1 (température non uniforme dans une section) et κ_2 (température non uniforme le long d'une poutre hyperstatique) ;
- le calcul de l'échauffement des éléments en acier situés à l'extérieur des bâtiments ne traite que le cas d'éléments en acier non protégés et positionnés en face d'une ouverture.

Certaines applications des feuilles de calcul pour les modèles de calcul simplifiés de l'**EN1993-1-2 + AN** peuvent également faire l'objet de restrictions supplémentaires afin de limiter les possibilités d'erreur et afin de rendre plus aisée leur application : choix d'un paramètre, formule de calcul d'un coefficient, etc. Dans ce cas, chaque simplification sera précisée dans le paragraphe de présentation de la feuille de calcul propre à l'application.

5. NOTICE D'UTILISATION DES FEUILLES DE CALCUL EXCEL®

5.1 Présentation générale

Les outils réalisés dans le cadre du Guide sont des feuilles de calcul Excel® regroupées dans des classeurs Excel®.

On dénombre au total 6 classeurs différents, chacun d'entre eux pouvant contenir une ou plusieurs feuilles de calculs :

- le classeur « EN 1993-1-2 – Acier au carbone – Classes 1, 2 et 3.xls » ;
- le classeur « EN 1993-1-2 – Acier au carbone – Classe 4.xls » ;
- le classeur « EN 1993-1-2 – Acier inoxydable – Classes 1, 2 et 3.xls » ;
- le classeur « EN 1993-1-2 – Assemblages » ;
- le classeur « EN 1993-1-2 – Échauffement – Feu conventionnel.xls » ;
- le classeur « EN 1993-1-2 – Échauffement – Élément extérieur.xls ».

Le principe général d'utilisation de ces feuilles est que les données à remplir par l'utilisateur sont celles figurant dans les cellules à fond jaune alors que le résultat final du calcul apparaît en gras dans les cellules à fond gris. À noter que les valeurs intermédiaires des calculs sont également données. Elles apparaissent dans les cellules à fond gris, situées sous les cellules de résultat.

L'unité de chaque paramètre est donnée.

Seules les cellules données, pour lesquelles l'utilisateur doit renseigner les valeurs, sont modifiables. Toutes les autres cellules sont verrouillées : paramètres fixes, calculs intermédiaires, résultat final, formules de calcul.

Données		
Section	IPE 220	
f_y	355	N/mm ²
Classe de l'élément	1	/
$\gamma_{M,0}$	1.0	/
$\gamma_{M,fi}$	1.0	/

Diagramme illustrant l'utilisation des feuilles de calcul. Les cellules à fond jaune (IPE 220, 355, 1) sont destinées à être remplies par l'utilisateur. Les cellules à fond gris (1.0, 1.0) sont des résultats de calculs et sont non modifiables. Les cellules à fond blanc (N/mm², /) contiennent des unités ou des symboles.

Figure 5-1 : Exemple d'utilisation des feuilles

Certaines feuilles de calcul font appel à des macros Visual Basic, verrouillées également.

Pour certaines données (par exemple, la section des profilés), une liste déroulante est proposée à l'utilisateur (un catalogue de profilés pour l'exemple en question).

Pour d'autres, un commentaire en tant qu'aide ou précision sur le paramètre ou la donnée à remplir, apparaît quand la cellule est sélectionnée.

5.2 Calculs mécaniques

Pour rappel, sont traités :

- le calcul de la résistance en situation incendie des éléments en acier au carbone de classes 1, 2, 3 et 4 : éléments tendus, comprimés, fléchis, comprimés et fléchis (EN 1993-1-2 §4.2.3 et Annexe Nationale pour la classe 4) ;
- le calcul de la résistance en situation d'incendie des éléments en acier inoxydable de classes 1, 2 et 3 : éléments tendus, comprimés, fléchis, comprimés et fléchis (EN 1993-1-2 §4.2.3 et Annexe C) ;
- le calcul de la température critique (EN 1993-1-2 §4) ;
- le calcul des assemblages en situation incendie : boulons soumis au cisaillement, boulons tendus et soudures d'angle (EN 1993-1-2 Annexe D).

5.2.1 Rappels sur les méthodes de vérification de l'EN 1993-1-2

- Calcul de la résistance en situation incendie

La méthode de vérification par le calcul de la résistance en situation incendie, $R_{fi,d,t}$, repose sur le principe du (1) du paragraphe 4.2.1 de l'EN 1993-1-2, à savoir :

La fonction porteuse d'un élément en acier doit être considérée comme maintenue après un temps t dans une situation de feu donnée si :

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$$

Où :

$E_{fi,d}$ est l'effet des actions de calcul en situation d'incendie, selon l'EN 1991-1-2 ;

$R_{fi,d,t}$ est la résistance de calcul correspondante de l'élément en acier, dans la situation d'incendie, au temps t . $R_{fi,d,t}$ est donc, pour un élément en acier atteignant après un temps d'exposition à un incendie une température d'échauffement θ (en °C), égale à $R_{fi,\theta}$.