



Résumé du rapport d'expertise d'évaluation de la résistance au feu des piliers mixtes acier-béton ORSO-V

Résumé Piliers mixtes acier-béton ORSO-V

Client : **F.J. Aschwanden AG**
Grenzstrasse 24
CH-3250 Lyss

N° de commande : 6.1/16-044

Éléments calculés :

Volume total : 10 pages

Etabli : Ingénieur-docteur Jörg Schmidt 04/2017
Ingénieur-d (BA) Tom Guder
Ingénieur-docteur Susanne Reichel

Vérifié en interne : Professeur ingénieur-docteur Frank Dehn

Espace pour les inscriptions d'examen:

I Table des matières

II Informations générales	2
III Classification normative	3
IV Analyse thermique	5
V Analyse mécanique	7
VI Résultat et évaluation	8
VII Bibliographie	9

II Informations générales

La MFPA Leipzig GmbH a été chargée par F.J. Aschwanden AG de vérifier les méthodes de calcul appliquées « Procédé de calcul simplifié selon EN 1994-1-2, section 4.3.5 » et « Calcul par éléments finis comme procédé général de calcul selon EN 1994-1-2, section 4.4 » pour déterminer la durée de la résistance au feu des piliers mixtes acier-béton de la F.J. Aschwanden AG portant le nom commercial ORSO-V.

La vérification concernait les déformations, les températures et la durée de résistance au feu. Une étude de la sensibilité a été également effectuée pour évaluer le procédé de calcul appliqué, où les paramètres essentiels, comme les dimensions des éléments ou de la forme de section transversale, l'élancement ou la longueur de flambement, le type de charge ou l'excentricité et le degré d'exploitation de la charge, ont fait l'objet de variation. En fin de compte, les modèles EF de la MFPA Leipzig GmbH et les modèles EF de la F.J. Aschwanden AG utilisés pour la vérification ont été validés sur la base d'essais. Tous les piliers considérés sont des piliers préfabriqués fabriqués à l'usine de préfabrication de la F.J. Aschwanden AG à Lyss avec la même composition de béton (béton de remplissage à faible retrait spécifique de la classe de résistance C70/85) en utilisant toujours les mêmes matières premières et toujours la même technologie de fabrication. L'objet de l'évaluation concerne des piliers mixtes avec $\lambda \leq 150$ soumis à la compression et à la flexion, exprimés par l'excentricité de charge $e = M/N \leq 2b$. Il a été décidé de considérer les piliers pour le dimensionnement (à froid) comme piliers pendulaires (cas d'Euler 2).

Pour la validation des procédés généraux de calcul, les résultats expérimentaux étaient disponibles. Ceux-ci découlaient de :

- Essais au feu pour six piliers sans charge,
- trois essais au feu sous charge,
- des essais de matériaux dans le cadre de l'assurance de la qualité ainsi que
- des essais de matériaux accompagnant les essais au feu.

III Classification normative

Selon la norme SIA 264 [5], section 4.4.1, s'appliquent à l'analyse d'une structure porteuse et au dimensionnement les dispositions des normes SIA 260 [1], SIA 261 [2] SIA 262 [3] et SIA 263 [4] ainsi que les dispositions de la norme SN EN 1994-1-2 [9]. Selon la norme SIA 262, section 4.3.10, la résistance au feu exigée pour un ouvrage de construction est déterminée dans les bases du projet [3]. L'ouvrage doit alors être réalisé de telle sorte que l'action du feu ne provoque pas la défaillance prématurée de la structure porteuse. La norme SIA 264 [5] ouvre des possibilités d'utilisation des approches et des types de construction innovants, grâce à ces exigences plutôt fondamentales exposées à la section 4.4.2 concernant les propriétés de résistance et de déformation du matériau de construction utilisé pour la démonstration, ainsi que la modélisation et les procédés de calcul.

La norme SIA 264 ne limite pas (volontairement) par cela les éléments et matériaux démontrables dans le cadre de la norme SIA 264. Au contraire, il est exigé que les procédés généraux de calcul fournissent des approximations fiables du comportement attendu des éléments (SIA 264 [5], section 4.4.2.1), qui prennent en compte l'effet des contraintes et des tensions résultant de l'échauffement et des gradients de température (SIA 264 [5], section 4.4.2.5).

Dans la première exigence, l'existence d'une valeur attendue du comportement des éléments et d'au moins une base expérimentale fiable est prise implicitement en compte pour pouvoir reconnaître ou définir les phénomènes essentiels de la modélisation. Les expériences expérimentales permettent ensuite de vérifier ou de valider des modèles physiquement utiles pour le calcul ou le dimensionnement.

En cas d'utilisation des procédés généraux de calcul, selon SIA 264, section 4.4.2.2, des procédés de calcul distincts peuvent être utilisés pour le calcul du champ de températures et pour la simulation du comportement porteur en cas d'incendie. Dans le cadre du présent rapport, deux modèles formellement indépendants mais superposés, les deux conçus sur la base de la méthode des éléments finis, sont utilisés. D'autre part, est utilisé le procédé de calcul simplifié pour déterminer la résistance au feu des piliers mixtes décrit dans EN 1994-1-2, section 4.3.5.1.

EN 1994-1-2 [9] propose, dans sa section 4.3.5, un procédé de calcul simplifié pour les piliers mixtes sollicités de manière centrées pour calculer leur durée de la résistance au feu. EN 1994-1-2 [9] dans sa section 4.4 permet également l'application de ce que l'on appelle les procédés généraux de calcul, dans la mesure où les conditions de validité formulées à la section 4.4.4 sont respectées.

L'approche de la vérification du procédé général de calcul utilisé de la F. J. Aschwanden AG décrite dans le chapitre II ainsi que la validation de ce procédé et du procédé utilisé par MFPA Leipzig GmbH pour la vérification remplissent ainsi les exigences de la norme SIA 264[5] et correspondent à la démonstration de la validité des procédés généraux de calcul selon la section 4.4.4 de EN 1994-1-2 [9].

IV Analyse thermique

Une description précise du champ de températures dans le cadre de simulations numériques revêt une importance décisive pour l'exactitude des résultats de l'analyse mécanique.

Selon la norme SIA 264, section 4.4.2, le calcul de la distribution de la température doit être effectué sur la base de la théorie du transfert de la chaleur. L'impact du taux d'humidité et du transport d'humidité peut y être négligé. Pour le calcul du comportement d'échauffement la méthode des éléments finis est utilisée.

Les équations différentielles à la base des processus de transport de la chaleur sont approximées par sections au moyen des fonctions d'approximation des valeurs basses en respectant les équations de conservation et de bilan (p. ex. la loi de Fourier). Ce faisant, les dimensions spatiales et temporelles sont traitées séparément. L'approximation spatiale est produite par la discrétisation, l'approximation temporelle par des solutions d'approximation de l'intégration temporelle. Le système des éléments finis utilisé est fondé sur Code-Aster [13]. La modélisation de tous les piliers est généralement effectuée en trois dimensions en utilisant les éléments de volume avec fonction d'approximation linéaire.

La figure 1 montre, par l'exemple du pilier mixte RBew18, le maillage des EF avec des éléments de volume en 3D en utilisant la symétrie (semi-modèle), comme il est choisi pour le calcul des champs de températures.

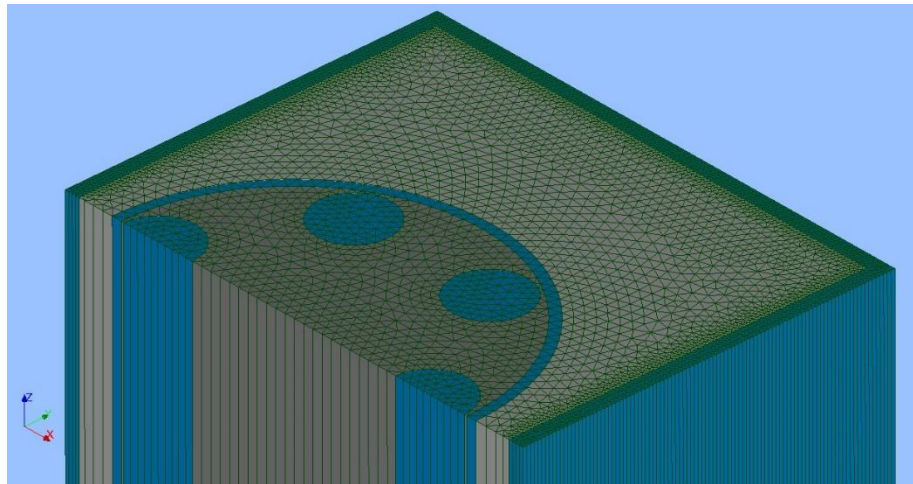


Figure 1 : La discrétisation des éléments finis des piliers mixtes RBew18 (semi-modèle symétrique, vue en section transversale)

Les approximations des éléments et les modèles de matériau ont été vérifiés sur la base des calculs comparatifs indépendants ainsi que des exemples désignés dans le document d'application nationale pour la norme DIN EN 1991-1-2 [10], Annexe CC. L'aptitude générale du système de modélisation utilisé pour les simulations thermiques ainsi que mécaniques des éléments en béton armé traités contre le feu a pu ainsi être démontrée en totalité par des exemples généraux de validation (cf.[11] ou www.mfpa-leipzig.de).

Tous les paramètres des matériaux sont considérés indépendamment de la température. Les modèles de matériaux et les descriptions des éléments sont linéarisés de manière cohérente de telle sorte que le procédé incrémentiel itératif de solution a une convergence quadratique. Puisque le facteur déterminant de la matrice de coefficients ne change pas son signe, seuls les états d'équilibre physiquement pertinents sont calculés.

Tandis que les propriétés thermiques du fer à béton, de l'acier de construction et de l'acier inoxydable sont clairement réglées par les normes, le domaine de la conductivité thermique du béton désigné par les limites inférieure et supérieure exige l'examen de l'approche utilisée pour la modélisation.

Pour déterminer les paramètres du béton, l'évolution de la conductivité thermique et de l'humidité du béton ainsi que pour examiner la modélisation EF, une étude comparative des paramètres a été effectuée sur la base d'essais de réaction au feu des piliers non chargés.

Il est à constater que la comparaison des variations de température mesurées avec celles calculées au moyen de la simulation EF permet une bonne approximation dans l'ensemble, en partie même très bonne. La modélisation EF et les paramètres de matériaux utilisés pour déterminer les champs de températures dans les piliers verticaux sont considérés comme assez précis et sont utilisés pour les autres examens. Les résultats de l'analyse thermique entraînent généralement des résultats fiables pour les analyses statiques.

V Analyse mécanique

Après que la preuve de la validité du procédé général de calcul de la MFPA Leipzig GmbH selon EN 1994-1-2, section 4.4.4 en rapport avec les températures a été fournie, les durées de résistance au feu déterminées ont été comparées conformément au procédé de calcul simplifié selon EN 1994-1-2, section 4.3.5 [9] et conformément au procédé général de calcul de la MFPA Leipzig GmbH pour l'appréciation de la validé de la modélisation EF. L'objectif de cette étude de la sensibilité, où les paramètres essentiels, comme les dimensions des éléments ou la forme de section transversale, l'élanement ou la longueur de flambement, le type de charge ou l'excentricité et le degré de l'exploitation de la charge, fait l'objet de variation, consistait à établir la conformité des résultats de la modélisation EF à ceux de l'expérience solide dans le domaine de l'ingénierie et leur fiabilité.

La validation de la modélisation EF a succédé à la vérification sur la base des essais au feu des piliers, de telle sorte que la validité de la modélisation EF en rapport avec le comportement de déformation et les durées de résistance au feu a été démontrée sur la base des résultats des expériences décisifs. La modélisation EF désormais validée a été ensuite utilisée pour vérifier la modélisation EF de la F.J. Aschwanden AG aussi bien pour les piliers à charge centrée qu'avant tout pour les piliers à charge excentrée. Cela a démontré la validité de la modélisation EF de la F.J. Aschwanden AG. Cette démarche est nécessaire, puisque le champ d'application du procédé de dimensionnement simplifié selon EN 1994-1-2, Annexe H [9] ne suffit pas sur les points suivants :

- La classe de résistance du béton utilisée C70/85 est significativement plus grande que la limite supérieure du champ d'application selon EN 1994-1-2, Annexe H.
- Le degré d'armement du nombre de piliers est sensiblement supérieur à la limite supérieure du champ d'application selon EN 1994-1-2, Annexe H.
- La longueur de flambement du nombre de piliers est sensiblement supérieure à la limite supérieure du champ d'application selon EN 1994-1-2, Annexe H.
- Les dimensions extérieures du nombre de piliers sont sensiblement supérieures à la limite supérieure en dimension transversale du champ d'application selon EN 1994-1-2, Annexe H,

et la réalisation des essais au feu des piliers à charge excentrée n'est pas possible pour le moment faute de moyens de vérification.

VI Résultat et évaluation

Dans l'ensemble, 4 sections transversales différentes avec à chaque fois 4 excentricités différentes et 3 degrés d'exploitation de la charge différents et au moins 3 épaisseurs différentes ont été examinés. Il en découle $4 \times 4 \times 3 \times 3 = 144$ calculs individuels qui ont été à chaque fois effectués avec les deux procédés généraux de calcul (modèles EF de la MFPA Leipzig GmbH et de la F.J. Aschwanden AG).

La comparaison entre les résultats des deux procédés généraux de calcul montre que les périodes de défaillance établies (durées de résistance au feu) sont relativement bien corrélées et que les durées de la résistance au feu calculées par la F.J. Aschwanden AG sont généralement fiables. La modélisation de la F.J. Aschwanden AG est par conséquent suffisamment solide et fiable. La pertinence de cette étude est ainsi également démontrée.

Sur ce point, la validité de la modélisation des éléments finis présentée en tant que procédé général de calcul de dimensionnement de la structure porteuse en cas d'incendie pour les piliers mixtes considérés est considérée comme réussie même en ce qui concerne l'exigence formulée dans EN 1994-1-2, section 4.4.4 (2)P que la procédure de validation de procédé général de calcul doit être effectuée sur la base des résultats des essais décisifs.

La modélisation de la F.J. Aschwanden convient par conséquent au calcul de la résistance au feu des piliers mixtes acier-béton du type ORSO-V fabriqués à l'usine de préfabrication de la F.J. Aschwanden AG à Lyss en employant un béton de remplissage spécifique à faible retrait de la classe de résistance C70/85.

VII Bibliographie

- [1] SIA 260 : SN 505 260 Bases pour l'élaboration de structures porteuses. 2013
- [2] SIA 261 : SN 505 261 Actions sur les structures porteuses- 2013
- [3] SIA 262 : SN 505 262 Construction en béton. 2013
- [4] SIA 263 : SN 505 262 Construction en acier. 2013
- [5] SIA 264 : SN 505 264 Construction mixte acier-béton. 1^{ère} édition, 2014
- [6] EN 1991-1-2 Eurocode 1 : Actions sur les structures porteuses – Parties 1-2 : Effets généraux – actions du feu sur les structures porteuses 2010
- [7] EN 1992-1-2 Eurocode 2: Dimensionnement et construction des structures porteuses en béton armé et précontraint – Parties 1-2 : Règles générales – Dimensionnement des structures porteuses pour le cas d'incendie. 2010
- [8] EN 1993-1-2 Eurocode 3 : Dimensionnement et construction des structures en acier – Parties 1-2 : Règles générales – Dimensionnement des structures porteuses pour le cas d'incendie. 2010
- [9] EN 1994-1-2 Eurocode 4 : Dimensionnement et construction des structures porteuses mixtes en acier et en béton – Parties 1-2 : Règles générales Dimensionnement des structures porteuses pour le cas d'incendie. 2010
- [10] EN 1991-1-2 Eurocode 1 : Paramètres déterminés nationalement – Eurocode 1 : Actions sur les structures porteuses – Parties 1-2 : Effets généraux – Actions du feu sur les structures porteuses ; version allemande 12/2012
- [11] Projet n° 6.1/13-010 ; Analyses thermiques et statiques d'évaluation de la capacité porteuse en cas d'incendie ; Validation des calculs numériques ; Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH ; septembre 2013
- [12] Fire Safety Science-Proceedings of The ninth International Symposium, pp. 1227-1238, U. Wickström, International Association for Fire Safety Science
- [13] <http://www.code-aster.org/>
- [14] Manuel d'Eurocode – Volume consacré aux structures porteuses pour le cas d'incendie. Deutsches Institut für Normung, 1^{ère} édition, 2012
- [15] EN 1365-4:1999-10 : Essais de résistance au feu des éléments porteurs – Partie 4 : Piliers. 1999