Zeitschrift: Tracés : bulletin technique de la Suisse romande
Herausgeber: Société suisse des ingénieurs et des architectes
Band: 133 (2007)
Heft: 02: Protection sismique

Artikel: Renforcer en transformant
Autor: Peruzzi, Roberto / Schmid, Alexandre
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-99541

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Roberto Peruzzi, Alexandre Schmid

Renforcer en transformant

Réalisé entre 1903 et 1950, le bâtiment de l'Ecole supérieure de commerce (ESC) à Monthey a été conçu bien avant la publication en 1970 des premières recommandations parasismiques dans les normes SIA. Il a été acquis en 2001 par l'Etat du Valais qui l'a transformé pour que ses locaux puissent répondre aux exigences de l'enseignement supérieur moderne HES. Sensibilisé à l'augmentation du risque sismique en Valais selon les nouvelles normes SIA, le Canton a fait contrôler la sécurité parasismique du bâtiment, ce qui a conduit à son renforcement.

Si le bâtiment actuel de l'ESC donne l'impression d'avoir été réalisé en une seule étape, l'analyse de la structure porteuse a mis en évidence l'évolution des techniques utilisées. La partie la plus ancienne a été construite en 1903, avec des pierres naturelles (moellons) et des planchers en bois (corps 1, fig. 2). Cinq ans plus tard, une construction a été ajoutée au nord, à environ sept mètres de distance (fig. 1). La structure porteuse de ce second bâtiment est formée de murs en maçonnerie de parpaings très fins alors que les planchers sont des dalles en béton armé. Environ 40 ans plus tard, le bâtiment de 1908 a été agrandi et les deux premiers bâtiments ont été reliés entre eux à l'aide de planchers en bois (fig. 2).

Transformation et sécurité parasismique

Les transformations devaient permettre de réunir différents locaux de faibles dimensions pour créer des salles de classe. Plusieurs murs porteurs ont dû être supprimés et remplacés par des cadres de renforcement. La partie la plus touchée est celle de 1908, en particulier la façade sud qui a dû être fortement démontée. Si ces transformations ne comportaient pas de difficultés statiques, l'analyse dynamique a démontré que la suppression des certains murs augmentait nettement le déficit de résistance parasismique du bâtiment.

Les facteurs de conformité effectifs[1] ont été déterminés en tenant compte des transformations projetées. La partie la plus ancienne du bâtiment (corps 1) n'a pas subi de transformation de ses structures porteuses. Elle présente des facteurs de conformité élevés :

- sens transversal : $\alpha_{eff,\,transv} = 0{,}82$
- sens longitudinal : $\alpha_{eff,\,long} = 0{,}84$

Ce résultat favorable s'explique par le fait que le 90 % de la masse du bâtiment se concentre dans ses murs (très épais), qui ne subissent que peu de forces latérales provenant des planchers en bois. Pour des raisons d'isolation phonique, l'architecte avait d'abord projeté de remplacer ces planchers légers par des dalles en béton armé. L'augmentation de la masse des planchers aurait cependant entraîné une forte dégradation du comportement dynamique, ce qui a conduit le Maître de l'ouvrage à conserver les planchers en bois.

Le corps 3 du bâtiment est composé de murs fins en maçonnerie de parpaings et de dalles en béton armé. Subissant des modifications importantes de ses structures porteuses dans le sens transversal (des murs porteurs ont été supprimés), cette partie du bâtiment présente des facteurs de conformité plus faibles :

- sens transversal : $\alpha_{eff,\,transv} = 0{,}15$
- sens longitudinal : $\alpha_{eff,\,long} = 0{,}42$

1

[1] Définis dans le cahier technique CT SIA 2018, voir article p. 8

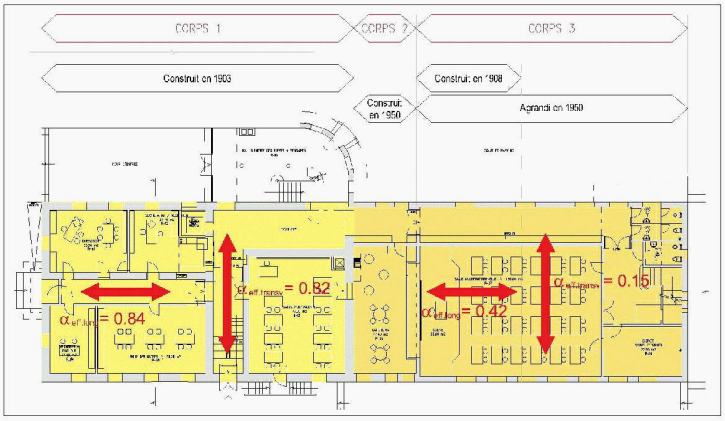
Fig. 1 : Carte postale de 1910 montrant les deux premiers bâtiments construits en 1903 (à gauche) et en 1908 (à droite)

Fig. 2 : Vue en plan du bâtiment avec mention des différentes étapes de construction et des valeurs des facteurs de conformité

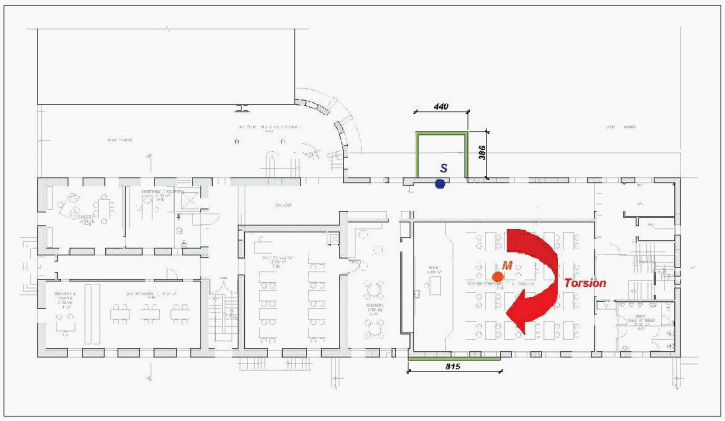
Fig. 3 : Solution retenue : noyau en façade ouest et refend en façade est – position du centre de gravité du bâtiment et du centre de rigidité sans le refend est

Fig. 4 : Détail de l'ancrage

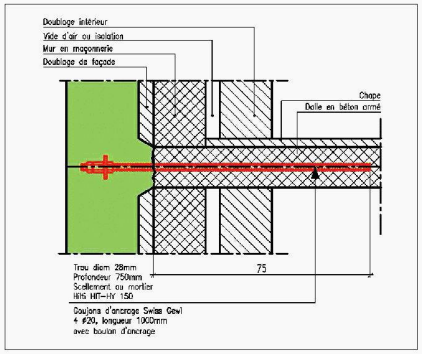
Fig. 5 : Coupe transversale du bâtiment



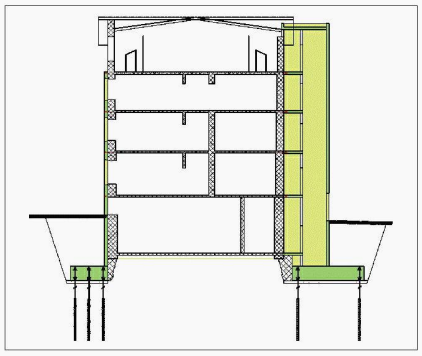
2



3



4



5

L'appréciation numérique de la sécurité structurale s'effectue sur la base des facteurs de conformité effectifs α_{eff} qui sont comparés avec les valeurs α_{min} et α_{adm} fournies par le CT SIA 2018. En accord avec le Maître de l'ouvrage, on a admis les paramètres suivants :

– durée d'utilisation restante de l'ouvrage : 60 ans
– classe d'ouvrage : COII

Pour le corps 1, les facteurs de conformité obtenus dans les deux directions sont supérieurs à la valeur admissible α_{adm} = 0,80 : aucune intervention n'a donc été recommandée.

Pour les corps 2 et 3, le facteur de conformité effectif transversal (0,15) est en dessous du seuil minimal (α_{min} = 0,25), ce qui signifie que la probabilité d'effondrement en cas séisme majeur est très grande et qu'une intervention est nécessaire si elle est raisonnablement exigible. Compte tenu du caractère public du bâtiment et du nombre important de personnes pouvant trouver la mort en cas de séisme majeur (PB = 56,15), le CT SIA 2018 considère qu'un investissement pouvant atteindre 2 323 000 francs est raisonnablement exigible pour renforcer cette partie du bâtiment.

Longitudinalement, le facteur de conformité obtenu (0,42) se situe entre les bornes minimale (α_{min} = 0,25) et admissible (α_{adm} = 0,80). Cela signifie que la sécurité structurale en cas séisme est jugée comme insuffisante. Le facteur étant toutefois supérieur à la valeur minimale, une intervention est nécessaire uniquement si elle est proportionnée.

L'investissement considéré comme proportionné se calcule avec les paramètres définis ci-dessus (PB - COII - durée restante), mais en les adaptant au niveau de risque défini par le facteur de conformité.

Le bâtiment offre une sécurité dans le sens longitudinal supérieure à la valeur minimale α_{min} et un investissement n'excédant pas 150 000.– francs est jugé comme proportionné. On constate que ce montant est logiquement très inférieur à celui que l'on obtient pour un facteur de conformité plus petit que α_{min} = 0,25 (sens transversal).

Renforcement parasismique

Deux contraintes étaient imposées à l'ingénieur, à savoir d'une part une intervention extérieure (maintien de l'exploitation des écoles durant le chantier) et, d'autre part, un maintien maximal des ouvertures en façade est pour éviter d'assombrir les salles de classe.

Pour permettre à l'architecte et au maître de l'ouvrage d'apprécier l'importance de l'intervention, on a élaboré une première variante consistant à réaliser quatre refends en béton armé extérieurs dans chacune des deux directions.

Fig. 6 : Essai de traction mené durant le chantier pour vérifier la résistance à la traction des barres d'ancrages

Fig. 7 : Vue générale du refend est, très discret

Deux nouvelles exigences sont alors apparues : il a fallu d'une part envisager d'élargir la cage d'ascenseur intérieure (adaptation aux normes pour personnes handicapées), et d'autre part intégrer des locaux sanitaires supplémentaires à l'intérieur du corps de bâtiment 3.

La solution qui s'est alors imposée (fig. 3) consiste à associer ces deux éléments aux exigences parasismiques et de réaliser à l'ouest un noyau extérieur en béton armé abritant un nouvel ascenseur et des locaux sanitaires (fig. 8). Cette solution a en outre permis de créer deux accès supplémentaires : au sous-sol du bâtiment (dans la salle de gymnastique) et au niveau de la chaussée extérieure.

Si ce noyau en béton armé renforce le bâtiment dans le sens transversal, il ne suffit en revanche pas à lui seul dans le sens longitudinal. En effet, le noyau étant très excentré par rapport au centre de gravité du bâtiment, des efforts de torsion importants risquent d'entraîner la ruine des murs en maçonnerie de la façade est. De ce fait, la présence d'un refend en façade devient impérative (fig. 7).

Pour le dimensionnement des structures parasismiques, le choix du comportement de la structure a été dicté par le comportement de type fragile des murs en maçonnerie qui assurent la descente des charges, soit un comportement non ductile des structures parasismiques en béton armé ($q = 2$).

Les murs porteurs en maçonnerie ne pouvant supporter des déplacements latéraux importants sans risque de s'effondrer, les déformations latérales entre étages ont dû être limitées à 0,6 %.

La solution de renforcement parasismique optimale définie, restait alors à apprécier son exigibilité. Le devis des travaux a été établi en tenant compte de la construction du noyau ouest et du refend est et en déduisant le montant des travaux de transformations intérieures économisés par la réalisation extérieure de l'ascenseur. Le montant total des travaux (gros-œuvre, second œuvre et aménagements extérieurs) atteignant 602 000 francs, l'exigibilité du renforcement parasismique fut rapidement admise par le Maître de l'ouvrage, son coût étant bien inférieur à la limite d'exigibilité de 2,32 millions de francs.

Réalisation

Le noyau ouest et la paroi extérieure est devant reprendre la totalité des forces sismiques des corps 2 et 3, les principales difficultés étaient de garantir l'accrochage du bâtiment avec ces deux structures de renforcement et d'assurer la stabilité générale de ces dernières vis-à-vis du renversement.

Les masses pouvant osciller latéralement en cas de séisme sont concentrées dans les dalles des cinq étages, lesquelles

6

7

Tab. A : Renforcement de l'ESC en chiffres

Fig. 8 : Vue générale du noyau parasismique ouest équipé en paroi de grimpe

Zone de risque sismique	3a a_{gd} = 1.3 m/s^2
Classe de sol selon SIA 261	Microzonage spectral région Monthey. Supérieur à un sol de classe E S > 1.40
Choix du comportement de la structure de renforcement parasismique	q = 2 non ductile
Dimensions en plan du bâtiment renforcé	25 x 15 m.
Hauteur du bâtiment hors terre	17 m.
Nombre d'étages	5, 1 ssol + 5 étages
Volume SIA du bâtiment renforcé	8'600 m^3
Valeur du bâtiment	Fr. 4'900'000.-
Montant final des travaux de renforcement parasismique y compris honoraires TTC	Fr. 543'000.-
Rapport renforcement / valeur	11.1 %
Prix au m3 du renforcement	Fr. 63.15 / m^3

A

8

sont considérées comme des diaphragmes infiniment rigides en plan. La transmission des efforts horizontaux de séisme doit donc être assurée par la liaison entre les dalles et les nouveaux éléments de renforcement (fig. 4). En cours de chantier, des essais de traction sur les ancrages horizontaux ont permis de confirmer la capacité des dalles existantes à assurer le transfert des forces sismiques vers les structures de renforcement (fig. 6).

Le noyau et le refend devaient garantir un moment d'encastrement très élevé au niveau de la fondation : ce moment est repris par un couple de forces (traction-compression) agissant dans des micropieux réalisés aux extrémités de chaque fondation (fig. 5).

Le renforcement parasismique a été réalisé en deux étapes, parallèlement aux travaux de transformations intérieures, qui dépendaient des déplacements répétés des salles de classe durant le chantier et des congés scolaires. Réalisés entre juin 2005 et octobre 2006, les travaux se sont finalement avérés plus économiques que prévus.

A noter finalement que les maîtres d'éducation physique ont trouvé une utilité ludique supplémentaire non imaginée ni par l'ingénieur parasismique ni par l'architecte à l'imposante tour en béton armé accueillant l'ascenseur : celle de l'utiliser comme paroi de grimpe (fig. 8) !

Cycle d'orientation du Reposieux

Un autre exemple d'une transformation impliquant une vérification sismique concerne le bâtiment du cycle d'orientation (CO) du Reposieux auquel la commune de Monthey souhaite ajouter un étage pour faire face à l'accroissement du nombre d'élèves. Réalisé en 1971, ce bâtiment est constitué d'une structure porteuse métallique et de façades en aluminium. Il exprime clairement les critères retenus lors de sa construction : économie et délais d'exécution minimaux (fig. 9). Il est un exemple du système de construction CROCS[1] qui répondait alors à un fort besoin en infrastructures scolaires.

La structure utilise des cadres métalliques bidirectionnels autostables (fig. 10). Les planchers sont constitués de dallettes préfabriquées en béton de 8 cm, posées sur des poutrelles métalliques secondaires. Le système statique est une grille spatiale de cadres à nœuds rigides formant un système autostable, sans contreventement. Les dallettes étant simplement appuyées sur la structure métallique, aucun effet diaphragme dans le plan horizontal ne peut être pris en compte.

Le bâtiment actuel comprend quatre masses susceptibles d'osciller, représentant une charge totale de 29 000 kN. L'étage supplémentaire élèvera la charge à plus

Fig. 9 : Vue générale du CO du Reposieux à Monthey

Fig. 10 : Vue d'ensemble du système structural CROCS (cadres bidirectionnels autostables)

Fig. 11 : Spectre de réponse pour la région de Monthey (microzonage), avec diminution de la valeur Sd due à l'assouplissement du bâtiment surélevé

(Tous les documents illustrant cet article ont été fournis par les auteurs.)

de 37 700 kN. Paradoxalement, cette augmentation de 30 % des charges ne sanctionne pas dans une même mesure la vulnérabilité sismique du bâtiment puisque l'ajout d'un étage n'induit qu'une augmentation de 1,5 % des forces sismiques horizontales. Ceci s'explique par une augmentation de la période fondamentale de vibration (assouplissement de la structure) qui se traduit par une diminution de la valeur de l'accélération de dimensionnement (fig. 11). A noter qu'en cas de séisme majeur, les déformations du bâtiment pourraient atteindre 350 mm, ce qui ferait que les vitrages non sécurisés des façades éclateraient, risquant d'entraîner de nombreuses blessures.

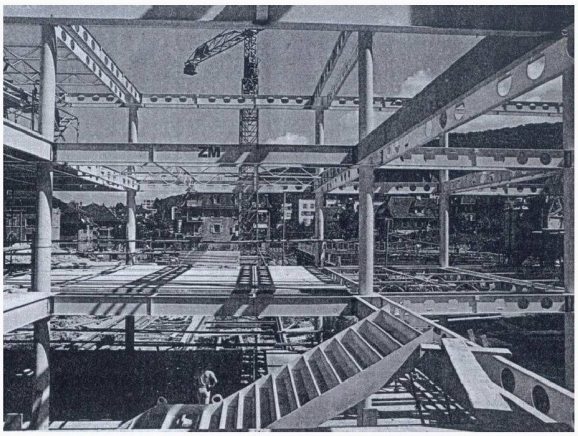
Le concept de renforcement parasismique s'est imposé de lui-même puisque l'avant-projet prévoyait la création de deux escaliers extérieurs. Il a donc été prévu que ces derniers soient réalisés dans des noyaux en béton armé garantissant la reprise des efforts sismiques. Ce choix rend nécessaire une surépaisseur des murs (35 cm) et des fondations relativement importantes (micropieux).

La principale difficulté concerne la transmission des forces sismiques dans les noyaux en béton armé, les efforts en jeu dépassant nettement les ordres de grandeurs habituels. L'absence de rigidité horizontale (dallettes préfabriquées simplement posées) fait que la structure existante ne peut diriger les forces d'inertie vers les éléments stabilisateurs. Pour y remédier, deux solutions : pour le troisième et le quatrième étage, on prévoit de disposer des contreventements horizontaux métalliques ; pour le premier et le deuxième étage (dont l'usage pendant le chantier doit être garanti), l'absence de rigidité horizontale sera compensée par un clavage des armatures de la chape existante et un goujonnage de la traverse de rive sur les noyaux parasismiques.

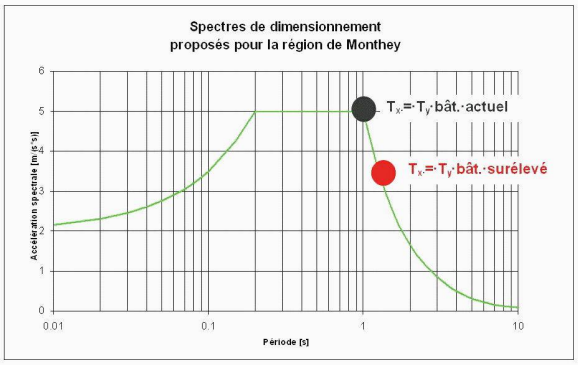
En l'occurence, le renforcement sismique de ce bâtiment lui confère une certaine plus-value, grâce à l'insertion d'escaliers de secours à l'intérieur des noyaux parasismiques.

Roberto Peruzzi, ing. civil dipl. EPFL/SIA
Alexandre Schmid, ing. civil dipl. HES/UTS
Kurmann & Cretton SA
Avenue de la Gare 37B
CH – 1870 Monthey

9



10



11

[1] Le CROCS (Centre de Rationalisation et d'Organisation des Constructions Scolaires) a été fondé en 1965 par la Commune de Lausanne pour rationaliser ses constructions scolaires. Son système de construction a été repris par des communes valaisannes et vaudoises.