KURMANN CRETTON
INGÉNIEURS

Foyer Saint-Jacques
Avenue du Midi 2 – 1890 St-Maurice

Vérification de la sécurité parasismique du bâtiment et recommandations pour le concours d'architecture du projet d'extension

Nom de l'ouvrage	:	Foyer Saint-Jacques
Maître de l'ouvrage et mandant	:	M. Guy Schnorhk, directeur
Adresse de l'ouvrage	:	Avenue du Midi 2, 1890 St-Maurice
Auteurs du document	:	J. Hegner ing. civ. dipl. EPF
	:	R. Peruzzi ing. civ. dipl. EPF/SIA Expert en génie parasismique
Date de transmission	:	14.09.2018
Numéro du document	:	18013-18_01a

Kurmann Cretton Ingénieurs SA / Route de Clos-Donroux 1 / 1870 Monthey
Bureau + 41 24 471 11 71 / info@kcing.ch
www.kcing.ch

Synthèse

Le directeur du foyer Saint-Jacques à St-Maurice, M. Guy Schnorhk, a mandaté le bureau d'ingénieurs civils Kurmann Cretton ingénieurs SA pour effectuer la vérification de la sécurité parasismique du bâtiment. L'objectif de cette étude est de déterminer sa vulnérabilité sismique et, en fonction de celle-ci, intégrer des mesures de confortement parasismique dans le cahier des charges du futur concours de projet d'extension de ce bâtiment.

Description de l'ouvrage

Le bâtiment du foyer Saint-Jacques a été construit entre 1989 et 1991 et se situe au centre de St-Maurice. L'ouvrage est utilisé en tant qu'EMS avec les chambres des résidents aux étages supérieurs ainsi que le réfectoire, la cuisine, la chapelle, les bureaux et les locaux techniques aux étages inférieurs.

En plan, la géométrie du bâtiment hors terre est en forme de « U », divisé par des joints de dilatation en 5 parties d'ouvrage distincts, à savoir l'aile Sud, l'aile Nord, le bloc centre Sud, le bloc centre Centre ainsi que le bloc centre Nord.

L'immeuble comporte au total 5 étages : Un sous-sol et un rez inférieur partiels, un rez supérieur, un 1er et un 2ème étage. Le sous-sol se trouve uniquement sous le bloc Centre et l'aile Nord ne possède que 3 étages (à partir du rez supérieur).

La structure porteuse du bâtiment est en béton armé, à l'exception des escaliers, des coursives extérieures ainsi que quelques colonnes, composés en acier.

La stabilisation dans les 2 directions principales, pour chaque partie d'ouvrage, est assurée par des refends en béton armé.

Entre les niveaux rez supérieur et 1er étage, il existe une discontinuité verticale de la structure porteuse pour toutes les parties d'ouvrage. De nombreux murs du 1er et 2ème étage ne sont pas continus au rez supérieur et rez inférieur. Pour assurer la transmission des charges, ces murs sont appuyés aux extrémités sur des piliers en béton armé respectivement sur les murs de façade du rez supérieur.

En absence d'informations précises, cette étude est basée sur des hypothèses conservatrices sur la qualité de ductilité de l'armature existante, avec l'application d'un coefficient de comportement q=1.5 pour une classe de ductilité A.

Résultats

Dans l'état actuel, sous l'hypothèse d'un coefficient de comportement q=1.5, le bâtiment du foyer Saint-Jacques à St-Maurice présente une vulnérabilité sismique importante, avec un facteur de conformité égal à 0.2 pour le bloc centre Sud, inférieur au facteur de conformité minimal exigé pour les bâtiments existants de classe d'ouvrage II, soit α_{min} = 0.25.

En appliquant les exigences de la norme SIA 269/8 :

- La sécurité structurale du bâtiment en cas de séisme majeur est jugée comme trop insuffisante et le risque pour les personnes inacceptable.
- Comme le facteur de conformité minimal du bâtiment actuel est inférieur à α_{min} = 0.25, un confortement du bloc centre Sud est obligatoire pour atteindre α_{min} = 0.25, quel que soit son coût.
- Ensuite, en tenant compte des exigences de sécurité individuelle et des principes de proportionnalité des coûts d'interventions, un investissement supplémentaire de Fr. 197'000.- est jugé comme proportionné pour atteindre α_{int} = 1.0 après intervention sous l'hypothèse d'une occupation moyennée sur l'année PB=70.4 dans l'état actuel.

Recommandations

Les interventions suivantes sont recommandées pour améliorer la sécurité parasismique du bâtiment:

- Dans le cas concret du foyer Saint-Jacques, il est très improbable que le critère de la proportionnalité soit respecté pour une intervention permettant d'atteindre $\alpha_{inf} \geq 1.0$ dans toutes les parties défaillantes. Pour cette raison, les recommandations se limitent sur une intervention dans les parties les plus vulnérables, à savoir le bloc centre Sud ainsi que le bloc centre Nord pour atteindre un facteur de conformité minimal $\alpha_{int,min} \approx 0.4$ après intervention. Cependant, lors du projet d'extension, une vérification de la proportionnalité des coûts d'intervention parasismique rapportés au coût d'investissement global du projet d'extension devra être effectuée.
- Exécution de quelques sondages ponctuels sur l'armature des refends sismiques afin de pouvoir déterminer précisément la ductilité de l'armature et par conséquent le coefficient de comportement à adopter. S'il s'avère qu'une armature de classe de ductilité B (q=2) avait été utilisée, alors les facteurs de conformité calculés pourraient être revus à la hausse, en multipliant les valeurs par un facteur ~1.3 (=2/1.5). Dans ce cas, la sécurité parasismique du bâtiment atteindrait le seuil minimal $\alpha_{min} = 0.25$.
- Si q=1.5 : Renforcement des refends dans le bloc centre Sud en rajoutant un refend en béton armé sur l'axe 15 au niveau rez supérieur ainsi que de combler en béton armé les ouvertures du refend sur l'axe 20 au rez inférieur et rez supérieur. En alternative, il serait éventuellement possible d'effectuer ces renforcements avec un contreventement en acier. En complément du confortement du bloc centre Sud, une intervention similaire dans le bloc centre Nord est recommandée, à savoir au niveau rez supérieur le renforcement en acier ou en béton armé du refend sur l'axe 23 ainsi que le comblement en béton armé de 4 fenêtres dans le refend sur l'axe 28. Ces interventions permettront d'atteindre un facteur de conformité d'au moins $\alpha_{eff} \approx 0.40$.
- Si q=2.0 : Uniquement les interventions dans le bloc centre Sud telles que décrites ci-dessus sont recommandées.
- Si le Maître d'ouvrage souhaite atteindre une mise en conformité parasismique plus élevée, un projet de confortement global devra être étudié en collaboration avec un architecte et des bureaux techniques CVSE. Une mise en conformité totale de la sécurité parasismique nécessiterait l'ajout de contreventements extérieurs en béton armé ou en acier.
- Une surélévation d'un étage en construction légère (bois, métal) sur la toiture existante est possible si les renforcements du bloc centre Sud et du bloc centre Nord (q=1.5) respectivement du bloc centre Sud (q=2.0) ont été effectués.

Table des matières

Synthèse 2
1 Préambule 5
2 Ouvrages existants face au risque sismique 5
2.1 Problématique 5
2.2 Norme SIA 269/8 5
2.3 Valeurs limites du facteur de conformité 6
3 Données de base 7
3.1 Plans et autres documents 7
3.2 Visions locales 7
3.3 Références normatives 8
4 Description de l'ouvrage 8
4.1 Géométrie et utilisation 8
4.2 Concept de la structure porteuse 9
4.3 Durée d'utilisation restante après extension 10
5 Matériaux 10
6 Analyse de la sécurité parasismique 10
6.1 Analyse structurale 10
6.2 Actions sismiques 11
6.3 Modèle de la structure 11
6.3.1 Niveau d'encastrement 11
6.3.2 Modélisation 11
6.3.3 Calcul des masses 12
7 Résultats 14
7.1 Aile Sud 14
7.2 Aile Nord 14
7.3 Bloc centre Sud 14
7.4 Bloc centre Centre 15
7.5 Bloc centre Nord 15
7.6 Aptitude au service 15
7.7 Eléments secondaires 15
7.8 Récapitulatif 15
8 Application des directives SIA 269/8 18
8.1 Intervention visant à atteindre les conditions fixées par les normes 18
9 Recommandations d'intervention pour le projet d'extension 19
9.1 Sondages sur l'armature existante 19
9.2 Renforcement des refends avec coefficient de comportement q=1.5 ($\alpha_{int,min} \approx 0.4$) 19
9.3 Renforcement des refends avec coefficient de comportement q=2.0 ($\alpha_{int,min} \approx 0.4$) 20
9.4 Mise en conformité parasismique plus élevée ($0.4 \leq \alpha_{int} \leq 1.0$) 20
9.5 Surélévation d'un étage sur toiture existante 21
10 Conclusions 21

1 Préambule

Le directeur du foyer Saint-Jacques à St-Maurice, M. Guy Schnorhk, a mandaté le bureau d'ingénieurs civils Kurmann Cretton ingénieurs SA pour effectuer la vérification de la sécurité parasismique du bâtiment. L'objectif de cette étude est de déterminer sa vulnérabilité sismique et, en fonction de celle-ci, intégrer des mesures de confortement parasismique dans le cahier des charges du futur concours de projet d'extension de ce bâtiment.

Le présent rapport décrit les études effectuées pour déterminer la vulnérabilité sismique du bâtiment selon la norme SIA 269/8 ainsi que quelques recommandations pour le projet d'extension.

2 Ouvrages existants face au risque sismique

2.1 Problématique

Des prescriptions de protection parasismique réalistes n'existent véritablement en Suisse, dans les normes SIA, que depuis 1989. Cet immeuble, dont la construction date entre 1989 et 1991, a été conçu avant l'apparition de cette norme. Selon les indications des matériaux sur les plans, il a été réalisé selon les anciennes normes SIA 162 (1968) et SIA 162/34(1976). En effet, lors de l'entrée en vigueur de nouvelles normes, il y a toujours des dispositions transitoires selon lesquelles les anciennes normes peuvent encore été appliquées pendant une certaine période, ce qui était le cas pour la construction du foyer Saint-Jacques.

Toutefois, il ne faudrait pas conclure que le bâtiment va s'écrouler à la moindre secousse.

En effet, tout bâtiment possède intrinsèquement une certaine résistance latérale due à ses éléments constitutifs comme les murs en béton armé ou maçonnerie par exemple.

Cependant, cette résistance "naturelle" s'avère, dans la majorité des cas, insuffisante face aux sollicitations sismiques prévues dans la dernière génération des normes de construction SIA 260 à 267.

Comme cette nouvelle génération de normes est destinée exclusivement aux constructions neuves, l'approche pour les ouvrages existants doit être différente.

Le séisme de dimensionnement défini par la norme SIA 261 est ainsi pondéré par la norme SIA 269/8, introduite en 2017 : "*Maintenance des structures porteuses - Séisme*".

2.2 Norme SIA 269/8

La norme SIA 269/8 formalise l'approche différente réservée aux constructions existantes. Celle-ci se base sur le concept de proportionnalité des coûts d'intervention en fonction de la réduction du risque pour les personnes présentes dans les bâtiments.

L'optique retenue est une approche basée sur les notions de risque. Cette norme dissocie le risque individuel du risque collectif et définit le niveau de sécurité minimum exigé en relation avec l'acceptation du risque individuel.

2.3 Valeurs limites du facteur de conformité

L'appréciation de la sécurité parasismique s'effectue en calculant la valeur du facteur de conformité du bâtiment et en le positionnant ensuite selon trois degrés d'intervention possibles. Le facteur de conformité est le rapport entre la résistance latérale du bâtiment et les sollicitations sismiques définies par les normes SIA 261.

$$\alpha_{eff} = \frac{R_d}{E_d}$$

avec :

α_{eff} : facteur de conformité

R_d : valeur de calcul de la résistance latérale ultime du bâtiment

E_d : valeur de calcul de la sollicitation sismique selon SIA 261

Dans le cadre de cette étude, les paramètres suivants sont choisis pour le foyer Saint-Jacques afin définir les valeurs limites des facteurs de conformité :

- Durée d'utilisation restante des ouvrages : 50 ans
- Classe d'ouvrage : COII (car PB > 50)

Ces paramètres permettent de tirer de la SIA 269/8 les valeurs α_{min} et α_{adm} qui définissent les limites d'appréciation du risque sismique pour le bâtiment :

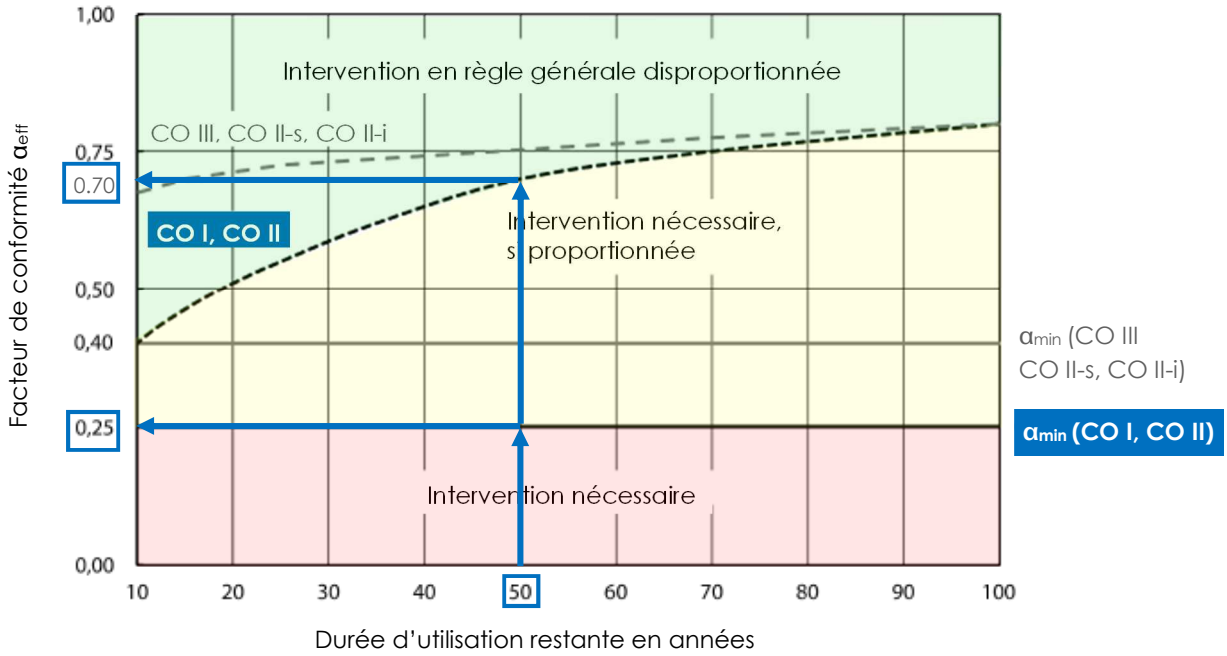
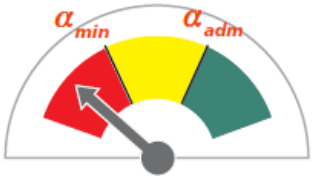


Fig. 1 Extrait de la norme SIA 269/8 définissant les valeurs limites α_{min} = 0.25 et α_{adm} = 0.70 pour une durée d'utilisation restante de 50 ans et une classe d'ouvrage CO II

En résumé, les mesures d'intervention sont définies selon les trois bornes limites suivantes :

1° **si $a_{eff} < a_{min} = 0.25$** → **Intervention nécessaire quel que soit le coût**



On considère dans ce cas que le risque individuel d'une personne se trouvant dans le bâtiment en question pourrait devenir inadmissible.

2° **si $a_{min} = 0.25 < a_{eff} < a_{adm} = 0.70$** → **Appréciation de la proportionnalité**

Intervention nécessaire si proportionnée.

3° **si $a_{eff} > a_{adm} = 0.70$** → **Pas d'intervention recommandée,**

car en général disproportionnée.

3 Données de base

3.1 Plans et autres documents

- Plans d'ingénieurs du bâtiment existant, remis par le bureau GRB SA Monthey
- Etude géotechnique du bureau Félicien Clavien SA, Sion (26.10.1987)
- Etude géotechnique complémentaire du bureau Félicien Clavien SA, Sion (16.2.1988)

3.2 Visions locales

Une première vision locale a eu lieu sur place le 17 mai 2018. Le 9 août 2018, une deuxième vision locale a été effectuée afin de valider certaines informations présentes sur les plans et les hypothèses de calcul.

Les visions locales ont permis de constater que le bâtiment est dans un très bon état général et bien conservé.

3.3 Références normatives

- SIA 260 : Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses
- SIA 261 : Actions sur les structures porteuses
- SIA 262 : Construction en béton
- SIA 269/2 : Maintenance des structures porteuses – Structures en béton
- SIA 269/8 : Maintenance des structures porteuses - Séisme

4 Description de l'ouvrage

4.1 Géométrie et utilisation

Le bâtiment du foyer Saint-Jacques a été construit entre 1989 et 1991 et se situe au centre de St-Maurice. L'ouvrage est utilisé en tant qu'EMS avec les chambres des résidents aux étages supérieurs ainsi que le réfectoire, la cuisine, la chapelle, les bureaux et les locaux techniques aux étages inférieurs.

En plan, la géométrie du bâtiment hors terre est en forme de « U », divisé par des joints de dilatation en 5 parties d'ouvrage distincts, à savoir l'aile Sud, l'aile Nord, le bloc centre Sud, le bloc centre Centre ainsi que le bloc centre Nord [Fig.1].

L'immeuble comporte au total 5 étages : Un sous-sol et un rez inférieur partiels, un rez supérieur, un 1er et un 2ème étage. Le sous-sol se trouve uniquement sous le bloc Centre et l'aile Nord ne possède que 3 étages (à partir du rez supérieur). Comme le terrain est en pente en direction E-W, le rez inférieur à l'extrémité Ouest de l'aile Sud est complétement enterré tandis qu'au même niveau, la façade Est du bloc Centre est hors sol sur toute la longueur.

Aucun autre bâtiment n'est directement en contact avec le bâtiment.

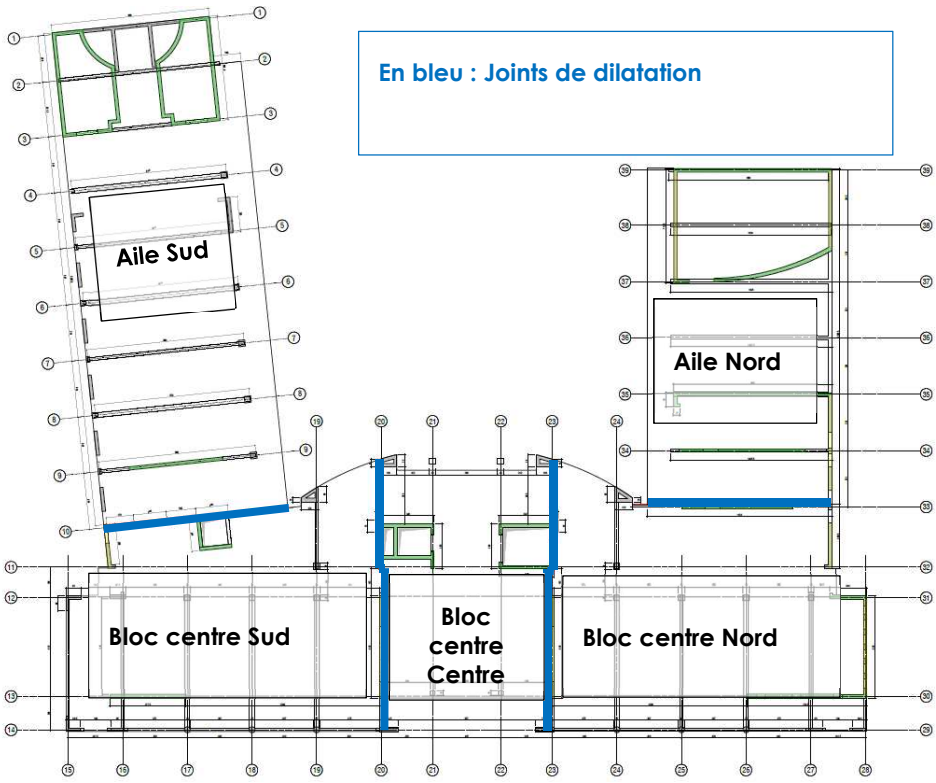


Fig. 1 : Rez supérieur avec les différentes parties d'ouvrage

4.2 Concept de la structure porteuse

La structure porteuse du bâtiment est en béton armé, à l'exception des escaliers, des coursives extérieures ainsi que quelques colonnes, composés en acier. La structure porteuse en béton armé est constituée par des dalles d'étages supportées par des murs, noyaux et colonnes.

Entre les niveaux rez supérieur et 1er étage, il existe une discontinuité verticale de la structure porteuse pour toutes les parties d'ouvrage. De nombreux murs du 1er et 2ème étage ne sont pas continus au rez supérieur et rez inférieur. Pour assurer la transmission des charges, ces murs sont appuyés aux extrémités sur des piliers en béton armé respectivement sur les murs de façade du rez supérieur.

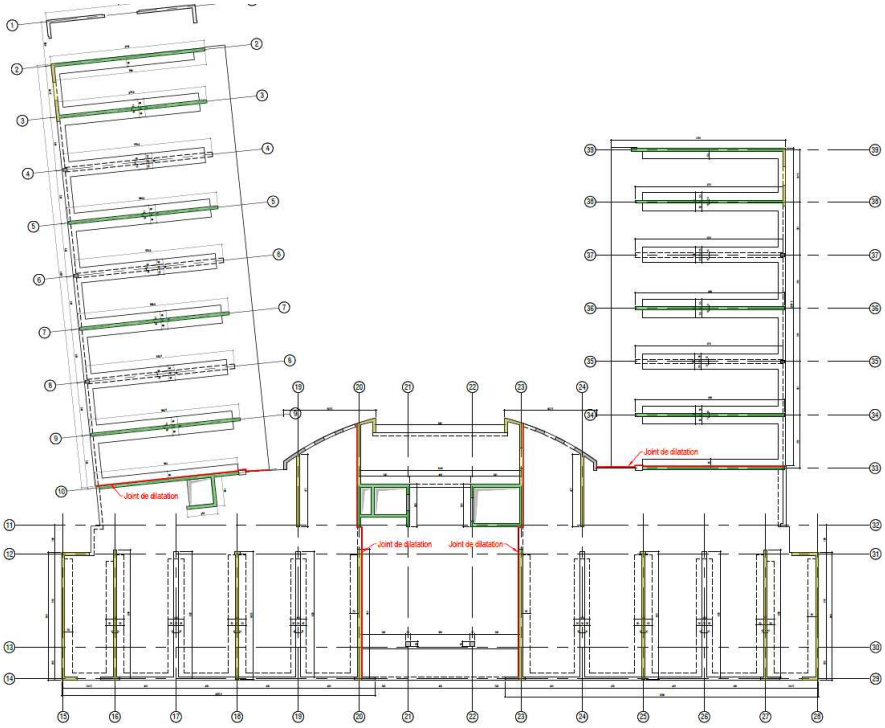


Fig. 2 : 1er étage avec indications des refends sismiques

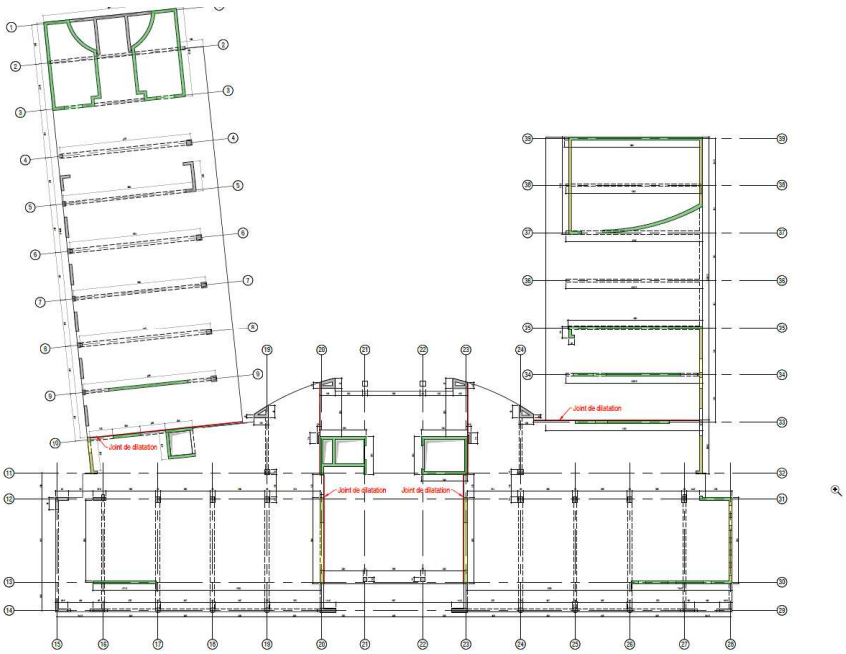


Fig. 3 : Rez supérieur avec indications des refends sismiques

La stabilisation dans les 2 directions principales, pour chaque partie d'ouvrage, est assurée par des refends en béton armé. Pour les noyaux ainsi que les refends avec murs concourants, les sections ont été calculées en sections homogènes et non en tenant compte des murs séparément, étant donné la bonne conception des détails d'armature permettant l'ancrage des barres horizontales dans les murs adjacents. L'effet diaphragme est assuré par les dalles en béton armé.

A cause de l'hétérogénéité du terrain, le bâtiment est fondé sur pieux.

4.3 Durée d'utilisation restante après extension

La durée d'utilisation restante après intervention est estimée à 50 ans. A savoir qu'il s'agit ici d'une estimation dans le cadre de cette étude. La valeur exacte sera à déterminer entre les différents partis lors de l'élaboration du projet d'extension.

Les valeurs limites des facteurs de réduction en application de la figure 6 de la SIA 269/8 sont les suivantes :

- $\alpha_{adm} = 0.70$
- $\alpha_{min} = 0.25$

5 Matériaux

- Caractéristiques mécaniques des refends parasismiques

  Les informations concernant le béton utilisé ont été indiquées sur les plans d'exécution. Les valeurs de calcul respectives ont été tirées de l'annexe à la norme SIA 269/2 pour les anciennes normes SIA 162/34 (1978) et SIA 162 (1968). L'amélioration de la résistance du béton en fonction du temps (facteur 1.25) a été estimée selon la norme SIA 262 (sécuritaire).

  Concernant l'acier d'armature, la seule information disponible sur les plans et les listes d'armature était l'utilisation de l'acier type III selon l'ancienne norme SIA 162 (1956). Une hypothèse sécuritaire vis-à-vis la classe de ductilité et par conséquent le coefficient de comportement « q » a été réalisée en admettant la nuance d'acier type IIIb selon l'annexe à la norme SIA 269/2.

Béton BH 300	:	f_{cd}	=	16 N/mm² (facteur d'âge : 1.25)
		E_{cm}	=	28'000 N/mm²
		$f_{ck}(t)$	=	24 N/mm²
Acier IIIb	:	classe de ductilité	:	A
		f_{sk}	:	450 N/mm²
		ε_{uk}	:	≥ 5 %
		$(f_t/f_s)_k$	:	≥ 1.04
		f_{sd}	:	390 N/mm²

  Coefficient de comportement ou réponse structurale : q = 1.5

6 Analyse de la sécurité parasismique

6.1 Analyse structurale

Pour les vérifications, la méthode des forces de remplacement dans les deux directions principales a été appliquée, en tenant compte de la torsion effective et accidentelle.

6.2 Actions sismiques

- Zone de risque sismique : Zone 3b
  a_{gd} = 1.6 m/s2
- Classe d'ouvrage : COII (PB > 50)
- Facteur d'importance : γf = 1.2 (car PB > 50)
- Classe de sol de fondation : Classe de sol « C », selon la carte des classes de sol
  S = 1.15 ; T_B = 0.2 s, T_C = 0.60 s, T_d = 2.00 s

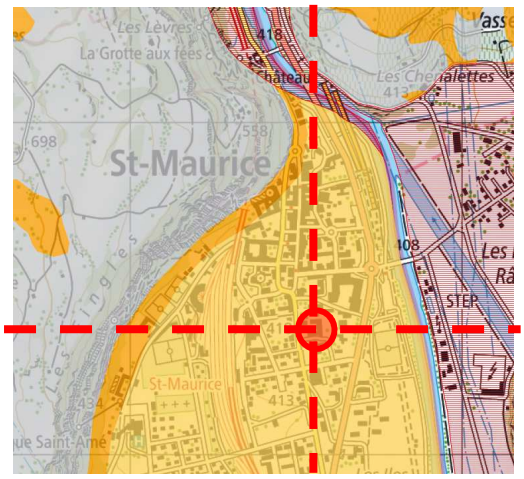


Fig. 4 : Carte des classes de sol, définie par la carte sur map.geo.admin.ch

6.3 Modèle de la structure

6.3.1 Niveau d'encastrement

Concernant l'aile Sud, le rez inférieur majoritairement enterré est suffisamment rigide pour former un caisson rigide. Par conséquent, le niveau d'encastrement a été appliqué au niveau de la dalle sur rez inférieur.

L'aile Nord se trouvant entièrement hors sol, le niveau d'encastrement a été admis au niveau du radier du rez supérieur pour cette partie d'ouvrage.

Pour les parties d'ouvrages du bloc Centre (bloc Centre Sud, bloc Centre Centre et bloc Centre Nord), le sous-sol (abri PC) présente une rigidité beaucoup plus importante que le rez inférieur. De plus, à cause de la disposition très ouverte de la façade Est aux étages hors terre, le niveau d'encastrement a été choisi au niveau de la dalle sur sous-sol.

6.3.2 Modélisation

Une rigidité effective correspondante à 50% de l'état non fissuré a été admise pour les éléments porteurs en béton armé. Concernant les refends avec des ouvertures non négligeables, des rigidités équivalentes pour des sections rectangulaires ont été calculées.

A cause de la discontinuité des refends en élévation, c.-à-d. entre le 1er étage et le rez supérieur, la sécurité parasismique a été analysée par 2 modèles indépendants et en appliquant la masse totale du 1er & 2ème étage au niveau de la dalle sur rez supérieur. A ce niveau, la transmission de l'effort tranchant par la dalle sur les refends du rez supérieur ainsi que la reprise des moments de flexion par les éléments porteurs verticaux alignés du rez supérieur ont été vérifiées.

Fig. 5 : Modèle dynamique en vue de la façade Nord de l'aile Nord (idem pour l'aile Sud)

Fig. 6 : Modèle dynamique en vue de la façade Est du bloc centre Nord (idem pour bloc centre Sud et bloc centre Centre)

6.3.3 Calcul des masses

Le calcul des masses a été effectué selon les plans à disposition ainsi qu'à l'aide de la vision locale.

- Poids propre des dalles d'étages (ép. 22cm) $g_k = 5.5$ kN/m²
- Poids propre toit & dalle/rez inf bloc centre (ép.26cm) $g_k = 6.5$ kN/m²
- Poids propre des coursives en métal cour intérieur $g_k = 0.3$ kN/m²
- Surcharges dalles d'étages (chape, revêtement, etc.) gk = 2.0 kN/m²
- Surcharges toiture (gravier, isolation,etc) gk = 3.0 kN/m²
- Charge utile 1er & 2ème étage (cat. A1) qk = 2.0 kN/m² ; $\psi 2 = 0.3$
- Charge utile rez sup bloc centre Sud et Nord (cat. C1) qk = 3.0 kN/m² ; $\psi 2 = 0.6$
- Charge utile bloc centre Centre (cat. A3) qk = 4.0 kN/m² ; $\psi 2 = 0.3$
- Poids propre murs, colonnes, parapets, façades gk = 3.5 kN/m²
- Poids propre superstructure toiture bâtiment principal $g_k = 1.8$ kN/m²

6.3.3.1 Aile Sud

Répartition de masses par étage :

Etage	Surface [m²]	Masse [t]
Dalle sur 2ème	350	361
Dalle sur 1er	350	390
Dalle sur rez sup	380	426
	Total	**1'177**

6.3.3.2 Aile Nord

Répartition de masses par étage :

Etage	Surface [m²]	Masse [t]
Dalle sur 2ème	265	273
Dalle sur 1er	265	295
Dalle sur rez sup	265	295
	Total	**863**

6.3.3.3 Bloc centre Sud

Répartition de masses par étage :

Etage	Surface [m²]	Masse [t]
Dalle sur 2ème	265	298
Dalle sur 1er	265	321
Dalle sur rez sup	265	321
Dalle sur rez inf	235	336
	Total	**1'275**

6.3.3.4 Bloc centre Centre

Répartition de masses par étage :

Etage	Surface [m²]	Masse [t]
Dalle sur 2ème	180	203
Dalle sur 1er	130	165
Dalle sur rez sup	130	165
Dalle sur rez inf	85	116
	Total	**649**

6.3.3.5 Bloc centre Nord

Répartition de masses par étage :

Etage	Surface [m²]	Masse [t]
Dalle sur 2ème	270	304
Dalle sur 1er	270	327
Dalle sur rez sup	270	327
Dalle sur rez inf	240	343
	Total	**1'300**

7 Résultats

Les périodes fondamentales T_0 ont été calculées avec la méthode de Rayleigh. Pour toutes les parties d'ouvrage, les périodes fondamentales obtenues se trouvaient soit sur le plateau ($0.2s \leq T_0 \leq 0.6s$), soit dans la branche ascendante du spectre ($T_0<0.2s$). Pour ces dernières, de façon conservatrice, une période sur le plateau a été admise, étant donné les insécurités concernant hypothèses de calcul adoptées (rigidités effectives, modèles dynamiques, etc.).

Comme aucun autre bâtiment n'est directement en contact avec le bâtiment entier, le risque de martèlement avec les bâtiments avoisinants est évité. En revanche, il existe un risque de martèlement entre les différentes parties d'ouvrage. Cependant, toutes les dalles étant au même niveau, seuls des dégâts localisés sont à craindre.

7.1 Aile Sud

Les résultats obtenus montrent que le 1er étage dans le sens E-W est déterminant pour la sécurité sismique de l'aile Sud. En fait, dans cette direction, les sollicitations sismiques doivent être reprises par un seul refend de faible dimension. Le facteur de conformité minimal $\alpha_{eff} \approx 0.4$ est obtenu pour la vérification à l'effort tranchant. Dans le sens N-S, grâce aux nombreux refends présents à cet étage, la sécurité sismique est clairement satisfaite ($\alpha_{eff} > 1.0$). Ceci est également valable pour la transmission des efforts sismiques (flexion et effort tranchant) au niveau de la dalle sur rez supérieur.

Au niveau rez supérieur, le facteur de conformité minimal atteint $\alpha_{eff} \approx 0.6$ pour une excitation sismique dans le sens N-S. En effet, à cause de la disposition excentrique du centre de rigidité due à la présence des deux grands noyaux, le refend sur l'axe 9 est fortement sollicité en torsion. Le mode de rupture déterminant est dicté par la flexion. Dans le sens E-W, les sollicitations sismiques peuvent facilement être repris par les noyaux ($\alpha_{eff} > 1.0$).

7.2 Aile Nord

A cause de la similitude entre les ailes Sud et Nord, c'est de nouveau le 1er étage dans le sens E-W qui est déterminant. Cependant, grâce à une masse plus faible, le comportement sismique de l'aile Nord est plus favorable que celui de l'aile Sud. Le facteur de conformité minimal se monte à $\alpha_{eff} \approx 0.5$ pour la vérification à l'effort tranchant. Pour le sens N-S ainsi qu'au rez supérieur dans les deux sens, la sécurité sismique est clairement satisfaite ($\alpha_{eff} > 1.0$).

7.3 Bloc centre Sud

Pour cette partie d'ouvrage, l'étage déterminant est le rez supérieur. A ce niveau, les sollicitations sismiques doivent être reprises par très peu de refends disposant majoritairement d'une faible rigidité latérale. De plus, à cause de la présence d'un long refend le long de la façade Est, les refends sont soumis à une torsion considérable sous l'action d'un séisme dans le sens N-S. Dû à ce comportement sismique modeste, seulement un facteur de conformité minimal $\alpha_{eff} \approx 0.2$ peut être atteint dans le sens E-W. Dans le sens N-S, le facteur de conformité minimal se monte à $\alpha_{eff} \approx 0.3$. Dans les 2 directions, les valeurs minimales sont obtenues pour la cage d'ascenseur, avec le mode de rupture en flexion.

Puisque le rez inférieur est légèrement plus contreventé, des valeurs un peu plus élevées sont atteintes, avec un facteur de conformité minimal $\alpha_{eff} \approx 0.25$ dans le sens E-W et de $\alpha_{eff} \approx 0.35$ dans le sens N-S.

Au 1er et 2ème étage, la sécurité sismique est satisfaite grâce à la présence de nombreux refends ($\alpha_{eff} > 1.0$).

7.4 Bloc centre Centre

L'étage déterminant pour cette partie d'ouvrage est le rez supérieur. Dans la direction E-W, un facteur de conformité $\alpha_{eff} \approx 0.55$ est atteint en flexion. Dans la direction N-S ainsi qu'au rez inférieur et aux étages dans les deux directions, les deux noyaux respectivement refends possèdent des capacités portantes suffisantes pour reprendre intégralement les sollicitations sismiques ($\alpha_{eff} > 1.0$).

7.5 Bloc centre Nord

Le bloc Centre Nord a une géométrie et une disposition de refends similaires à celles du bloc centre Sud. Cependant, au niveau rez inférieur et supérieur, la partie Nord présente un comportement sismique légèrement plus favorable grâce à la présence de refends complémentaires pour la reprise des efforts sismiques. Néanmoins, à cause d'un long refend en façade Nord, les refends sont soumis à une torsion considérable sous l'action d'un séisme dans le sens E-W.

Au niveau du rez supérieur, un facteur de conformité minimal de $\alpha_{eff} \approx 0.3$ est atteint dans le sens E-W. Le mode de rupture déterminant est l'effet « colonne courte » dans le refend en façade Nord de la chapelle. A cause des 6 petites fenêtres dans la partie supérieure du mur, l'effort tranchant est concentré dans les petits meneaux entre les fenêtres. Dans le sens N-S, le facteur de conformité minimal s'élève à $\alpha_{eff} \approx 0.45$ et est dû à la reprise de la torsion.

Au rez inférieur, le comportement sismique est meilleur grâce à la présence de nombreux refends. Cependant, certains refends sont considérablement sollicités en torsion à cause de la disposition très excentrique des refends. Le facteur de conformité minimal est obtenu dans le sens E-W et s'élève à $\alpha_{eff} \approx 0.5$. Dans le sens N-S, un facteur de conformité minimal $\alpha_{eff} \approx 0.6$ est atteint. Dans les deux cas, le mode de rupture déterminant est dicté par la flexion.

Au 1er et 2ème étage, la sécurité sismique est satisfaite grâce à la présence de nombreux refends ($\alpha_{eff} > 1.0$).

7.6 Aptitude au service

Comme il s'agit d'un bâtiment de classe d'ouvrage II en béton armé, la vérification des déformations attendues en cas de séisme n'est pas exigée.

7.7 Eléments secondaires

Les éléments secondaires n'ont pas été vérifiés à l'état actuel. Dans le cadre du projet d'extension, il est toutefois recommandé de fixer les éléments non structurels (second œuvre) tel que cloisons, faux plafonds, armoires et bibliothèques solidairement à la structure porteuse.

7.8 Récapitulatif

Les facteurs de conformité minimaux par étage et par partie d'ouvrage sont résumés dans les figures suivantes :

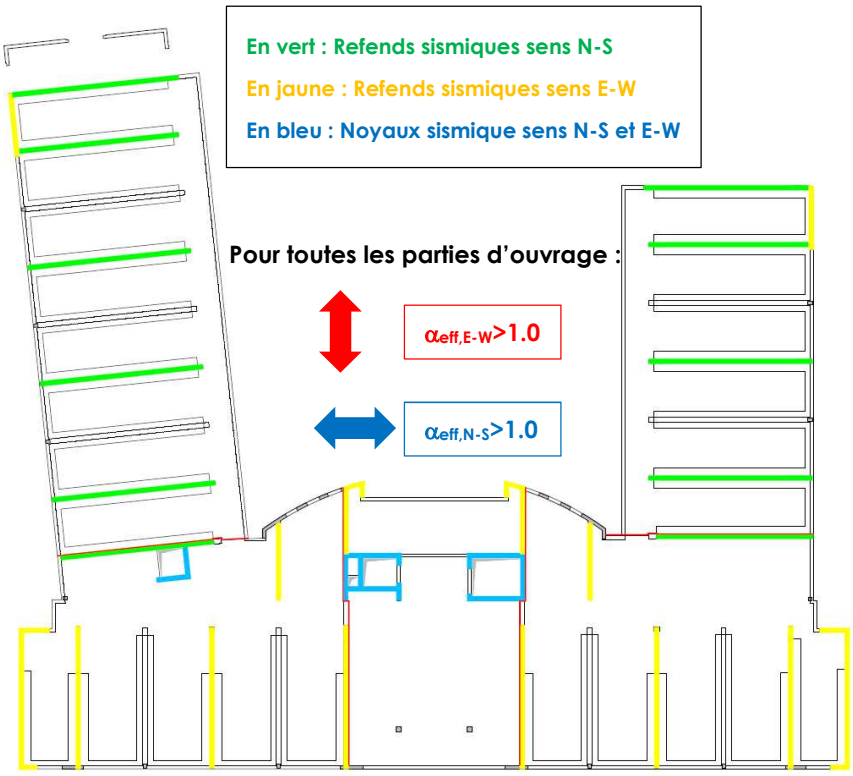


Fig. 7 : Facteurs de conformité minimaux par partie d'ouvrage au 2ème étage

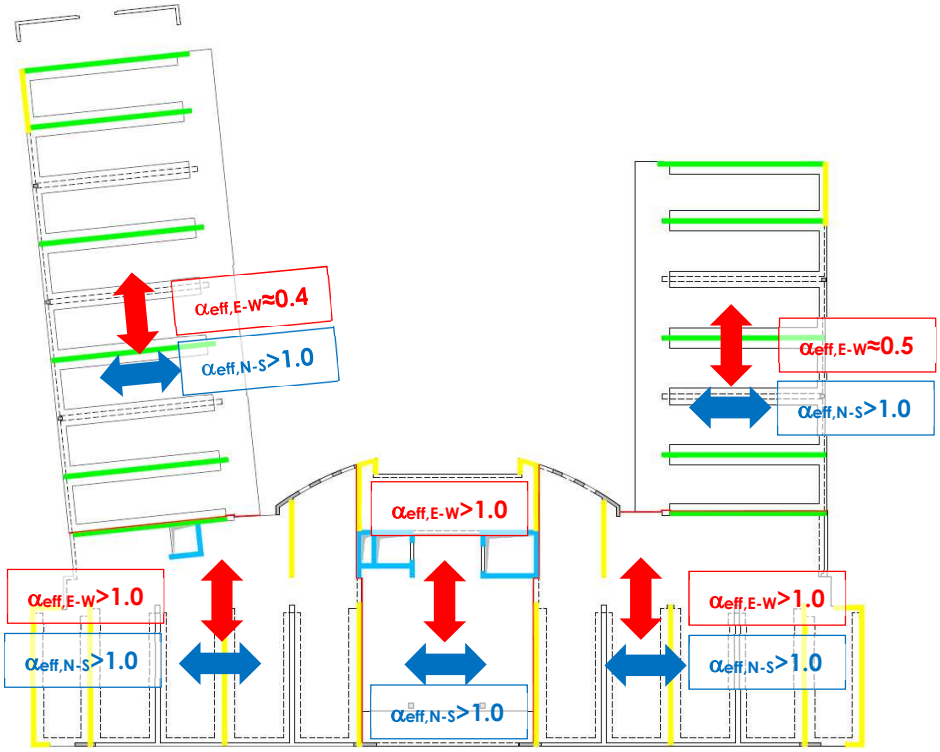


Fig. 8 : Facteurs de conformité minimaux par partie d'ouvrage au 1er étage

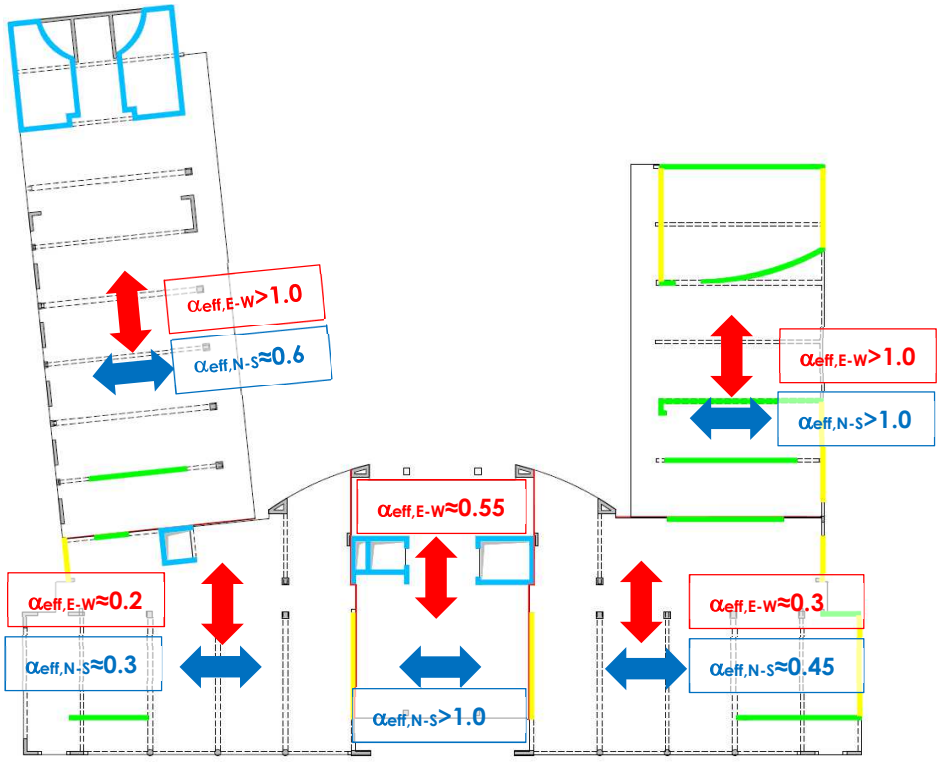


Fig. 9 : Facteurs de conformité minimaux par partie d'ouvrage au rez supérieur

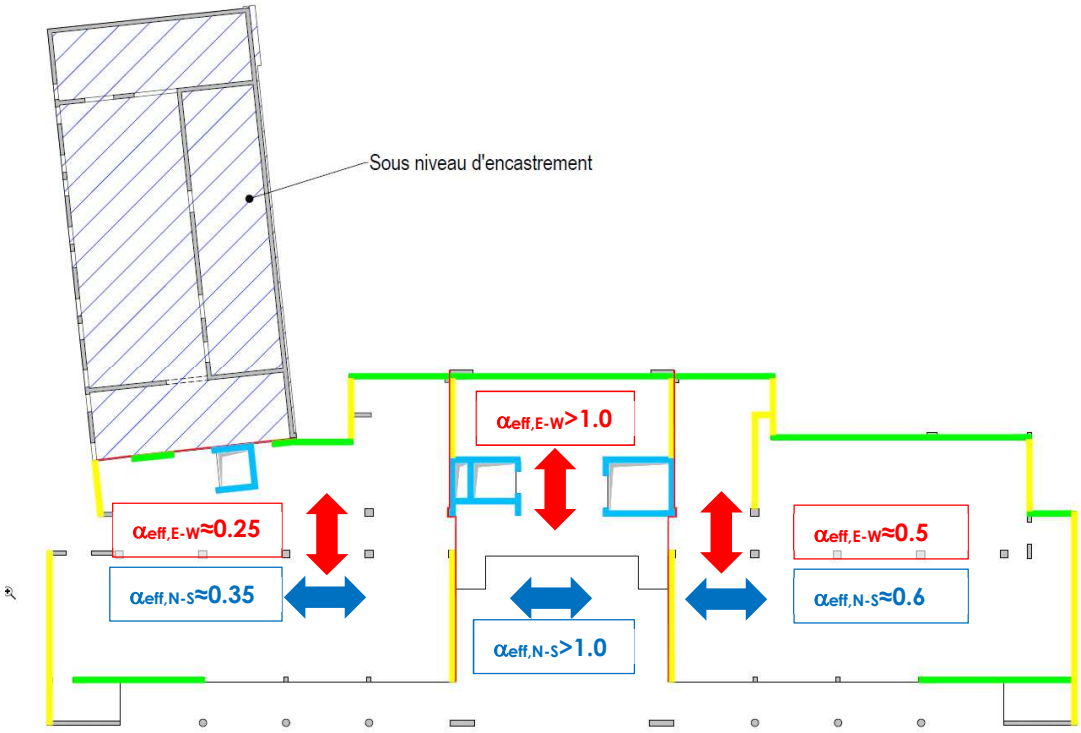


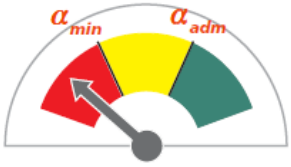
Fig. 10 : Facteurs de conformité minimaux par partie d'ouvrage au rez inférieur

Les facteurs de conformité minimaux globaux par partie d'ouvrage sont résumés dans le tableau suivant :

Partie d'ouvrage	Facteur de conformité minimal α_{eff} dans direction E-W	Facteur de conformité minimal α_{eff} dans direction N-S
Aile Sud	~0.4 (1er étage)	~0.6 (rez supérieur)
Aile Nord	~0.5 (1er étage)	>1.0
Bloc centre Sud	**~0.2 (rez supérieur)**	**~0.3 (rez supérieur)**
Bloc centre Centre	~0.55 (rez supérieur)	>1.0
Bloc centre Nord	~0.3 (rez supérieur)	~0.45 (rez supérieur)

Comme mis en évidence dans les figures & le tableau, le niveau déterminant est le rez supérieur, avec le bloc centre Sud en tant que partie d'ouvrage la plus vulnérable d'un point de vue sismique.

Le facteur de conformité déterminant pour le bâtiment est α_{eff} ~ 0. 2.



8 Application des directives SIA 269/8

8.1 Intervention visant à atteindre les conditions fixées par les normes

- Comme le facteur de conformité minimal α_{eff} du bâtiment actuel est inférieur à α_{min} = 0.25, un confortement est obligatoire pour atteindre α_{min} = 0.25, quel que soit son coût.
- Ensuite, en tenant compte des exigences de sécurité individuelle et des principes de proportionnalité des coûts d'interventions, un investissement supplémentaire de Fr. 197'000.- est jugé comme proportionné pour atteindre α_{int} = 1.0.

Facteur de conformité établi lors de la vérification de l'état existant	Durée d'utilisation restante	Occupation moyennée sur l'année	Différence entre les facteurs de risque	Réduction du risque	Durée d'utilisation restante	Facteur d'escompte	Montant proportionné	Coût proportionné du confortement
αeff	**αint**	**PB**	**ΔRF**	**ΔRM**	**n**	**DF**		**SIKm**
[-]	[-]	[pers/an]	[-]	[vie sauvée/an]	[an]	[1/an]	[CHF/vie sauvée]	[CHF]
0.25	1	70.4	8.90E-06	6.27E-04	50	0.032	10 000 000	**196 934.36**

Fig. 9 : Tableau de calcul du coût jugé proportionné selon SIA 269/8 pour passer de α_{min} = 0.25 à α_{int} = 0.7.

L'occupation moyennée sur l'année PB = 70.4 ci-dessus est déterminée en se basant sur l'occupation actuelle, avec un total de 63 lits pour les résidents, de 2 personnes à 14h/jour en tant que personnel de nuit ainsi que de 15 personnes à 10h/jour en tant que personnel de jour. A savoir qu'en admettant, selon la norme SIA 269/8, une occupation spécifique pour un hôpital, avec une occupation spécifique de 1.5 à 2.5 par le nombre de lits, on obtiendrait une occupation minimale de 1.5 pers/an * 63 chambres = 94.5 pers/an, donc une valeur plus élevée. De plus, en cas de surélévation, l'occupation moyenne PB devrait être augmenté, résultant en des coûts d'investissement proportionnés plus importants.

9 Recommandations d'intervention pour le projet d'extension

Selon notre expérience et dans le cas concret du foyer Saint-Jacques, il est très improbable que le critère de la proportionnalité soit respecté pour une intervention permettant d'atteindre $\alpha_{int} \geq 1.0$ dans toutes les parties défaillantes. Pour cette raison, les recommandations ci-dessous se limitent sur une intervention dans les parties les plus vulnérables, à savoir le bloc centre Sud ainsi que le bloc centre Nord pour atteindre un facteur de conformité minimal $\alpha_{int,min} \approx 0.4$ après intervention. Cependant, lors du projet d'extension, une vérification de la proportionnalité des coûts d'intervention parasismique rapportés au coût d'investissement global du projet d'extension devra être effectuée.

9.1 Sondages sur l'armature existante

En absence d'informations précises, cette étude est basée sur des hypothèses conservatrices sur la qualité de ductilité de l'armature existante, avec l'application d'un coefficient de comportement q=1.5 pour une classe de ductilité A. Par conséquent, nous recommandons quelques sondages ponctuels sur l'armature des refends sismiques afin de pouvoir déterminer précisément la ductilité de l'armature et par conséquent le coefficient de comportement à adopter. S'il s'avère qu'une armature de classe de ductilité B (q=2) avait été utilisée, alors les facteurs de conformité calculés pourraient être revus à la hausse, en multipliant les valeurs par un facteur ~1.3 (=2/1.5).

Dans ce cas, les facteurs de conformité minimaux suivants par partie d'ouvrage seraient atteints :

Partie d'ouvrage	Facteur de conformité minimal α_{eff} dans direction E-W avec q=2	Facteur de conformité minimal α_{eff} dans direction N-S avec q=2
Aile Sud	~0.55	~0.8
Aile Nord	~0.65	>1.0
Bloc centre Sud	**~0.25**	**~0.4**
Bloc centre Centre	~0.75	>1.0
Bloc centre Nord	~0.4	~0.6

Par conséquent, le facteur de conformité minimal du bâtiment actuel atteindrait à $\alpha_{eff} \approx \alpha_{min} = 0.25$.

9.2 Renforcement des refends avec coefficient de comportement q=1.5 ($\alpha_{int,min} \approx 0.4$)

Si les sondages confirment l'utilisation d'un coefficient de comportement q=1.5 comme admis dans le cadre de cette étude, alors les interventions suivantes sont proposées :

Concernant le confortement obligatoire du bloc centre Sud, nous recommandons le rajout d'un refend en béton armé sur l'axe 15 au rez supérieur ainsi que de combler en béton armé les ouvertures du refend sur l'axe 20 au rez inférieur et rez supérieur. En alternative, il serait éventuellement possible d'effectuer ces renforcements avec un contreventement en acier. Avec ces interventions, les refends sur les axes 15 et 20 sont continus sur toute la hauteur du bâtiment. De plus, la rigidité torsionnelle de cette partie d'ouvrage est considérablement augmentée ce qui améliore significativement le comportement sismique des refends dans les deux directions principales. Ces interventions permettront d'atteindre un facteur de conformité d'au moins $\alpha_{int} \approx 0.40$.

En complément du confortement obligatoire du bloc centre Sud, nous recommandons une intervention similaire dans le bloc centre Nord, à savoir au niveau rez supérieur le renforcement en acier ou en béton armé du refend sur l'axe 23 ainsi que le comblement en béton armé de 4 fenêtres dans le refend sur l'axe 28. Ainsi, également pour cette partie d'ouvrage, un facteur de conformité d'au moins $\alpha_{int} \approx 0.40$ après intervention sera obtenu.

Le clavage des 2 joints de dilatation du bloc Centre améliorait certainement le comportement sismique. Cependant, cette intervention n'éviterait pas les renforcements préconisés sur les axes 15 et 28 afin de garantir une rigidité torsionnelle suffisante.

Pour les autres parties d'ouvrage, c.-à-d. l'aile Sud, l'aile Nord et le bloc centre Centre, aucune intervention n'est suggérée.

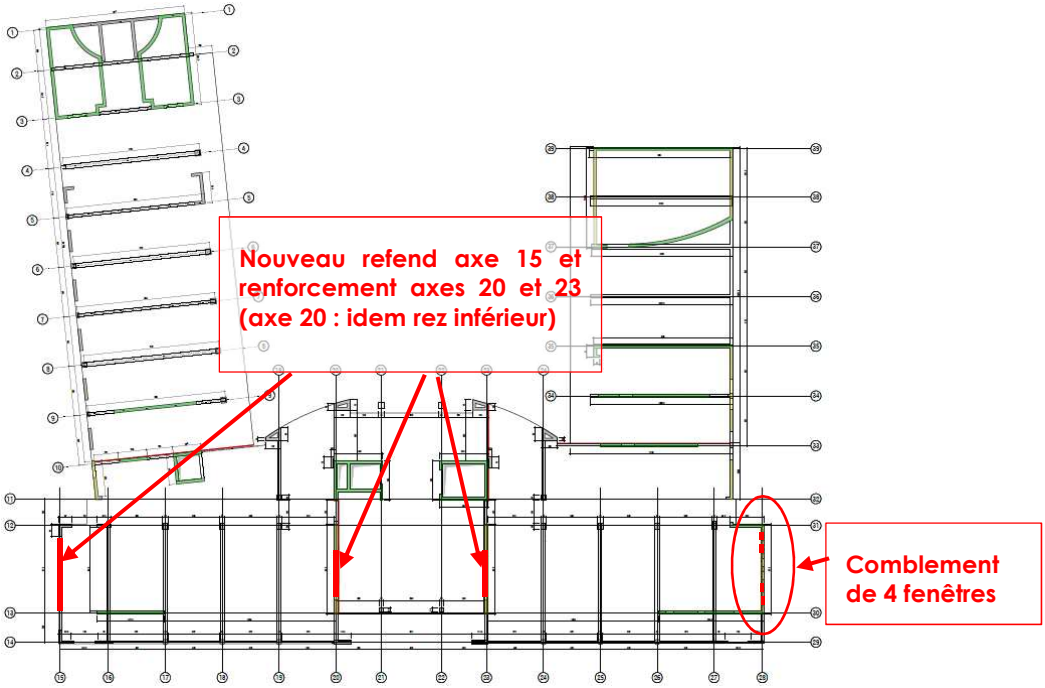


Fig. 11 : Renforcements recommandés au niveau rez supérieur

Fig. 12 : Renforcement refend axe 20 (bloc centre Sud)

Fig.13 : Comblement fenêtres refend axe 28 (bloc centre Nord)

9.3 Renforcement des refends avec coefficient de comportement q=2.0 ($\alpha_{int,min} \approx 0.4$)

Si les sondages permettaient l'application d'un coefficient de comportement q=2.0, alors uniquement les interventions dans le bloc centre Sud telles que décrites sous §9.2 seraient recommandées.

9.4 Mise en conformité parasismique plus élevée ($0.4 \leq \alpha_{int} \leq 1.0$)

Si le Maître d'ouvrage souhaite atteindre une mise en conformité parasismique plus élevée que proposée sous §9.2 & §9.3, un projet de confortement complémentaire devra être étudié en collaboration avec un architecte. Une mise en conformité totale de la sécurité parasismique nécessiterait l'ajout de contreventements extérieurs en béton armé ou en acier.

9.5 Surélévation d'un étage sur toiture existante

Une éventuelle surélévation d'un étage en construction légère (bois ou métal) sur la toiture existante aurait comme conséquence une augmentation des masses en mouvement. Etant donné les périodes fondamentales actuelles plutôt basses, celles-ci resteraient sur le plateau même avec la surélévation. En revanche, à cause de l'augmentation des masses, les efforts sismiques seraient plus importants.

Cependant, en cas de renforcement du bloc centre Sud et du bloc centre Nord (q=1.5) respectivement du bloc centre Sud (q=2.0), un facteur de conformité minimal plus grand que la valeur de seuil α_{min} = 0.25 pourrait toujours être garanti pour toutes les parties d'ouvrage. Par conséquent, la faisabilité d'une surélévation en construction légère sur la toiture existante est validée.

10 Conclusions

- Dans l'état actuel, sous l'hypothèse d'un coefficient de comportement q=1.5, le bâtiment du foyer Saint-Jacques à St-Maurice présente une vulnérabilité sismique importante, avec un facteur de conformité égal à 0.2 pour le bloc centre Sud, inférieur au facteur de conformité minimal exigé pour les bâtiments existants de classe d'ouvrage II, soit α_{min} = 0.25.
- En appliquant les exigences de la norme SIA 269/8 :
  - ☞ La sécurité structurale du bâtiment en cas de séisme majeur est jugée comme trop insuffisante et le risque pour les personnes inacceptable.
  - ☞ Comme le facteur de conformité minimal du bâtiment actuel est inférieur à α_{min} = 0.25, un confortement du bloc centre Sud est obligatoire pour atteindre α_{min} = 0.25, quel que soit son coût.
  - ☞ Ensuite, en tenant compte des exigences de sécurité individuelle et des principes de proportionnalité des coûts d'interventions, un investissement supplémentaire de Fr. 197'000.- est jugé comme proportionné pour atteindre α_{int} = 1.0 après intervention sous l'hypothèse d'une occupation moyennée sur l'année PB=70.4 dans l'état actuel.
- Pour le projet d'extension du bâtiment du foyer Saint-Jacques, les interventions suivantes sont recommandées pour améliorer la sécurité parasismique du bâtiment :
  - ☞ Dans le cas concret du foyer Saint-Jacques, il est très improbable que le critère de la proportionnalité soit respecté pour une intervention permettant d'atteindre $\alpha_{int} \geq 1.0$ dans toutes les parties défaillantes. Pour cette raison, les recommandations se limitent sur une intervention dans les parties les plus vulnérables, à savoir le bloc centre Sud ainsi que le bloc centre Nord pour atteindre un facteur de conformité minimal $\alpha_{int,min} \approx 0.4$ après intervention. Cependant, lors du projet d'extension, une vérification de la proportionnalité des coûts d'intervention sera indispensable dans tous les cas.
  - ☞ Exécution de quelques sondages ponctuels sur l'armature des refends sismiques afin de pouvoir déterminer précisément la ductilité de l'armature et par conséquent le coefficient de comportement à adopter. S'il s'avère qu'une armature de classe de ductilité B (q=2) avait été utilisée, alors les facteurs de conformité calculés pourraient être revus à la hausse, en multipliant les valeurs par un facteur ~1.3 (=2/1.5). Dans ce cas, la sécurité parasismique du bâtiment atteindrait le seuil minimal α_{min} = 0.25.
  - ☞ Si q=1.5 : Renforcement des refends dans le bloc centre Sud en rajoutant un refend en béton armé sur l'axe 15 au niveau rez supérieur ainsi que de combler en béton armé les ouvertures du refend sur l'axe 20 au rez inférieur et rez supérieur. En alternative, il serait éventuellement possible d'effectuer ces renforcements avec un contreventement en acier. En complément du confortement du bloc centre Sud, une intervention similaire dans le bloc centre Nord est recommandée, à savoir au niveau rez supérieur le renforcement en acier ou en béton armé du refend sur l'axe 23 ainsi que le comblement en béton armé de 4 fenêtres dans le refend sur l'axe 28. Ces interventions permettront d'atteindre un facteur de conformité d'au moins $\alpha_{eff} \approx 0.40$.
  - ☞ Si q=2.0 : Uniquement les interventions dans le bloc centre Sud telles que décrites ci-dessus seraient recommandées.

- ☞ Si le Maître d'ouvrage souhaite atteindre une mise en conformité parasismique plus élevée, un projet de confortement complémentaire devra être étudié en collaboration avec un architecte. Une mise en conformité totale de la sécurité parasismique nécessiterait l'ajout de contreventements extérieurs en béton armé ou en acier.
- ☞ Une surélévation d'un étage en construction légère (bois, métal) sur la toiture existante set possible si les renforcements du bloc centre Sud et du bloc centre Nord (q=1.5) respectivement du bloc centre Sud (q=2.0) ont été effectués.

Lieu et date : Monthey, le 14 septembre 2018

L'ingénieur responsable :

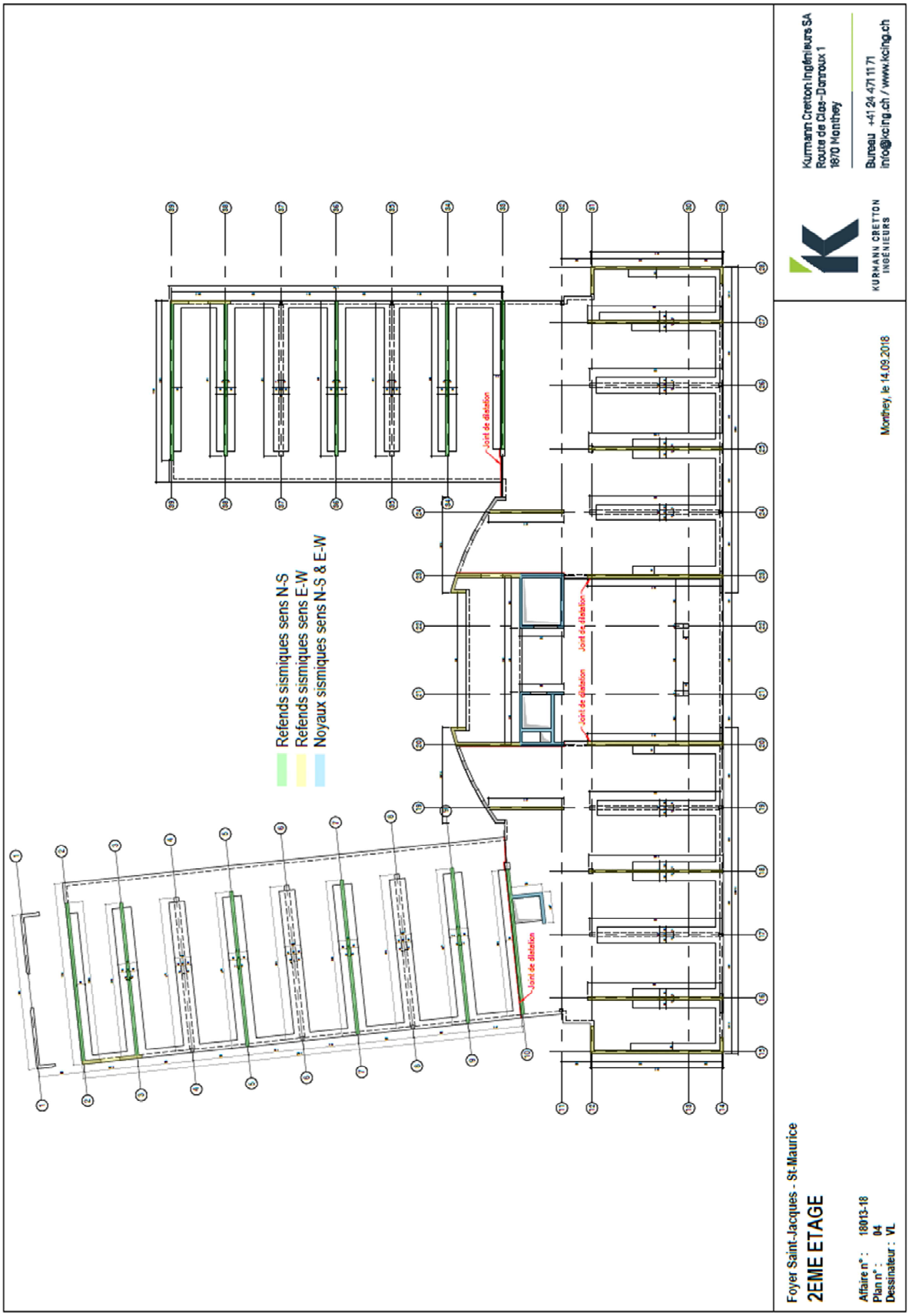
Juerg Hegner, ing. civil dipl. EPF

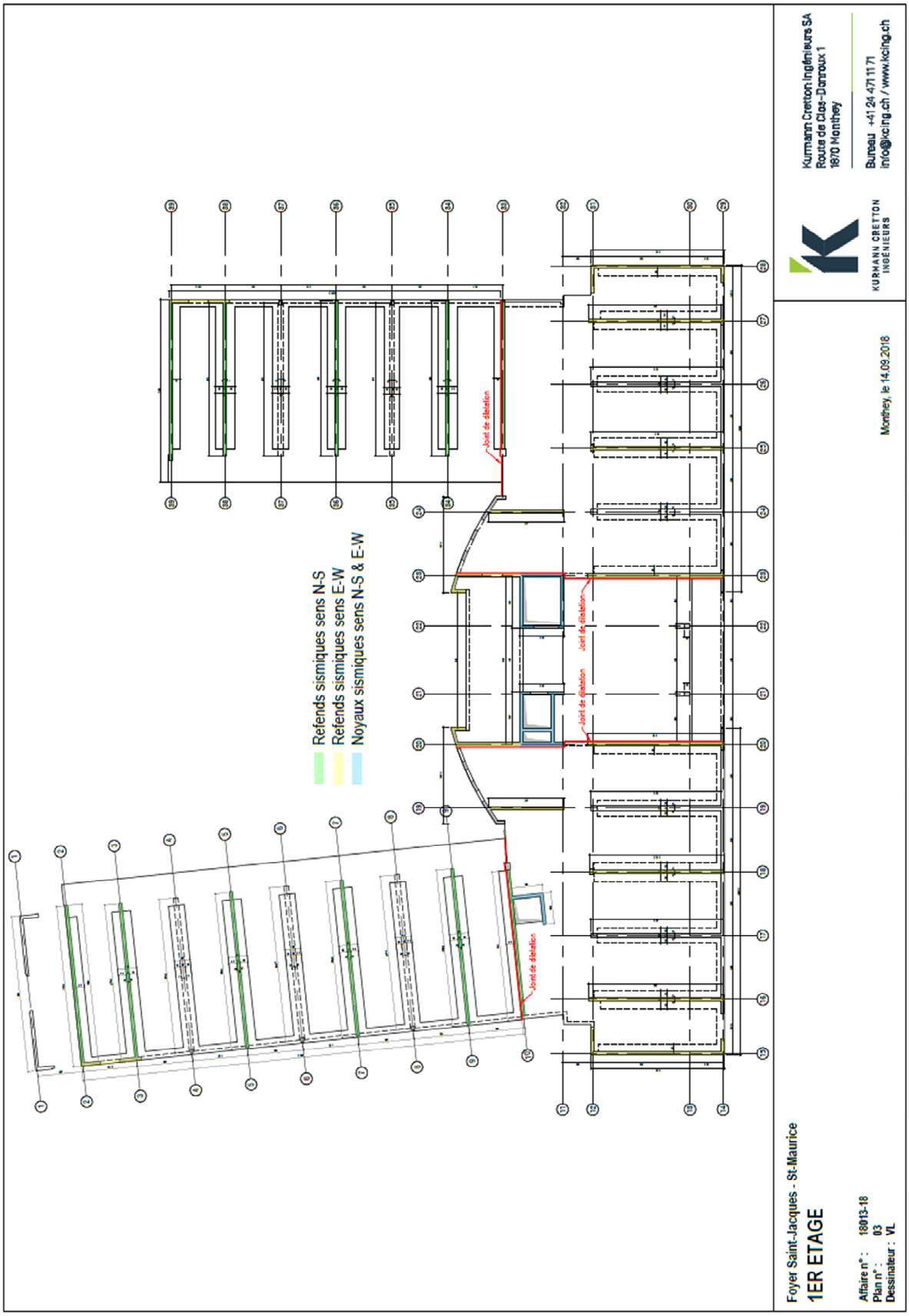
L'ingénieur expert en génie parasismique

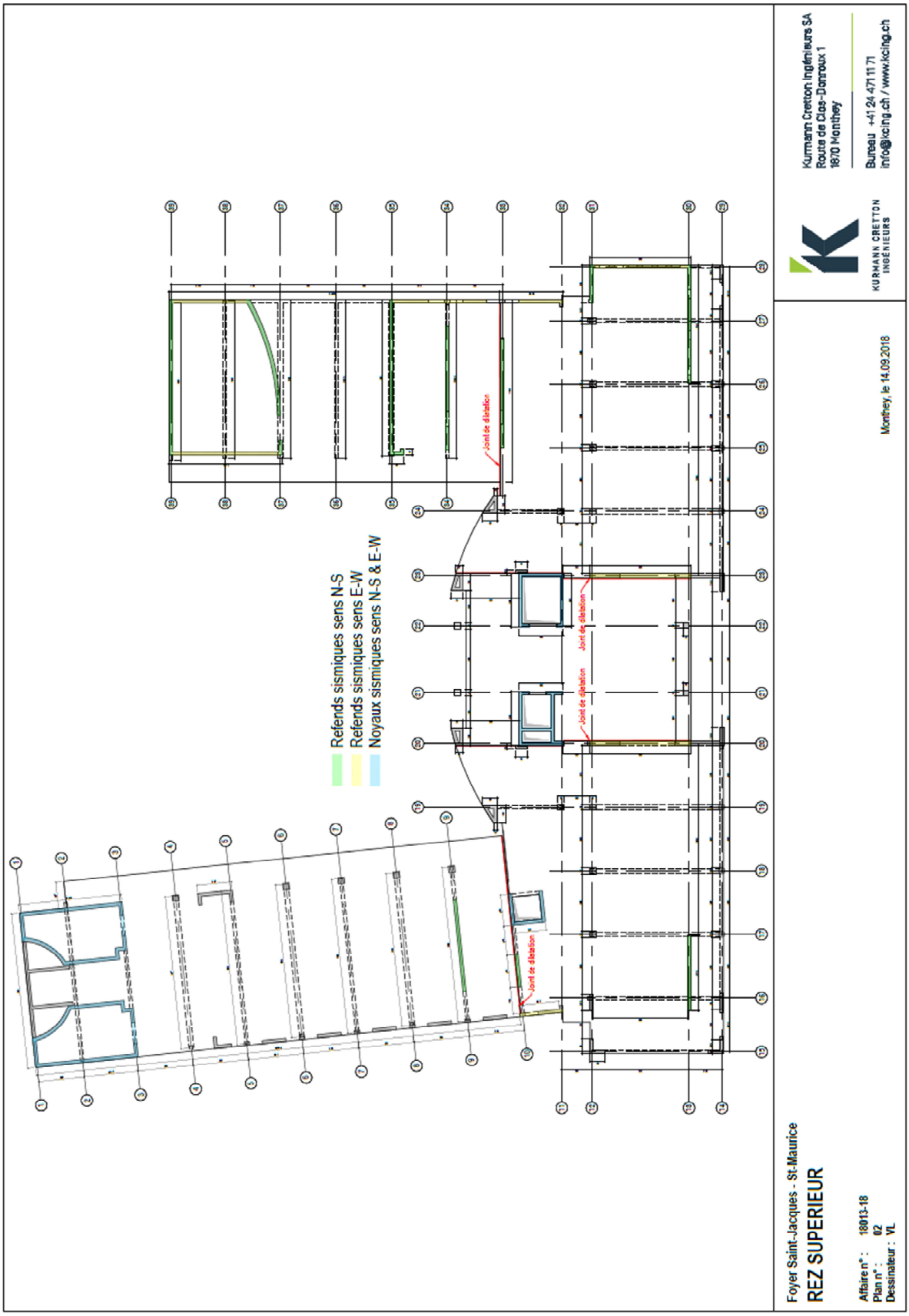
Roberto Peruzzi, ing. civ. dipl. EPF/SIA

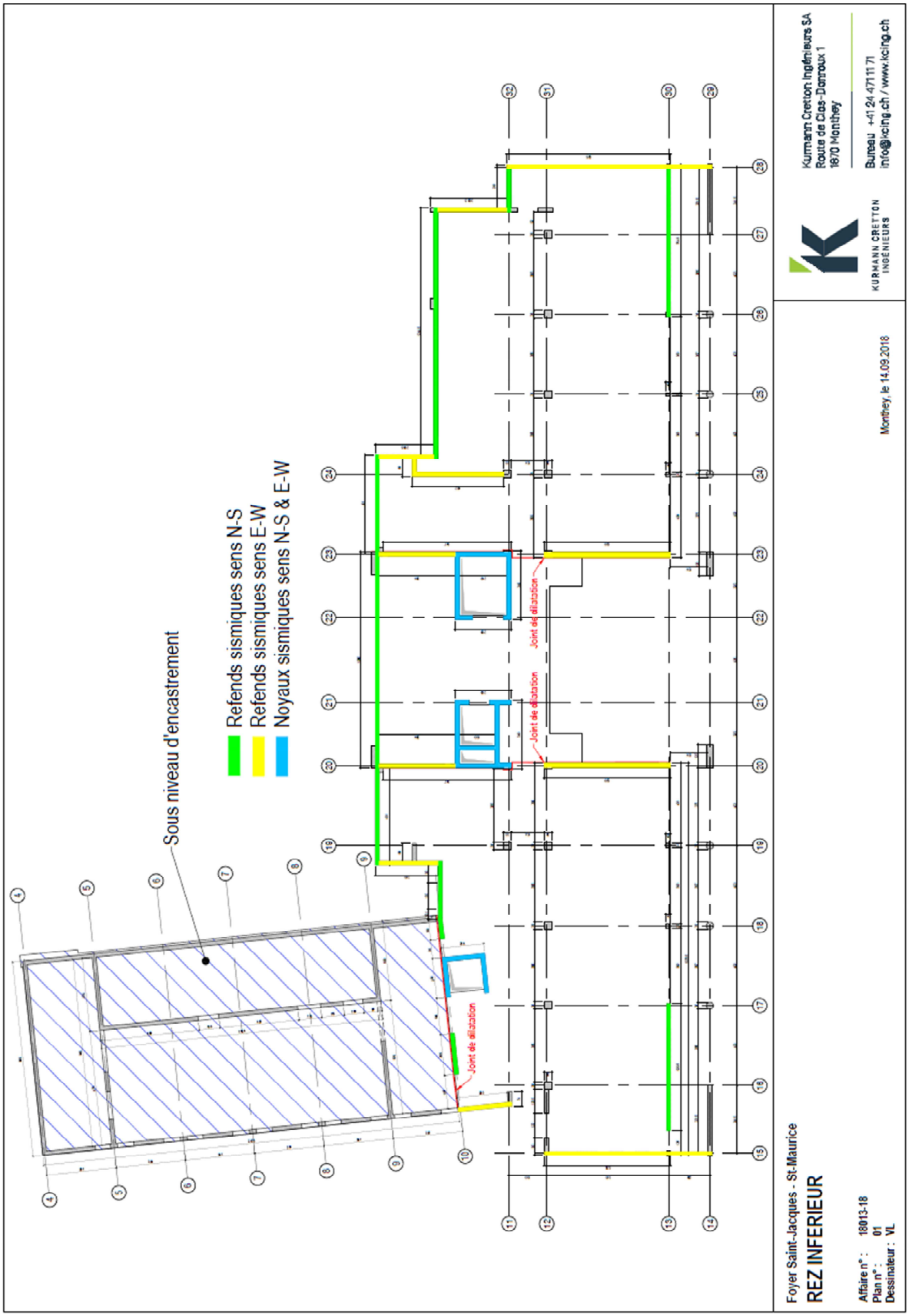
ANNEXES :

- Plans de situation des refends prévus à chaque étage (sauf sous-sol) pour le dimensionnement parasismique


Refends sismiques sens N-S
Refends sismiques sens E-W
Noyaux sismiques sens N-S & E-W
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Kurmann Cretton Ingénieurs SA
Route de Clos-Darraux 1
1870 Monthey
Bureau +41 24 471 11 71
info@kcing.ch / www.kcing.ch
KURMANN CRETTON INGÉNIEURS
Monthey, le 14.09.2018
Foyer Saint-Jacques - St-Maurice
2EME ETAGE
Affaire n° : 18013-18
Plan n° : 04
Dessinateur : VL


Refends sismiques sens N-S
Refends sismiques sens E-W
Noyaux sismiques sens N-S & E-W
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Kurmann Cretton Ingénieurs SA
Route de Clos-Darraux 1
1870 Monthey
Bureau +41 24 471 11 71
info@kcing.ch / www.kcing.ch
KURMANN CRETTON INGÉNIEURS
Monthey, le 14.09.2018
Foyer Saint-Jacques - St-Maurice
1ER ETAGE
Affaire n° : 18013-18
Plan n° : 03
Dessinateur : VL


Refends sismiques sens N-S
Refends sismiques sens E-W
Noyaux sismiques sens N-S & E-W
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Kurmann Cretton Ingénieurs SA
Route de Clos-Donroux 1
1870 Monthey
Bureau +41 24 471 11 71
info@kcing.ch / www.kcing.ch
KURMANN CRETTON INGÉNIEURS
Monthey, le 14.09.2018
Foyer Saint-Jacques - St-Maurice
REZ SUPERIEUR
Affaire n° : 18013-18
Plan n° : 02
Dessinateur : YL


Sous niveau d'encastrement
Refends sismiques sens N-S
Refends sismiques sens E-W
Noyaux sismiques sens N-S & E-W
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Joint de dilatation
Kurmann Cretton Ingénieurs SA
Route de Clos-Darraux 1
1870 Monthey
Bureau +41 24 471 11 71
info@kcing.ch / www.kcing.ch
KURMANN CRETTON INGÉNIEURS
Monthey, le 14.09.2018
Foyer Saint-Jacques - St-Maurice
REZ INFERIEUR
Affaire n° : 18013-18
Plan n° : 01
Dessinateur : VL