

Sécurité sismique en cas de fonction vitale

Ouvrages de la classe d'ouvrages (CO) III selon la norme SIA 261



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'environnement OFEV

Sécurité sismique en cas de fonction vitale

Ouvrages de la classe d'ouvrages (CO) III selon la norme SIA 261

Impressum

Éditeur

Office fédéral de l'environnement (OFEV)

L'OFEV est un office du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC).

Auteurs

Yves Mondet, Bastian Wilding (Basler & Hofmann AG)

Sven Heunert (OFEV)

Accompagnement à l'OFEV

Friederike Braune, Blaise Duvernay

Relecture de la version allemande

Isabell Palkowitsch (Hochbauamt Kanton Basel-Landschaft, Liestal)

Hans Seelhofer, Dr. Lüchinger + Meyer Bauingenieure AG, Zurich

Roger Trottmann, Metron Architektur AG, Brugg

Traduction

Service linguistique de l'OFEV

Graphisme et mise en page

Funke Lettershop AG

Photo de couverture

Garage d'ambulance, Hôpital d'Uster

© Roger Trottmann

Téléchargement au format PDF

www.bafu.admin.ch/uw-2310-f

Il n'est pas possible de commander une version imprimée.

Cette publication est également disponible en allemand.

La langue originale est l'allemand.

© OFEV 2023

Table des matières

Abstracts	5	Bibliographie	31
Avant-propos	6	Annexe A : Exemple d'un hôpital d'urgence	32
1 Introduction	7	Annexe B : Exemple d'une caserne de pompiers	37
1.1 Motivation	7	Annexe C : Prescriptions normatives pour la CO III	39
1.2 Objectif et public cible	7		
1.3 Délimitation	7		
2 Prescriptions	8		
2.1 Bases légales	8		
2.2 Bases normatives	8		
3 Classe d'ouvrages III	9		
3.1 Signification	9		
3.2 Exigences	9		
3.3 Fonctions vitales	9		
4 Étude et conduite de projet	10		
4.1 Documents dans le processus de conception et de réalisation	10		
4.2 Énoncé des besoins et approche méthodologique	11		
4.3 Définition du projet et cahier des charges du projet	11		
4.4 Convention d'utilisation	11		
4.5 Document « sécurité sismique des ENIE »	13		
5 Structure porteuse	16		
5.1 Concept et comportement de la structure porteuse	16		
5.2 Vérifications	16		
6 ENIE	19		
6.1 Répartition des tâches	19		
6.2 Traitement des ENIE conforme aux exigences parasismiques	20		
6.3 Action sismique sur les ENIE	21		
6.4 Vérifications	24		
7 Ouvrages existants	26		
7.1 Exploitation, étude et conduite de projet	26		
7.2 Examen	26		

Abstracts

Buildings that have a vital function must be operational immediately after an earthquake. The implementation of standard seismic safety requirements in the construction and renovation of such class III buildings is challenging and, in practice, frequently causes confusion. This publication encourages a uniform and standards-compliant handling of such buildings. Of central importance is a coordinated collaboration of all parties involved from the outset and, in addition to earthquake-resistant and robust supporting structures, systematic attention to the relevant installations and facilities that are necessary for maintaining the vital function of class III buildings.

Keywords:

seismic safety, vital function, building class III, coordination

Les ouvrages ayant une fonction vitale doivent pouvoir remplir celle-ci immédiatement après un séisme. La mise en œuvre des exigences normatives en matière de sécurité sismique lors de la construction et de la remise en état d'ouvrages de la classe d'ouvrages III est complexe et conduit régulièrement à des incertitudes dans la pratique. La présente publication vise à favoriser une approche uniforme et conforme aux normes. Les éléments centraux de cette approche sont une collaboration anticipée et coordonnée de toutes les parties prenantes ainsi que, outre une structure porteuse robuste et parasismique, une attention systématique portée à tous les équipements et installations nécessaires au maintien de la fonction vitale.

Mots-clés :

sécurité sismique, fonction vitale, classe d'ouvrages III, coordination

Bauwerke mit einer lebenswichtigen Funktion müssen unmittelbar nach einem Erdbeben ihre Aufgaben erfüllen können. Die Umsetzung der normativen Anforderungen an die Erdbebensicherheit bei der Errichtung und der Instandsetzung solcher Bauwerke der Bauwerksklasse III ist anspruchsvoll und führt in der Praxis immer wieder zu Unklarheiten. Mit der vorliegenden Publikation wird eine einheitliche und normkonforme Behandlung von solchen Bauwerken gefördert. Zentral dabei sind die frühzeitige koordinierte Zusammenarbeit aller Beteiligten sowie – neben einem erdbebengerechten und robusten Tragwerk – die systematische Bearbeitung der relevanten Installationen und Einrichtungen, die zur Aufrechterhaltung der lebenswichtigen Funktion erforderlich sind.

Stichwörter:

Erdbebensicherheit, lebenswichtige Funktion, Bauwerksklasse III, Koordination

Le opere con funzione vitale devono poter garantire il loro scopo anche immediatamente dopo un terremoto. L'attuazione delle esigenze normative di sicurezza sismica al momento della costruzione e della manutenzione di un'opera della classe edilizia III è impegnativa e dà sovente adito a malintesi nella pratica. La presente pubblicazione promuove una gestione uniforme e conforme alla normativa di questo genere di opere. L'aspetto centrale è la collaborazione tempestiva di tutte le parti interessate come pure una struttura parasismica robusta e il trattamento sistematico dei principali impianti e installazioni indispensabili per garantirne la funzione vitale.

Parole chiave:

sicurezza sismica, funzione vitale, classe edilizia III, coordinamento

Avant-propos

Dans le cadre de sa stratégie de gestion des dangers naturels, la Confédération entend réduire le risque sismique à long terme, notamment pour les ouvrages ayant une fonction vitale. Ceux-ci, par exemple les bâtiments des organisations d'intervention d'urgence ou des sous-stations de l'approvisionnement en électricité, sont en majorité des propriétés cantonales, communales ou privées. Pour que ces ouvrages puissent effectivement remplir leur fonction pour la société après un séisme, il est primordial de pouvoir mettre en œuvre les exigences normatives en matière de sécurité sismique de façon pratique et ciblée. Cette tâche est complexe, surtout en raison des nombreux acteurs impliqués. En plus d'une structure porteuse robuste et parasismique, il convient de prêter une attention toute particulière aux équipements et installations indispensables au maintien de la fonction vitale.

La Centrale de coordination pour la mitigation des séismes de la Confédération auprès de l'OFEV reçoit régulièrement des questions des différents acteurs impliqués (propriétaires et maîtres d'ouvrage, professionnels spécialisés et exécutants) concernant l'application correcte des exigences normatives. Pour remédier aux incertitudes observées, il y a lieu de traiter ces questions et de fournir un complément aux normes. La présente publication favorise un traitement uniforme, approprié et conforme aux normes des ouvrages ayant une fonction vitale et apporte une réponse aux questions restées ouvertes jusqu'ici.

Je remercie toutes les personnes qui ont participé à l'élaboration de ce document, qui, j'en suis sûr, contribuera à plus de clarté dans la pratique et offrira une meilleure sécurité à la population.

Paul Steffen, directeur suppléant
Office fédéral de l'environnement (OFEV)

1 Introduction

1.1 Motivation

Les ouvrages ayant une fonction vitale¹ sont assignés à la classe d'ouvrages (CO) III selon la norme SIA 261 « Actions sur les structures porteuses » [2]. Ils sont ainsi soumis aux exigences de sécurité sismique les plus élevées des normes suisses sur les structures porteuses. Ces ouvrages généralement dotés d'équipements complexes doivent permettre de remplir des tâches exigeantes au quotidien. Ils sont en premier lieu conçus à cet effet, mais doivent être également en mesure de remplir leur fonction immédiatement après un séisme. Satisfaire à cette exigence lors de la construction ou de la remise en état de tels ouvrages requiert une collaboration coordonnée et anticipée entre toutes les parties prenantes du processus de conception et de réalisation. Dans la pratique, ce défi complexe débouche sur des incertitudes et des applications hétérogènes.

1.2 Objectif et public cible

La présente publication explique et illustre les exigences normatives en matière de sécurité sismique applicables aux ouvrages ayant une fonction vitale afin qu'elles puissent être appliquées correctement et de façon ciblée. Elle fournit ainsi une base uniforme pour l'interprétation de ces exigences et indique comment gérer adéquatement la sécurité sismique des ouvrages de la CO III, y compris concernant les responsabilités dans le processus de conception et de réalisation.

La publication est destinée en premier lieu aux mandataires, qui doivent intégrer les exigences normatives dans leur projet, ainsi qu'aux propriétaires / maîtres d'ouvrage, qui doivent poser les jalons à temps par la détermination des objectifs et des exigences du projet, ainsi que par la procédure de choix de mandataires. Elle s'adresse aussi aux exploitants, qui participent de manière décisive à la définition des objectifs et des exigences du projet.

1.3 Délimitation

Pour les ouvrages soumis à l'ordonnance sur les accidents majeurs² [15], des clarifications supplémentaires sont nécessaires en raison des exigences spécifiques auxquelles ils doivent satisfaire. Quant aux centrales nucléaires et aux ouvrages d'accumulation, ils sont soumis à des dispositions spécifiques, entre autres [16], [17], [18], [19]. Les ouvrages que les propriétaires attribuent à la CO III, en raison uniquement de l'importance centrale qu'ils jouent pour leur gestion de la continuité des opérations (GCM ; Business Continuity Management [BCM] en anglais), ne sont pas traités. La présente publication peut être appliquée par analogie pour ces ouvrages.

1 La norme SIA 261 utilise le terme *infrastructure ayant une fonction vitale*. Par souci de simplicité, nous omettons le terme *infrastructure* et employons uniquement *ayant une fonction vitale* dans le présent document, à moins qu'il s'agisse de citations tirées des normes.

2 Les ouvrages entrant dans le champ d'application de l'ordonnance sur les accidents majeurs sont des installations industrielles présentant un danger potentiel en raison des émissions de substances dangereuses qui pourraient se produire en cas d'accident majeur.

2 Prescriptions

2.1 Bases légales

La législation sur les constructions relève de la compétence cantonale. Toutes les lois cantonales sur les constructions disposent que les ouvrages doivent être érigés et entretenus selon les règles reconnues en matière de construction. En Suisse, ces règles sont les normes de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA). Ces normes définissent les exigences posées aux ouvrages de la CO III.

2.2 Bases normatives

Les exigences spécifiques auxquelles doivent satisfaire les ouvrages de la CO III sont définies dans la norme SIA 260 « Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses » [1], dans la norme SIA 261 [2] et dans la norme SIA 179 « Les fixations dans le béton et dans la maçonnerie » [4] ainsi que dans l'annexe nationale de l'Eurocode EC2-4 [6]. Pour les ouvrages de la CO III existants, elles sont définies dans la norme SIA 269/8 « Maintenance des structures porteuses – Séismes » [3]. D'autres exigences spécifiques pour les ouvrages de la CO III se trouvent dans la directive ESTI no 248 [10] relative à la distribution d'énergie électrique, dans la directive de l'IFP 2003 [11], dans la notice traitant des installations de transport par conduites [12], dans la directive de l'OFT concernant les installations ferroviaires [13] et dans le manuel de l'Office fédéral de l'aviation civile (OFAC) relatif aux constructions de l'aviation civile [14]. L'annexe C contient une liste des exigences spécifiques contenues dans les normes et directives suisses pour les ouvrages de la CO III (état en 2022).

3 Classe d'ouvrages III

3.1 Signification

Les ouvrages ayant une fonction vitale sont indispensables après un séisme pour maîtriser l'événement, en particulier pour sauver des vies humaines, et pour la phase de reconstruction qui s'ensuit. Le maintien de cette fonction vitale après un séisme revêt une importance cruciale. Ces ouvrages doivent être assignés à la CO III selon la norme SIA 261 [2]. Les ouvrages jouant un rôle moins important sont assignés aux CO I ou II. La classe d'ouvrages définit le niveau de sécurité visé en cas de séisme pour « la protection des personnes, la limitation des dommages et la garantie de l'aptitude au fonctionnement d'ouvrages importants » (objectif de protection selon ch. 16.1.2, norme SIA 261). La garantie de l'aptitude au fonctionnement est l'objectif de protection primordial pour les ouvrages ayant une fonction vitale.

3.2 Exigences

Pour les ouvrages de la CO III, les normes SIA sur les structures porteuses posent les exigences les plus élevées concernant les trois objectifs de protection susmentionnés. Concrètement, il faut procéder non seulement à la vérification de la sécurité structurale, mais aussi à celle de l'aptitude au service de la structure porteuse ainsi que des éléments non structuraux, installations et équipements (ENIE)³ pertinents. En cas de séisme, l'accent en matière d'aptitude au service est placé sur l'aptitude d'un ouvrage à remplir sa fonction. Or l'aptitude au fonctionnement d'un ouvrage ne dépend pas uniquement de la sécurité sismique de la structure porteuse, mais également de celle des ENIE, lesquels sont essentiels pour maintenir la fonction vitale. Le traitement des ENIE a donc une grande importance lors de la vérification de la sécurité sismique des ouvrages de la CO III.

3.3 Fonctions vitales

Les ouvrages ayant une fonction vitale ci-après sont attribués à la CO III selon la norme SIA 261 [2]. L'énumération n'est pas exhaustive :

- Les hôpitaux dotés d'équipements pour la médecine d'urgence tels que les garages d'ambulances, services d'urgence hospitaliers, salles d'opération, services de soins intensifs et de néonatalogie, y compris les équipements d'approvisionnement et d'évacuation.
- Les ouvrages des sapeurs-pompiers servant aux secours et au sauvetage ainsi qu'à la lutte contre les incendies.
- Les ouvrages dotés d'équipements de coordination, tels que les centrales d'intervention des organisations d'intervention d'urgence ou les installations des états-majors de conduite ainsi que leurs équipements de télécommunication.
- Les ouvrages à proximité des axes d'intervention et des voies de communication jouant un rôle primordial pour l'accessibilité d'une zone habitée ou d'un ouvrage CO III.
- Les ouvrages servant au stockage de matériels de secours et de sauvetage⁴,
- Les ouvrages ainsi que les installations et équipements ayant une importance vitale pour l'approvisionnement, l'évacuation ou les télécommunications, par exemple les ouvrages servant à la fourniture d'eau potable (réservoirs d'eau, stations de pompage des eaux souterraines, etc.) ou à l'approvisionnement en électricité (centre de conduite du réseau, sous-stations, etc.).

³ Les normes SIA ne contiennent pas d'indications concernant la sécurité sismique des autres installations et équipements non inclus dans les *éléments non structuraux* tels que définis au chiffre 1.1.28 de la norme SIA 261. Dans la présente publication, le chapitre 6 traite d'autres installations et équipements pertinents de manière analogue aux éléments non structuraux. C'est pourquoi nous utilisons systématiquement le terme ENIE. La notion d'« ENIE pertinents » est définie au chapitre 6.2.2.

⁴ Par exemple des ouvrages de la protection civile, de l'armée, de la Rega ou d'offices cantonaux ou communaux répondant à ces critères.

4 Étude et conduite de projet

4.1 Documents dans le processus de conception et de réalisation

Les objectifs et les exigences concernant la sécurité sismique des ouvrages ayant une fonction vitale ainsi que les mesures correspondantes doivent être consignés pour chaque phase de projet dans les documents de planification et d'exécution ainsi que dans le dossier de construction. La liste du tableau 1 montre à quel moment

les documents doivent être établis et par qui. Elle s'appuie sur la norme de compréhension, SIA 112 « Modèle – Étude et conduite de projet » [5].

Les documents essentiels pour la planification parasismique d'un ouvrage de la CO III sont les suivants : « énoncé des besoins et approche méthodologique », « définition du projet », « cahier des charges du projet », « convention d'utilisation » et « sécurité sismique des ENIE ».

Tableau 1

Documents pertinents pour la sécurité sismique dans le processus de conception et de réalisation

Phase	Phase partielle	Document	Auteurs	Défini
1	Définition des objectifs			
	11 Énoncé des besoins, approche méthodologique	Énoncé des besoins et approche méthodologique	Maître d'ouvrage	Objectifs et exigences
2	Études préliminaires			
	21 Définition du projet de construction, étude de faisabilité	Définition du projet Cahier des charges du projet	Maître d'ouvrage	Objectifs et exigences
3	Étude du projet			
	31 Avant-projet	Convention d'utilisation	Ingénieur civil	Exigences
	31 Avant-projet	Base du projet	Ingénieur civil	Mesures
	à partir de 31 Avant-projet	« Sécurité sismique des ENIE »	Direction générale	Exigences et mesures de conception
	à partir de 31 Avant-projet	Documents de l'étude de projet	Professionnels spécialisés	Mesures
4	Appel d'offres			
		Documents de l'appel d'offres	Professionnels spécialisés	Exigences et mesures, y c. contrôle
		Comparaison des offres Proposition d'adjudication	Professionnels spécialisés	Mesures
5	Réalisation			
	51 Projet d'exécution	Documents d'exécution	Professionnels spécialisés, fournisseurs / fabricants	Mesures
	52 Exécution de l'ouvrage	Procès-verbal de réception	Direction des travaux, professionnels spécialisés	Mesures, y c. contrôle
	53 Mise en service, achèvement	Dossier de construction : <ul style="list-style-type: none"> • Définition du projet et cahier des charges du projet • Convention d'utilisation • Base du projet • Sécurité sismique des ENIE • Plans 	Maître d'ouvrage Ingénieur civil Ingénieur civil Direction générale Ingénieur civil, professionnels spécialisés, fournisseurs / fabricants	Objectifs, exigences et mesures

4.2 Énoncé des besoins et approche méthodologique

Au début du projet, le maître d'ouvrage définit, dans le cadre de la phase partielle « 11 Énoncé des besoins », les besoins spécifiques du projet, les objectifs, les conditions-cadres, les exigences et l'approche méthodologique. Cette description porte également sur la fonction vitale de l'ouvrage.

Lorsqu'il s'agit de choisir l'emplacement de l'ouvrage, il convient de tenir compte des constructions dans le voisinage, qui pourraient bloquer l'accessibilité à la suite d'un séisme. En outre, le terrain de fondation détermine dans une large mesure l'intensité des mouvements du sol et la possibilité de phénomènes induits par le séisme⁵ qui peuvent avoir des effets défavorables sur l'ouvrage. Il vaut dès lors mieux éviter d'ériger les ouvrages de la CO III sur des sols mous (p. ex. classes de terrains de fondation D ou F selon la norme SIA 261) ou avec un potentiel de phénomène induits avéré.

4.3 Définition du projet et cahier des charges du projet

Le maître d'ouvrage doit remettre la « définition du projet » et le « cahier des charges du projet » (SIA, phase partielle 21) aux soumissionnaires lors de la procédure de choix de mandataires (SIA, phase partielle 22). Ces documents constituent la base pour l'équipe d'architectes et/ou d'ingénieurs dans la suite de l'étude du projet (SIA, phase 3).

La définition du projet décrit les principaux objectifs, fonctions et conditions-cadres que le maître d'ouvrage souhaite pour la structure porteuse et pour les ENIE. Elle demeure généralement inchangée pendant toute la durée du processus de conception et de réalisation.

Dans le cahier des charges du projet, le maître d'ouvrage définit les fonctions, propriétés et exigences les plus importantes eu égard à la sécurité sismique, en se fondant sur les exigences d'ordre supérieur de la norme SIA 261 et des objectifs du projet. Ce faisant, le maître d'ouvrage commande dès cette phase anticipée du projet une

conception parasismique de la structure porteuse et des ENIE. Le cahier des charges du projet sera complété durant les phases ultérieures. Il doit décrire les points spécifiques suivants ayant trait aux séismes (voir exemple 1) :

- fonction vitale de l'ouvrage,
- unités de fonction vitale.

Exemple 1 : Contenu du cahier des charges du projet ayant trait spécifiquement aux séismes *Construction d'une caserne de pompiers*

Fonction vitale

La caserne de pompiers et son inventaire servent à sauver des vies en cas de séisme (sauvetage de personnes ensevelies, lutte contre les incendies, etc.).

Unités de fonction vitale

Les unités de fonction vitale des pompiers se trouvent au rez-de-chaussée (garage, dépôt de matériel, locaux d'intervention) et au premier étage (bureaux, dortoirs) ainsi qu'au sous-sol (locaux abritant les installations techniques) ; voir les plans des étages avec les indications correspondantes. Aux étages supérieurs se trouvent des bureaux sans fonction vitale.

4.4 Convention d'utilisation

Au cours de la phase partielle « 31 Avant-projet », l'ingénieur civil fixe dans la « convention d'utilisation », conformément à la norme SIA 112, les objectifs d'utilisation et de protection définis par le maître d'ouvrage ainsi que les conditions, exigences et prescriptions fondamentales pour l'étude de projet, la réalisation et l'utilisation de l'ouvrage. La « convention d'utilisation » doit être approuvée par le maître d'ouvrage à la fin de la phase partielle « 31 Avant-projet ». En cas de besoin, elle sera mise à jour et approuvée au fil de l'avancement du projet. Les points suivants, portant spécifiquement sur les questions parasismiques, doivent être décrits dans la convention d'utilisation (voir exemple 2) :

⁵ Mouvements de terrain, éboulements, glissements de terrain, tsunamis lacustres, tassements du sol, liquéfaction du sol, etc.

Exemple 2 : Contenu de la convention d'utilisation ayant trait spécifiquement aux séismes

Construction d'une caserne de pompiers

La fonction vitale et les unités de fonction vitale correspondantes sont définies dans le cahier des charges du projet.

Classe d'ouvrages

CO III (en raison de la fonction vitale selon le cahier des charges du projet), facteur d'importance pour la sécurité structurale $\gamma_f = 1,5$, facteur d'importance pour l'aptitude au service $\gamma_f = 1,0$

Objectifs de protection

L'aptitude au fonctionnement de la caserne de pompiers doit être garantie pour sauver des vies humaines. La protection des personnes doit être assurée. L'ouvrage ne comporte pas d'installations d'une valeur particulièrement élevée et n'a pas d'exigences de limitation des dommages. En outre, l'ouvrage et son contenu ne constituent pas une menace pour l'environnement.

Zone sismique

Zone Z2 avec $a_{gd} = 1,0 \text{ m/s}^2$

Classe de terrain de fondation

CTF B (selon le rapport géotechnique « BE 04561.001 » du 3.2.2019)

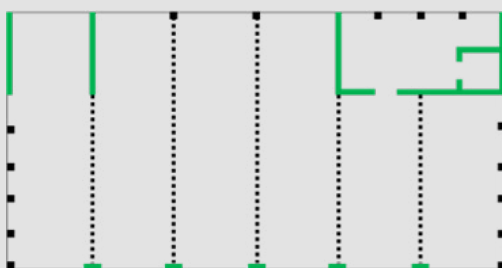
Concept parasismique

La structure porteuse est réalisée en béton armé (sous-sol, rez-de-chaussée) de la structure porteuse et en bois (étages supérieurs). La reprise des charges verticales est assurée par des piliers en béton armé, des sommiers, des murs en béton armé et en bois lamellé-collé ainsi que par le noyau central du bâtiment. Le contreventement est assuré par des parois et le noyau en béton armé reliés entre eux par des dalles rigides. Les éléments en béton armé préfabriqués et les éléments porteurs en bois sont fixés solidairement aux éléments en béton coulé sur place. Le concept de la structure est présenté dans les esquisses ci-dessous avec les parois de contreventement en béton armé (en vert) et en bois lamellé-collé (en brun).

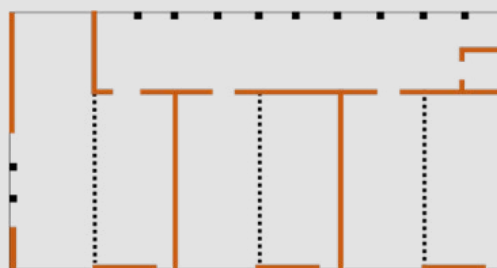
Comportement de la structure porteuse

Il est prévu un comportement de la structure porteuse non ductile, avec un coefficient de comportement $q = 2$. Des déformations importantes et irréversibles de la structure porteuse en cas de séisme de dimensionnement sont exclues.

Rez-de-chaussée



Premier étage



Sécurité sismique des ENIE

Le document « sécurité sismique des ENIE » est établi pour assurer une planification et un traitement adéquat de la sécurité sismique des ENIE à chaque phase du projet.

- Classe d'ouvrages de l'ouvrage⁶ avec le facteur d'importance γ_f pour la sécurité structurale et le facteur d'importance γ_f pour l'aptitude au service,
 - Objectifs de protection visés selon la norme SIA 261,
 - Zone sismique et classe de terrain de fondation selon la norme SIA 261 [2] ou paramètres spécifiques au site selon une étude de site spectrale ou un microzonage sismique,
 - Concept de la structure porteuse pour reprendre l'action sismique,
 - Comportement de la structure porteuse (ductile ou non ductile), avec fixation du coefficient de comportement q de la structure porteuse.
 - Renvoi au document « sécurité sismique des ENIE » pour assurer la prise en compte adéquate à chaque phase du projet de la sécurité sismique des ENIE pertinents.
- mesures de planification à l'étape de l'étude de projet et de l'appel d'offres⁷ visant à maîtriser les situations de danger,
 - mesures d'assurance qualité telles que contrôles, co-rapports, contrôles des travaux et réceptions, y compris les documents et formulaires nécessaires,
 - les responsabilités pour les différentes phases du projet, « 3 Étude de projet », « 4 Appel d'offres » et « 5 Réalisation ».

En troisième lieu, le document est complété à la phase « 5 Réalisation » par des procès-verbaux de réception pour les ENIE pertinents ainsi que par différents documents d'assurance qualité, tels que des certificats et attestations (voir exemple 3).

4.5 Document « sécurité sismique des ENIE »

La direction générale élabore le document « sécurité sismique des ENIE », en collaboration avec les professionnels spécialisés. L'élaboration de ce document commence durant la phase partielle « 31 Avant-projet ». Le document est mis à jour au cours des phases ultérieures du projet, en fonction de l'état d'avancement ; il est signé par les parties impliquées au terme de chaque phase.

Le document décrit en premier lieu l'action sismique sur les ENIE, laquelle doit être spécifiée par l'ingénieur civil. L'action sismique est définie sous la forme suivante :

- accélérations absolues,
- déplacements relatifs imposés (déformation relative entre niveaux),
- espace libre nécessaire pour des ENIE oscillants.

En deuxième lieu, le document contient un tableau de planification pour les ENIE pertinents, élaboré par l'équipe de planification. Les points suivants doivent être définis dans ce tableau :

- ENIE pertinents (liste, avec précision de l'emplacement) et les objectifs de protection qui s'y rapportent,
- situations de danger,

Exemple 3 : Tableau de planification du document « sécurité sismique des ENIE » *Construction d'un hôpital d'urgence*

Le tableau de planification du document « sécurité sismique des ENIE » contient les ENIE pertinents, les objectifs de protection, les situations de danger, les mesures de planification ainsi que les responsabilités au sein de l'équipe d'architectes et/ou d'ingénieurs. Les ENIE y sont triés selon l'objectif de protection. Les ENIE qui, en cas de dommage ou de défaillance, compromettent la fonction vitale de l'ouvrage, sont regroupées au début du tableau. Les mesures planifiées sont à lister en suivant les phases SIA. Il faut définir la responsabilité pour chaque mesure planifiée. Le fait que le propriétaire accepte un risque concernant l'objectif de protection de la limitation des dommages peut également constituer une décision de planification, ce qui est à consigner en conséquence dans le tableau de planification. Le tableau 2 montre à titre d'exemple un extrait d'un tel tableau de planification.

6 Selon la norme SIA 261, un ouvrage doit être attribué à une classe d'ouvrages.

7 Les mesures de la phase SIA « 5 Réalisation » relèvent d'une manière générale de la compétence des professionnels spécialisés. Le document « sécurité sismique des ENIE », placé sous la responsabilité de la direction générale, ne contient pas les mesures détaillées pour la réalisation (calculs, plans d'exécution, etc.).

Tableau 2

Exemple d'un tableau de planification dans le document « sécurité sismique des ENIE »

ENIE	Emplacement	Unité de fonction vitale	Objectif de protection		Situations de danger ¹	Phase partielle SIA	Mesures de planification pour les phases d'étude de projet et d'appel d'offres, et pour l'assurance qualité	Responsabilité	Effectué le / par
			Protection des personnes	Limitation des dommages ²					
Système de génératrice de secours diesel, y compris réservoir, installations accessibles et éléments incorporés.	Local A7, A8	Unité de soins intensifs	x	Fonction vitale	<ul style="list-style-type: none"> Glissement de composantes Chute de composantes Arrachement de conduites entre composantes (p. ex. conduite entre le réservoir de diesel et la génératrice) 	32	Exigences action (accélération spectrale et déplacement relatif) <i>consigne dans le document « sécurité sismique des ENIE »</i>	Génie civil	10.4.2022 / Ingénieur civil xy
						41	Appel d'offres basé sur la fonction, pour les exigences en matière de sécurité sismique, et appel d'offres pour les prestations à fournir par le fournisseur / fabricant (conception, analyse, dimensionnement, plans d'atelier, exécution, documents justificatifs) Le document « sécurité sismique des ENIE » est joint au dossier d'appel d'offres	Planification électrique	1.6.2022 / Planification électrique xy
						41	Conception, analyse, dimensionnement <i>notamment ancrage sur des socles en béton ainsi que raccords et conduites flexibles</i>	Fournisseur / fabricant	8.9.2022 / Fabricant xy
						41	Vérifier les offres, proposition d'adjudication	Planification électrique	03.10.2022 / Ingénieur civil xy
						51	Vérifier les plans d'atelier, fixation, raccords et conduites flexibles	Planification électrique et au besoin génie civil	15.2.2023 / Planification électrique xy
						52	Exiger la confirmation du respect des exigences et de l'installation correcte par le fournisseur / fabricant	Planification électrique	30.4.2023 / Planification électrique xy
						53	Réception	Direction des travaux	À suivre

1 Par exemple renversement, glissement, déformation excessive, choc, éloignement, rupture, chute, arrachement, etc.

2 Concrètement, en cas de dégâts causés à la structure porteuse, de perturbation d'une fonction importante, de dégâts causés à des marchandises ou des équipements d'une valeur particulièrement élevée ou en cas de menace pour l'environnement.

ENIE	Emplacement	Unité de fonction vitale	Objectif de protection			Situations de danger ¹	Mesures de planification pour les phases d'étude de projet et d'appel d'offres, et pour l'assurance qualité	Responsabilité	Effectué le / par
			Protection des personnes	Limitation des dommages ²	Fonction vitale				
Façade	Façade ouest	x			<ul style="list-style-type: none"> Rupture/déformation excessive de l'ancrage et, partant, chute d'éléments de la façade 	32	Exigences <i>action déterminante</i> consignée dans le document « <i>sécurité sismique des ENIE</i> »	Génie civil	10.5.2022 / Ingénieur civil xy
						32	Choix du produit (élément de façade), conception et dimensionnement de la façade, y compris ancrage	Architecture et planification de la façade	1.6.2022 / Planification de la façade xy
						41	Appel d'offres basé sur le produit, ancrage compris, et appel d'offres pour les prestations à fournir par le fournisseur / fabricant (plans d'atelier, exécution, documents attestant l'installation correcte)	Architecture et planification de la façade	8.9.2022 / Planification de la façade xy
						41	Vérifier les offres, proposition d'adjudication	Architecture	3.10.2022 / Architecte xy
						51	Vérifier les plans d'atelier quant à la fixation	Planification de la façade et au besoin génie civil	15.12.2023 / Planification de la façade xy
						52	Exiger la confirmation de l'installation correcte par le fournisseur/fabricant	Architecture	30.6.2023 / Architecture xy
Tomodensitomètre	Local C4	x				53	Réception	Direction des travaux	À suivre
						32	Exigences <i>action déterminante</i> consignée dans le document « <i>sécurité sismique des ENIE</i> »	Génie civil	10.05.2022 / Ingénieur civil xy
						32	Le propriétaire accepte le risque d'un état limite quant à l'aptitude au service (arrachement de conduites de raccordement) selon la séance du 12.2.2022	Propriétaire	12.12.2022 / Propriétaire
						41	Appel d'offres basé sur la fonction pour les exigences en matière de sécurité sismique et appel d'offres pour les prestations à fournir par le fournisseur / fabricant (conception, analyse, dimensionnement, exécution, documents justificatifs) <i>Le document « sécurité sismique des ENIE » est joint au dossier d'appel d'offres</i>	Planificateur hospitalier	15.12.2022 / Planificateur hospitalier
						41	Conception, analyse et dimensionnement <i>Ancrage dans la dalle d'étage</i>	Fournisseur/fabricant	15.1.2023 / Fabricant xy
						41	Vérifier les offres, proposition d'adjudication	Planificateur hospitalier	31.1.2023 / Planificateur hospitalier
						52	Exiger la confirmation du respect des exigences et de l'installation correcte par le fournisseur / fabricant	Planificateur hospitalier	3.3.2023 / Planificateur hospitalier
53	Réception	Direction des travaux	À suivre						

5 Structure porteuse

5.1 Concept et comportement de la structure porteuse

Plus la structure porteuse a un comportement favorable en cas de séisme, plus il est improbable que la structure porteuse ou les ENIE subissent des dommages avec pour conséquence une perte de fonction de l'ouvrage dans son ensemble. La norme SIA 261 définit au chiffre 16.4.1 des exigences concernant les caractéristiques d'une structure porteuse parasismique pour un ouvrage de la CO III. Il faut notamment éviter les variations et les asymétries du système de contreventement en plan et en élévation. La fondation de la structure porteuse sera aménagée sur un terrain aussi régulier et rigide que possible.

Une structure porteuse conçue de la sorte présente un comportement favorable eu égard à l'action sismique, autant pour la structure porteuse elle-même que pour les ENIE reliés à elle, car l'action sismique sur les ENIE résulte directement du comportement dynamique de la structure porteuse. En conséquence, il convient d'éviter les modes d'oscillation défavorables de la structure porteuse, spécialement les modes torsionnels, qui augmentent les accélérations et les déformations imposées aux ENIE.

Pour les ouvrages de la CO III, il est indispensable que les professionnels spécialisés en architecture et en génie civil s'entendent sur ces contraintes dès le concours ou au plus tard au stade de l'avant-projet (phase partielle 31), et qu'ils conçoivent une structure porteuse parasismique en étroite collaboration.

Outre le concept de la structure porteuse, les matériaux de construction et les dispositions constructives de la structure porteuse jouent un rôle déterminant pour le comportement de celle-ci sous l'action sismique. Les normes sur les structures porteuses permettent en outre d'opter pour un dimensionnement ductile⁸ ou non ductile⁹, en fonction du comportement visé pour la structure porteuse. Pour les

ouvrages de la CO III, il faut s'abstenir d'utiliser un dimensionnement ductile de la structure porteuse permettant une valeur de coefficient de comportement q plus élevée. Avec ce type de dimensionnement, la structure porteuse subit des déformations locales comparativement plus grandes en cas de séisme que dans le cas d'un dimensionnement non ductile, ce qui donne lieu à des interactions plus dommageables entre la structure porteuse et les ENIE. Dans le cadre d'un dimensionnement non ductile, il est toutefois judicieux d'implémenter des dispositions constructives parasismiques favorisant la ductilité et visant à éviter les mécanismes de ruine fragiles dans le but d'augmenter la robustesse de la structure porteuse.

Les éléments techniques spécifiques de dissipation d'énergie, tels que les isolateurs et les amortisseurs, constituent un moyen efficace de limiter les effets des secousses sismiques du sol sur un ouvrage. Aussi bien la structure porteuse que les ENIE sont ainsi protégés contre d'importantes déformations et accélérations, ce qui est très favorable notamment au maintien de l'aptitude au fonctionnement de l'ouvrage et donc très avantageux pour les constructions de la CO III. Il s'agit d'étudier au cas par cas les avantages que ces méthodes sophistiquées présentent pour garantir la sécurité sismique de l'ouvrage par rapport à un dimensionnement classique de la structure porteuse.

5.2 Vérifications

La norme définit un facteur d'importance γ_f pour la détermination de l'action sismique dans l'analyse structurale et le dimensionnement de la structure porteuse. Ce facteur augmente l'action sismique pour les ouvrages importants, à savoir des classes CO II et III, par rapport à celle qui est prise en compte pour les ouvrages de la CO I. La sécurité structurale pour les ouvrages de la CO III doit être vérifiée avec un facteur d'importance $\gamma_f = 1,5$. La vérification de la sécurité structurale est effectuée de manière analogue à celle pour les ouvrages des CO I et II.

⁸ D'une manière générale, lors de l'utilisation de coefficients de comportement q supérieur à 2,5.

⁹ D'une manière générale, lors de l'utilisation de coefficients de comportement q situés autour de 2.

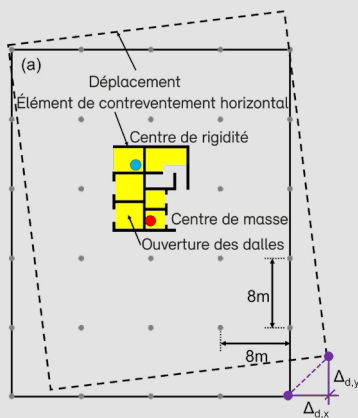
Exemple 4 : Vérification de l'aptitude au service de l'ouvrage

Hôpital d'urgence

8 étages, hauteur d'étage $h = 3,5$ m, 3 concepts en plan (détails, voir annexe A)

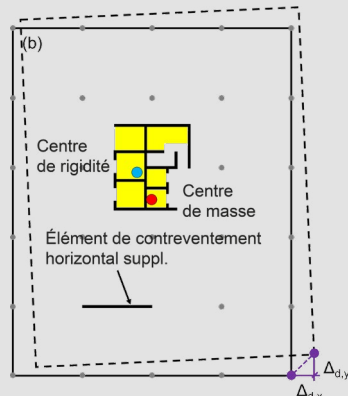
Vérification pour éléments incorporés fragiles : $\Delta_{d,x} \leq h/500$ et $\Delta_{d,y} \leq h/500$

Vérification pour éléments incorporés ductiles : $\Delta_{d,x} \leq h/200$ et $\Delta_{d,y} \leq h/200$



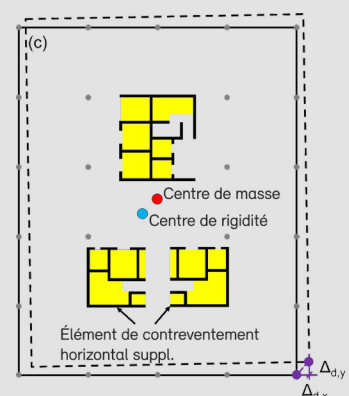
Concept a

- Faible rigidité translationnelle et rotationnelle et forte excentricité entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité
- → importants déplacements translationnels et torsionnels
- Vérification des éléments incorporés ductiles : **non satisfaite**
- Vérification des éléments incorporés fragiles : **non satisfaite**



Concept b

- Rigidité translationnelle dans la direction x et rigidité rotationnelle accrues ; excentricité entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité réduite
- → déplacements translationnels plus faibles et déplacements torsionnels nettement plus faibles
- Vérification des éléments incorporés ductiles : **satisfaite**
- Vérification des éléments incorporés fragiles : **non satisfaite**



Concept c

- Rigidités translationnelle et rotationnelle nettement accrues ; excentricité entre le centre de gravité et le centre de rigidité encore réduite
- → déplacements translationnels et torsionnels nettement plus faibles
- Vérification des éléments incorporés ductiles : **satisfaite**
- Vérification des éléments incorporés fragiles : **satisfaite**

La vérification de l'aptitude au service n'est exigée que pour les ouvrages de la CO III (ch. 16.1.5, norme SIA 261) et ceci pour un facteur d'importance $\gamma_f = 1,0$. Des valeurs limites pour le déplacement horizontal par étage sont définies pour la vérification : 1/500 de la hauteur d'étage pour les ouvrages avec éléments incorporés¹⁰ à comportement fragile¹¹ et 1/200 de la hauteur d'étage pour les ouvrages avec éléments incorporés à comportement ductile. Lorsque les valeurs limites sont respectées, il n'y a pas d'interaction dommageable entre la structure porteuse et les ENIE pertinents.

Le déplacement horizontal par étage devant être pris en compte dans la vérification correspond au déplacement relatif maximal des deux dalles d'étage situées respectivement au-dessus et en dessous de l'étage considéré. La valeur de dimensionnement du déplacement doit être déterminée selon la norme SIA 261, chiffre 16.5.5 pour chaque direction principale en tenant compte des éventuels effets de torsion¹². La norme SIA 261 ne contient pas d'indications pour la combinaison des composantes horizontales de l'action sismique. Pour les ouvrages de la CO III, il est par conséquent recommandé de procéder à une combinaison des composantes horizontales de l'action sismique selon l'Eurocode 8 « Calcul des structures pour leur résistance aux séismes » [7]¹³. L'exemple 4 (voir détails à l'annexe A) illustre la vérification de l'aptitude au service.

¹⁰ ou d'éléments de construction non structuraux.

¹¹ Éléments incorporés à comportement fragile, c'est-à-dire que la défaillance de l'élément, y compris son mode d'installation et d'ancrage, est soudain, sans déformations importantes préalables.

¹² Analyse basée sur les forces : la valeur de dimensionnement du déplacement relatif par direction principale est déterminée par la multiplication du coefficient de comportement q et de la part élastique du déplacement calculée sur la base du spectre de dimensionnement. Pour ce faire, il faut partir d'une rigidité moyenne jusqu'au début de la plastification, et il faut prendre en compte les effets de la torsion.

¹³ En l'occurrence, il convient de privilégier la « règle 100-30 », voir paragraphe 4.3.3.5.1(3) et 4.3.3.5.2(4) de l'EC8-1:2004, par rapport à la règle SRSS (Square Root of Sum of Squares, racine carrée de la somme des carrés), voir paragraphe 4.3.3.5.1(2b) de l'EC8-1:2004.

6 ENIE

6.1 Répartition des tâches

6.1.1 Responsabilités

Le maître d'ouvrage est responsable de la sécurité sismique de l'ouvrage et donc de sa prise en compte dans la définition du projet et dans la procédure de choix de mandataires. La direction générale¹⁴ a la responsabilité globale de la conception et de l'exécution parasismique des ENIE. Elle coordonne et surveille le traitement des ENIE et s'assure que les tâches et les responsabilités sont attribuées de manière judicieuse en fonction du projet concret. Les différents professionnels spécialisés sont responsables de la planification parasismique des ENIE entrant dans leur domaine spécifique, y compris de l'assurance qualité dans l'exécution.

Si la direction générale ou les professionnels spécialisés ont besoin de soutien dans leurs fonctions et leurs tâches, ils peuvent faire appel à des spécialistes en génie parasismique. Ils doivent alors en tenir compte dans leur offre, puisqu'ils sous-traitent une partie de leurs prestations. La décision des planificateurs de mandater une coordination des ENIE doit être prise suffisamment tôt dans le projet. En fonction des besoins, de la détermination des prestations correspondantes et des mandats définis, la coordination des ENIE peut apporter son soutien :

- à la direction générale pour l'élaboration du document « sécurité sismique des ENIE »,
- aux professionnels spécialisés pour l'élaboration de l'étude de projet et de l'appel d'offres et
- à la direction générale et/ou aux professionnels spécialisés pour l'assurance qualité et la documentation lors de la réalisation.

L'ingénieur civil est responsable, en sa qualité de professionnel spécialisé, de la structure porteuse et donc de la sécurité sismique de celle-ci. Pour ce qui est de la planification parasismique des ENIE, il fournit les bases relatives à l'action sismique sur les ENIE dans le document « sécurité sismique des ENIE » (voir 6.3).

6.1.2 Tâches et prestations

Définition des objectifs et études préliminaires (phases SIA 1 et 2)

Le maître d'ouvrage tient compte de la sécurité sismique dans l'énoncé des besoins, dans la définition du projet et dans le cahier des charges du projet.

Le maître d'ouvrage veille dans la procédure de choix de mandataires (p. ex. concours) puis lors de l'appel d'offres, à ce que les prestations aussi bien de planification (honoraires) que de réalisation (frais de construction) liées à la sécurité sismique des ENIE fassent l'objet de positions de prix distinctes. Il est ainsi possible de comparer les offres et de garantir que les soumissionnaires ont expressément prévu ces prestations.

Le maître d'ouvrage doit charger suffisamment tôt et de manière explicite¹⁵ la direction générale de la coordination des ENIE durant les phases 2 à 5, y compris de la surveillance générale et de la documentation, et doit rémunérer ces prestations séparément. Il doit en outre s'assurer que la planification des ENIE parasismiques, l'appel d'offres, la documentation et l'assurance qualité (contrôle des travaux, réception, etc.) sont explicitement mentionnés dans les appels d'offres relatifs aux prestations des professionnels spécialisés et que ces derniers sont mandatés pour ce faire et rémunérés séparément. La direction générale se chargera de cette tâche, si elle a été mandatée pour ce faire, ou alors le maître d'ouvrage dans le cas du modèle du mandataire individuel.

Étude de projet et appel d'offres (phases SIA 3 et 4)

La direction générale élabore le document « sécurité sismique des ENIE », avec le concours des professionnels spécialisés. La responsabilité en matière de sécurité sismique à l'étape de l'étude de projet et de l'appel d'offres revient aux professionnels spécialisés des différents corps de métiers ou directement aux fournisseurs / fabricants

¹⁴ La fonction de direction générale pour les projets du bâtiment est en règle générale assumée par le mandataire général ou par l'architecte.

¹⁵ L'appel d'offres pour les prestations de direction générale doit se faire à un stade précoce, à savoir à partir de la phase SIA « 21 Définition du projet de construction, étude de faisabilité » ou au plus tard « 31 Avant-projet » ; il doit inclure explicitement la coordination de la sécurité sismique des ENIE.

des ENIE. L'assurance qualité et la documentation de l'étude de projet et de l'appel d'offres doivent se faire selon leur système interne d'assurance qualité.

Réalisation (phase SIA 5)

Durant la phase de réalisation, les professionnels spécialisés ou les directions des travaux spécialisées procèdent au contrôle des plans ainsi qu'au contrôle sur chantier et à la réception des ENIE pertinents en matière de sécurité sismique.

La direction générale met à jour le document « sécurité sismique des ENIE » pour le dossier de construction. Elle le complète au fur et à mesure de la réalisation, à l'aide des procès-verbaux de réception établis par les professionnels spécialisés, la direction des travaux et les directions des travaux spécialisées. Elle joint en outre au document d'autres justificatifs d'assurance qualité, tels que des certificats et des attestations, provenant du fournisseur / fabricant et de l'entrepreneur. Elle exige ces documents d'assurance qualité auprès des différents responsables. Elle contrôle ainsi l'assurance qualité des professionnels spécialisés et de la ou des direction(s) des travaux.

Exploitation (phase SIA 6)

Le maître d'ouvrage s'assure que le propriétaire et l'exploitant ont connaissance du dossier de construction, en particulier du cahier des charges du projet, de la convention d'utilisation et du document « sécurité sismique des ENIE » avec la liste des ENIE pertinents. Le propriétaire veille à ce que la sécurité sismique soit prise en compte lors de transformations ou de remises en état. L'exploitant ou l'utilisateur s'assure que les exigences de sécurité sismique sont considérées lorsque, dans le cadre de l'exploitation courante, il achète ou remplace des ENIE pertinents.

6.2 Traitement des ENIE conforme aux exigences parasismiques

6.2.1 Concept parasismique des ENIE

Le choix d'utiliser des ENIE ductiles uniquement ou d'intégrer également des ENIE à comportement fragile influe sur les exigences posées à la structure porteuse et donc sur son concept (voir chapitre 5). L'élaboration

anticipée d'un concept pour les ENIE permet de planifier et de sélectionner des ENIE qui conduisent à des solutions parasismiques, efficaces, économiques et favorables.

- Pour les ENIE qui sont particulièrement menacés par l'action sismique, il faut chercher des alternatives. Ainsi, il est possible d'utiliser des cloisons légères ductiles à la place de murs en maçonnerie non structuraux à comportement fragile.
- Les ENIE spécialement sensibles aux accélérations sont à placer aux étages inférieurs de l'ouvrage.
- Les mesures de conception simples, qui ne requièrent ni calculs, ni vérifications sont à privilégier. Pour les armoires, il est possible de prévoir par exemple des dispositifs standardisés de fixation parasismique aux murs.
- Des solutions avec des systèmes, appuis et fixations standardisés pour le plus grand nombre possible de SBIE devraient être utilisées. Il est par exemple possible de choisir des systèmes identiques pour les cloisons, des systèmes de fixation identiques pour les armoires de commande ou un système coordonné de sous-construction pour le montage des conduites de différents corps de métier.

6.2.2 ENIE pertinents

La liste des ENIE pertinents est dressée durant la phase partielle « 31 Avant-projet », sur la base des exigences générales énoncées dans la norme SIA 261 et des exigences spécifiques du projet définies par le maître d'ouvrage dans la définition et le cahier des charges du projet. Dans le cas des ouvrages de la CO III, les ENIE pertinents sont ceux qui, s'ils étaient endommagés ou défectueux, porteraient atteinte ou menaceraient les objectifs de protection suivants (ch. 16.1.2, norme SIA 261) :

- la fonction d'infrastructure vitale,
- la protection des personnes¹⁶,
- la limitation des dommages¹⁷.

¹⁶ Selon le chiffre 16.7.1 de la norme SIA 261 : les ENIE qui peuvent mettre en danger des personnes ou endommager la structure porteuse.

¹⁷ Selon le chiffre 16.7.1 de la norme SIA 261 : les ENIE qui peuvent porter préjudice au fonctionnement d'installations importantes (pas vitales), endommager des biens et installations d'une valeur particulièrement élevée ou menacer l'environnement.

Les normes en vigueur en Suisse (état en 2022) ne posent pas d'exigences parasismiques aux ENIE non pertinents, à l'exception de leur fixation dans le béton armé¹⁸.

6.2.3 Situations de danger

Il faut définir, pour chaque ENIE pertinent, l'objectif de protection qui est menacé en cas d'endommagement. Pour les ouvrages de la CO III, il faut déterminer toutes les situations de danger qui pourraient compromettre l'aptitude au fonctionnement et la protection des personnes en cas de séisme et y répondre avec une conception appropriée. L'objectif de protection de limitation des dommages est à considérer selon les exigences du propriétaire / maître d'ouvrage. Si le propriétaire accepte un risque, celui-ci doit être consigné dans le tableau de planification.

6.2.4 Étude de projet et appel d'offres

À la différence de la structure porteuse, les ENIE ne sont pas conçus et planifiés spécifiquement pour chaque projet. Le plus souvent, des produits usuels du commerce ou des systèmes existants sont utilisés. À la phase de l'avant-projet, les professionnels spécialisés déterminent les différentes exigences pour les ENIE qui découlent de l'utilisation prévue, des exigences de sécurité (y compris sécurité sismique) ou des aspects économiques. Dès que les exigences et donc les caractéristiques requises sont définies, différents types d'appel d'offres sont possibles, selon les corps de métier, le type d'ENIE et les conditions fixées par le maître d'ouvrage / la direction générale (voir tableau 3).

6.2.5 Réalisation

Pour garantir l'aptitude au fonctionnement des ouvrages de la CO III suite à un séisme, la mise en œuvre de mesures d'assurance qualité pendant la phase de réalisation joue un rôle décisif.

- Contrôle des plans d'atelier et de fixations des ENIE pertinents quant à leur réalisation parasismique.

- Contrôles de chantier et réception des ENIE pertinents indispensables pour le maintien de la fonction vitale de l'ouvrage. L'exécution ou l'installation parasismique doit être confirmée par écrit par l'entrepreneur ou par le fournisseur / fabricant. Un procès-verbal de réception concernant la sécurité sismique est établi, y compris une lettre d'attestation. Cette dernière doit démontrer que l'ENIE incorporé répond intégralement aux exigences en matière de sécurité sismique telles qu'elles sont formulées dans l'appel d'offres, et que l'élément a été installé et sécurisé adéquatement.
- Contrôles de chantier ponctuels et réception de tous les autres ENIE pertinents. Un procès-verbal de réception doit également être établi à ce sujet.

6.3 Action sismique sur les ENIE

Lors d'un séisme, les ENIE subissent des effets dus aux mouvements et aux déformations de la structure porteuse, sous la forme d'accélération absolues et de déplacements relatifs imposés.

Accélération absolues

Des valeurs indicatives pour les accélérations horizontales agissant sur les ENIE, reposant sur des hypothèses prudentes, figurent dans la publication [9]. Elles dépendent de la hauteur à laquelle se situe l'ENIE dans la structure porteuse, de la zone sismique et de la classe de terrain de fondation. Pour des calculs plus précis, les accélérations horizontales peuvent être déterminées directement à l'aide :

- de fonctions d'amplification, par exemple l'équation (49) de la norme SIA 261,
- de spectres de réponse d'étages, par exemple selon les NTC18 [8] ou à l'avenir l'EC8¹⁹, et
- de calculs explicites sur modèle, par exemple à l'aide de la méthode du spectre de réponse²⁰.

¹⁸ Selon la norme SIA 179/2019 et la norme SN EN 1992-4/NA, ch. C.2(2), ils doivent être fixés à l'aide de moyens de fixation de la catégorie de performance sismique C1.

¹⁹ L'actuel projet pour la nouvelle version de l'Eurocode 8, partie 1 (EN 1998-1), contient une prescription pour la détermination simplifiée des spectres de réponse d'étages.

²⁰ La modélisation concrète des ENIE comme oscillateurs simples et leur intégration dans le modèle de la structure porteuse doit être bien réfléchie (taille du maillage, conditions d'appui, rapports de masse, coefficient de comportement, amortissement, etc.) et nécessite un contrôle de plausibilité minutieux à l'aide d'analyses de sensibilité.

Tableau 3

Démarche pour l'étude de projet et l'appel d'offres en fonction du type d'appel d'offres

Acteur	Appel d'offres basé entièrement sur le produit	Appel d'offres basé partiellement sur le produit	Appel d'offres basé entièrement sur la fonction
Adjudicateur : Professionnels spécialisés concernés	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection d'un produit spécifique • Contrôle / vérification que le produit remplit toutes les exigences, <i>y compris</i> la sécurité sismique. • Planification (concept, y c. dimensionnement) de la fixation, si le fabricant ne livre pas de solution de fixation parasismique avec son produit. • Appel d'offres pour un produit spécifique (ou équivalents), <i>y compris</i> la solution de fixation parasismique planifiée (si nécessaire) et les vérifications / justificatifs requis. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection d'un produit spécifique • Contrôle / vérification que le produit remplit toutes les exigences, <i>sans</i> la sécurité sismique. • Appel d'offres pour un produit spécifique (ou équivalent) et les vérifications / justificatifs requis. • Appel d'offres basé sur la fonction pour la sécurité sismique → les exigences sont définies dans le document « sécurité sismique des ENIE ». Celui-ci fait partie intégrante du dossier d'appel d'offres. 	<ul style="list-style-type: none"> • Appel d'offres indiquant toutes les exigences à remplir par le produit, <i>y compris</i> la sécurité sismique et les vérifications / justificatifs requis. → Les exigences en matière de sécurité sismique sont définies dans le document « sécurité sismique des ENIE ». Celui-ci fait partie intégrante du dossier d'appel d'offres.
Soumissionnaires : Fournisseurs Fabricants Entrepreneurs	<ul style="list-style-type: none"> • Offre pour un produit spécifique ou un <i>produit équivalent</i>, <i>y compris</i> la fixation spécifiée. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle / vérification que les exigences en matière de sécurité sismique peuvent être remplies avec un produit spécifique ou un <i>produit équivalent</i>, éventuellement en précisant les adaptations nécessaires. • Planification (concept, y c. dimensionnement) de la fixation. • Offre pour un produit spécifique ou un <i>produit équivalent</i> et la fixation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contrôle / vérification : avec quel produit toutes les exigences peuvent être remplies. • Planification (projet, y c. dimensionnement) de la fixation. • Offre pour un produit, fixation comprise, de manière que les exigences soient remplies.
Exemples	Mur en maçonnerie non structural avec fixation en-tête par des équerres, balustrades, avant-toits. Appel d'offres par l'architecte, éventuellement avec le soutien de l'ingénieur civil.	Conduite de la technique du bâtiment (aération, sprinkler, etc.), <i>y compris</i> fixations.	Génératrice, poste de couplage, appareils pour les opérations et les analyses.
Remarques	<p>Idéalement, il est possible de trouver des produits sur le marché pour lesquels le fournisseur / fabricant, un organisme de contrôle ou un service étatique atteste qu'ils satisfont aux exigences requises en matière de sécurité sismique. S'il ne se trouve aucun produit sur le marché qui présente toutes les propriétés requises, les professionnels spécialisés concernés doivent, dans le cadre de l'étude de projet et de l'appel d'offres, mettre au point des solutions avec les soumissionnaires offrant les ENIE ou les produits correspondants, et prouver que les exigences sont remplies.</p> <p>Les soumissionnaires offrent le produit défini ou ont la possibilité de proposer des produits équivalents d'autres fournisseurs / fabricants à titre de variante d'entreprise. Dans ce dernier cas, les professionnels spécialisés concernés doivent vérifier quels sont les produits constituant l'offre la plus avantageuse pour le maître d'ouvrage et formuler les propositions d'adjudication correspondantes.</p>	Le soumissionnaire (entrepreneur, fournisseur / fabricant) est tenu d'attester (vérification, certificat, etc.) que la solution proposée dans son offre permet de respecter les exigences en matière de sécurité sismique. Cette garantie doit être exigée dans le dossier d'appel d'offres.	Le fabricant des produits proposés doit planifier la solution et démontrer dans son offre que les exigences sont satisfaites. Cette garantie doit être exigée dans le dossier d'appel d'offres.

Exemple 5 : Comparaison d'approches pour déterminer les actions sismiques sur un ENIE*Hôpital d'urgence (concept de la structure porteuse c selon l'annexe A)*

Le séisme de dimensionnement selon SIA 261 est défini par :

- $a_{gd} = 1,0 \text{ m/s}^2$ zone sismique Z2
- $S = 1,45$ classe de terrain de fondation C
- $\gamma_f = 1,5$ CO III pour la vérification de la sécurité structurale
- $q = 1,5$ coefficient de comportement de la structure porteuse
- $\xi = 5 \%$ degré d'amortissement visqueux

Pour un ENIE présentant une période propre définie (T_a) et une position donnée dans la structure porteuse (z_a/h), on compare les actions sismiques déterminées à l'aide de différentes méthodes :

- Publication OFEV ENIE [9]
- Formule (49) de la norme SIA 261, uniquement pour déterminer l'accélération
- Spectre de réponse d'étage selon le paragraphe C7.2.3 des NTC18 [8], détermination de l'accélération et de l'espace libre nécessaire
- Modèle de calcul : modèle par éléments finis élastique linéaire 3D (éléments coques) de la structure porteuse, avec la méthode du spectre de réponse. Détermination de l'accélération et de l'espace libre latéral nécessaire pour l'ENIE : modélisation explicite de l'ENIE dans le modèle de structure porteuse en tant qu'oscillateur simple lié à la structure porteuse.

Paramètres importants pour déterminer les actions sismiques :

- $z_a = 17,5 \text{ m}$ hauteur de l'ENIE dans la structure porteuse
- $h = 28 \text{ m}$ hauteur totale de la structure porteuse
- $T_a = 1,0 \text{ s}$ période propre de l'ENIE
- $T_1 = 0,6 \text{ s}$ période propre déterminante de la structure porteuse
- $q_a = 1,5$ coefficient de comportement de l'ENIE
- $\xi_a = 5 \%$ degré d'amortissement visqueux de l'ENIE

Accélération horizontale absolue de l'ENIE				Déplacement horizontal relatif entre niveaux		Espace libre latéral requis afin que les ENIE puissent osciller librement		
Publication OFEV ENIE [9]	Formule (49) de la norme SIA 261, en partant de l'hypothèse $T_a = 1,0 \text{ s}$, avec $T_1 = 0,6 \text{ s}$	Paragraphe C7.2.3 des NTC18 [8]	Modélisation explicite de l'ENIE en tant qu'oscillateur simple, avec $T_a = 1,0 \text{ s}$, dans le modèle de calcul de la structure porteuse	Publication OFEV ENIE [9]	Modèle de calcul de la structure porteuse	Publication OFEV ENIE [9]	Paragraphe C7.2.3 des NTC18 [8]	Modélisation explicite de l'ENIE en tant qu'oscillateur simple, avec $T_a = 1,0 \text{ s}$, dans le modèle de calcul de la structure porteuse
[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[m/s ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
6,8 *	4,2	3,2	2,6	39 *	9	300 *	122	59

* Les valeurs indiquées dans la publication de l'OFEV ont été choisies sciemment pour couvrir de nombreuses situations (p. ex. pleine résonance, $T_a = T_1$), ce qui explique que des valeurs nettement supérieures aux autres méthodes sont obtenues dans ce cas précis.

Déplacements relatifs imposés :

La publication [9] contient également des valeurs indicatives pour les déformations relatives entre étages qu'il faut escompter en fonction de la hauteur à laquelle se situe l'ENIE dans la structure porteuse, de la zone sismique et de la classe de terrain de fondation. Ces valeurs reposent sur des hypothèses très prudentes et sont par conséquent relativement élevées. Il est recommandé, pour les ouvrages de la CO III en particulier, d'utiliser les déplacements déterminés à l'aide du modèle de calcul de la structure porteuse utilisé pour la planification.

Espaces libres nécessaires

La publication [9] fournit également des valeurs indicatives prudentes pour les espaces libres dont ont besoin les ENIE qui ne sont pas rattachés à la structure porteuse ; elles dépendent de la hauteur à laquelle l'ENIE se situe dans la structure porteuse, de la zone sismique et de la classe de terrain de fondation. Les espaces libres nécessaires peuvent également être déterminés à partir d'un spectre de réponse d'étage ou à l'aide de la modélisation explicite des ENIE dans un modèle de calcul²⁰.

6.4 Vérifications

6.4.1 Vérification de la sécurité structurale

Pour les ouvrages de la CO III, il faut vérifier la sécurité structurale des éléments de construction non structuraux²¹ pertinents et de leurs assemblages, fixations et ancrages, avec un facteur d'importance $\gamma_f = 1,5$ (ch. 16.7.1, norme SIA 261). La détermination de l'action sismique, des effets des actions, de la résistance ultime et la vérification se font de manière analogue aux ouvrages des CO I et II. Si la détermination des effets des actions ou de la résistance ultime, et donc la vérification, ne peuvent être faites mathématiquement, il est possible de s'appuyer sur des résultats d'essais ou d'attester indirectement la vérification sur la base d'une comparaison avec des ENIE similaires dont les limites de la résistance sont connues.

6.4.2 Vérification de l'aptitude au service

La vérification spécifique de l'aptitude au service d'un ENIE pertinent doit être faite pour un facteur d'importance $\gamma_f = 1,0$. La détermination des limites de service des ENIE pertinents pour la vérification spécifique se fait sur la

Exemple 6 : Vérification de l'aptitude au service d'un réservoir d'oxygène ou de son raccord de tuyau

Hôpital d'urgence (détails, voir annexe A)

Le raccordement du réservoir doit, au vu du tracé de la conduite et de sa fixation au réservoir et à la dalle d'étage, pouvoir absorber simultanément la déformation horizontale relative entre étages (en rouge sur l'esquisse) et les mouvements horizontaux antagonistes du réservoir (en bleu sur l'esquisse). La valeur limite de déplacement horizontal entre la conduite et le réservoir à l'endroit du raccordement de la conduite (capacité de déplacement du raccordement de la conduite) est fixée à 15 mm par le fabricant.

Vérification : $u_d \leq 15 \text{ mm}$

$u_d = 12 \text{ mm}$ (voir annexe A) → vérification **satisfaite**



²¹ Ce terme couvre les éléments architecturaux et l'assemblage, la fixation et l'ancrage d'installations fixes. La présente publication recommande de traiter les autres installations et équipements de manière analogue aux éléments de construction non structuraux, et emploie toujours le terme ENIE.

base de contraintes, déformations, déplacements ou accélérations. Dans certains cas, les limites de service peuvent être déterminées directement par calcul, sur la base des spécifications normatives. Dans d'autres cas, les limites de service peuvent être fournies par le fabricant, en règle générale sur la base d'essais qu'il a réalisés et a fait attester par un certificat. Par ailleurs, il est possible de s'appuyer sur les limites de service d'éléments de construction non structuraux comparables, ce qui permet une vérification indirecte.

La vérification de l'aptitude au service est non déterminante pour la majorité des ENIE pertinents. Lorsque l'aptitude au service générale (ch. 16.5.5.1, norme SIA 261) et la sécurité structurale des ENIE pertinents (ch. 16.7.1, norme SIA 261)

ont été vérifiées, les exigences concernant l'aptitude au service des ENIE pertinents, y compris de leurs assemblages, fixations et ancrages, est le plus souvent remplie également. Lorsque ce fait a été établi pour un ENIE donné par comparaison des effets des actions et des exigences pour les deux états-limites « sécurité structurale » et « aptitude au service », la vérification spécifique de l'aptitude au service de l'ENIE en question devient superflue (ch. 4.4.1.2, norme SIA 260).

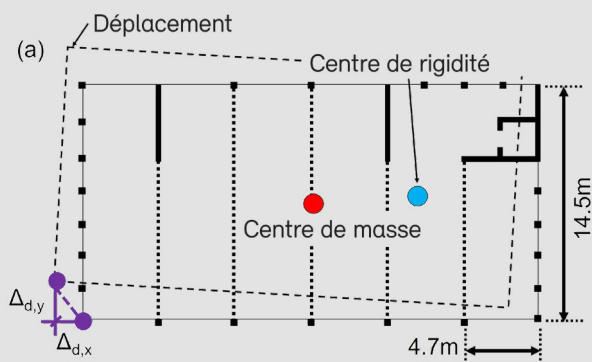
Exemple 7 : Vérification de l'aptitude au service de portes de sortie

Caserne de pompiers (détails, voir annexe B)

Les portes d'une caserne de pompiers doivent fonctionner également en cas de séisme afin que les véhicules d'intervention puissent sortir. Deux concepts en plan sont étudiés.

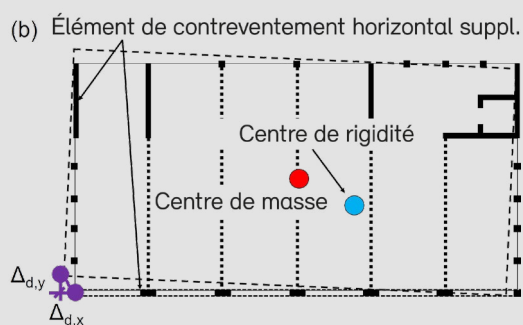
Le fabricant indique une valeur limite de 10 mm pour les déplacements relatifs sur la hauteur des portes.

Vérification : $\sqrt{(\Delta_{d,x})^2 + (\Delta_{d,y})^2} \leq 10 \text{ mm}$



Concept a

- Faible rigidité translationnelle dans le sens de la longueur et excentricité entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité
- → importants déplacements translationnels et torsionnels
- Vérification **non satisfaite**



Concept b

- Plus forte rigidité translationnelle et rotationnelle et excentricité réduite entre le centre de gravité des masses et le centre de rigidité
- → déplacements translationnels et torsionnels faibles
- Vérification **satisfaite**

7 Ouvrages existants

7.1 Exploitation, étude et conduite de projet

Vu le rôle important que jouent les ouvrages de la CO III existants en cas d'événement, il est nécessaire d'avoir connaissance de leur sécurité sismique. Cette information doit être consignée dans la convention d'utilisation avec les facteurs de conformité α_{eff} selon la norme SIA 269/8 pour la sécurité structurale et l'aptitude au service de la structure porteuse et des ENIE pertinents. Ceci permet au propriétaire de prendre des décisions concernant l'ouvrage dans le cadre de sa stratégie immobilière. Par conséquent, un rapport concernant l'examen de la sécurité sismique selon la norme sur la maintenance des structures porteuses (actuellement norme SIA 269/8) doit être disponible ou doit être établi par un ingénieur spécialisé en génie parasismique. En cas de modification des exigences d'utilisation ou de nouvelles connaissances au sujet de l'action sismique (ch. 6.1.2, norme SIA 269), ce rapport doit être mis à jour.

Lors de projets de construction touchant des ouvrages de la CO III existants, le rapport actuel d'examen de la sécurité sismique selon la norme SIA 269/8, y compris la recommandation d'intervention, doit être joint au dossier de construction. En outre, les facteurs de conformité pour la sécurité structurale et l'aptitude au service (pour la structure porteuse et les ENIE pertinents) doivent être intégrés dans la convention d'utilisation. Il faut y indiquer également les facteurs de conformité minimaux α_{min} et les facteurs de conformité α_{int} après intervention. Le contenu ayant trait spécifiquement à la sécurité sismique dans le cahier des charges et la convention d'utilisation d'un ouvrage de la CO III existant est illustré ci-après en prenant l'exemple d'un pont situé sur un axe d'intervention.

7.2 Examen

L'examen de la sécurité sismique des ouvrages de la CO III existants est axé, outre sur la structure porteuse, sur les ENIE et les parties de l'ouvrage qui sont indispensables à la garantie de l'aptitude au fonctionnement en cas de séisme.

7.2.1 Relevé d'état

Le relevé d'état des ouvrages existants de la CO III doit se faire de manière détaillée. Lorsque les plans font défaut ou sont introuvables, il faut procéder à des sondages et à des relevés approfondis afin de réunir les informations manquantes concernant la structure porteuse et les ENIE pertinents. Il convient en outre d'examiner si une étude de site spectrale est indiquée pour déterminer l'action sismique. La réponse sera affirmative surtout s'il subsiste des incertitudes importantes au sujet du terrain de fondation et de sa stratigraphie, ou si ce dernier ne correspond pas aux classes de terrain de fondation de la norme SIA 261.

7.2.2 Étude de la conception et des dispositions constructives de l'ouvrage

La conception et les dispositions constructives sont déterminantes pour le comportement de l'ouvrage sous action sismique. Ces éléments peuvent appuyer une décision en faveur d'une nouvelle construction en lieu et place de mesures d'intervention sur l'ouvrage existant. Les éventuels points faibles de la conception et des détails constructifs de la structure porteuse et des fondations doivent être repérés déjà lors de l'analyse de la structure porteuse ; ils pourront ainsi être pris en compte adéquatement lors de l'étude numérique.

Exemple 8 : Contenu du cahier des charges et de la convention d'utilisation ayant trait spécifiquement à la sécurité sismique

Pont à poutres en béton armé situé sur un axe d'intervention cantonal

Cahier des charges du projet

Fonction vitale

Le pont se situe sur un axe d'intervention qui, en cas de séisme, sert au sauvetage de vies humaines (transport de blessés vers les hôpitaux, transport de biens de secours vers les zones sinistrées).

Unités de fonction vitale

L'ensemble de l'ouvrage remplit une fonction vitale et constitue par conséquent une unité de fonction vitale.

Convention d'utilisation

La fonction vitale et les unités de fonction vitale correspondantes sont définies dans le cahier des charges du projet.

Classe d'ouvrages

CO III (en raison de la fonction vitale selon le cahier des charges du projet), facteur d'importance pour la sécurité structurale $\gamma_f = 1,5$, facteur d'importance pour l'aptitude au service $\gamma_f = 1,0$

Objectifs de protection

L'aptitude au fonctionnement du pont doit être garantie, et la protection des personnes doit être assurée. Il n'y a pas d'installations d'une valeur particulièrement élevée et l'ouvrage ne risque pas de porter atteinte à l'environnement.

Paramètres sismiques spécifiques au site

Spectre de réponse spécifique au site, reposant sur une étude de site spectrale, avec :

$$\alpha_{gd} = 1,6 \text{ m/s}^2 \text{ et } S = 1,0, T_B = 0,12 \text{ s}, T_C = 0,63 \text{ s}, T_D = 1,5 \text{ s}$$

(Ces valeurs doivent être utilisées lors de l'application des formules définies aux ch. 16.2.3 et 16.2.4 de la norme SIA 261 pour déterminer les spectres de réponse.)

Concept parasismique de la structure porteuse

Il s'agit d'un pont à poutres en béton armé à quatre travées, conçu comme une poutre continue. La reprise verticale des charges se fait par le biais des éléments de poutres (caissons creux) via les éléments d'appui (appareils d'appui), puis par les piles du pont, jusqu'aux fondations.

En l'état actuel, le contreventement dans la direction longitudinale du pont se fait par une pile. Sur les autres piles et au niveau des deux culées, la poutre du pont est supportée longitudinalement par des appuis coulissants. Le contreventement dans le sens transversal du pont est assuré par toutes les piles et les deux culées.

Comportement de la structure porteuse

Les dispositions constructives de l'armature existante entraînent un comportement non ductile de la structure porteuse en cas d'action sismique. Pour la planification des mesures de renforcement, un coefficient de comportement $q = 2$ est utilisé.

Sécurité sismique État actuel

$\alpha_{\text{eff}} = 0,5$ (structure porteuse), $\alpha_{\text{eff}} > 1,0$ (ENIE)

Points faibles : résistance au cisaillement de la pile de contreventement du pont et poinçonnement de la fondation de la pile sous l'action sismique dans la direction longitudinale du pont, déport vertical du joint de chaussée. (Voir rapport de l'examen sismique de l'ouvrage BE_0888.000-01 du 31.3.2022.)

Sécurité sismique État visé

$\alpha_{\text{int}} = 1,0$ (structure porteuse), $\alpha_{\text{int}} > 1,0$ (ENIE)

Pour les mesures prévues afin d'améliorer la sécurité sismique, voir le point suivant.

Mesures de sécurité sismique

À titre de mesures de sécurité sismique, les éléments d'appui coulissants dans la direction longitudinale (appareils d'appui) sont remplacés par des appuis fixes afin que l'action sismique puisse être reprise par toutes les piles. De plus, les piles existantes et leurs fondations sont renforcées ponctuellement afin d'augmenter leur robustesse, vu la modification du système statique (voir plans de concept dans l'annexe).

Sécurité sismique des ENIE

Le document « sécurité sismique des ENIE » est établi pour assurer une planification et un traitement adéquat de la sécurité sismique des ENIE à chaque phase du projet. Les ENIE existants (éclairage, balustrades, etc.) sont remplacés dans le cadre de la remise en état et du renforcement de l'ouvrage.

7.2.3 Évaluation qualitative de la sécurité sismique des ENIE

Une liste des ENIE pertinents est dressée, y compris leur emplacement, leur unité de fonction et leur durée d'utilisation restante ; les objectifs de protection et les situations de danger sont déterminés ; l'évaluation qualitative de la sécurité structurale et de l'aptitude au service est réalisée (voir exemple du tableau 4). Lorsque la vue d'ensemble des SBIE est élaborée, il est nécessaire de se coordonner avec le propriétaire et l'exploitant pour savoir quels SBIE sont présents dans l'ouvrage, où ils se situent (unité de fonction) et s'ils sont pertinents pour le maintien de la fonction vitale de l'ouvrage. L'évaluation qualitative par les ingénieurs spécialisés en génie parasismique attribue les ENIE pertinents à l'une des quatre catégories ci-dessous (voir aussi Figure 1) :

- Suffisamment sûr,
- Mesures simples / de faible portée requises,
- Investigations quantitatives détaillées supplémentaires requises,
- Coûts pour l'évaluation disproportionnés.

7.2.4 Étude numérique de la sécurité sismique

Il faut procéder à une étude numérique de la structure porteuse et des ENIE devant être étudiés plus en détail. La structure porteuse doit généralement faire l'objet d'investigations détaillées, à l'aide de procédures de calcul approfondies. Une telle procédure peut être la méthode du spectre de réponse ou celle basée sur les déformations, par exemple l'analyse en poussée progressive (pushover). Une étude numérique générale de la structure porteuse ne peut servir que d'aide à la décision à un stade précoce du projet, pour déterminer si l'ouvrage existant doit être remplacé par une nouvelle construction, ou de confirmation d'une sécurité sismique supposée suffisante. Pour les ENIE, le degré de détail que doit présenter l'étude numérique dépend des informations existantes et de la situation spécifique. L'expérience montre que seule une petite partie des ENIE pertinents peut ou doit faire l'objet d'une étude numérique.

L'examen de la sécurité structurale et de l'aptitude au service de la structure porteuse et des ENIE se fait de manière analogue à celle pour les nouvelles constructions

7.2.5 Évaluation de la sécurité sismique

Pour les ouvrages de la CO III existants, il faut atteindre, aussi bien pour la structure porteuse que pour les ENIE pertinents, un facteur de conformité minimal de $\alpha_{min} = 0,4$ pour l'examen de la sécurité structurale et de $\alpha_{min} = 0,7$ pour l'examen de l'aptitude au service (ch. 9.1.5 et 9.2.4, norme SIA 269/8).

7.2.6 Recommandation d'intervention

Au vu de son importance en cas d'événement, un ouvrage de la CO III existant doit, autant que possible, satisfaire pleinement aux exigences normatives en ce qui concerne la structure porteuse et les ENIE pertinents ($\alpha_{eff} \geq 1,0$). Un ouvrage de la CO III existant présentant un déficit en matière de sécurité sismique ($\alpha_{eff} < 1,0$) devrait être amélioré pour atteindre $\alpha_{int} \geq 1,0$ ou être remplacé par une construction nouvelle. La disposition plus élevée à investir dans la protection d'une fonction d'infrastructure pour les ouvrages la CO III selon la norme SIA 269/8 met en évidence la nécessité d'éventuelles mesures pour améliorer de la sécurité sismique.

La vérification des ENIE pertinents débouche sur les quatre recommandations d'intervention suivantes (voir aussi Figure 1) :

- Aucune mesure nécessaire ($\alpha_{eff} \geq 1,0$),
- Mesures simples / de faible ampleur requises, en règle générale réalisables durant l'exploitation normale, par exemple réalisation de fixations / ancrages simples d'ENIE qui ne sont pas (suffisamment) fixés.

- Élaboration de mesures de grande ampleur à mettre en œuvre dans le cadre d'un projet de remise en état,
- Remplacement dans le cadre du cycle de renouvellement ordinaire ou anticipé.

Si des ENIE pertinents existants présentent un déficit en matière de sécurité sismique ($\alpha_{eff} < 1,0$) et qu'il n'est pas possible d'y remédier par des mesures simples / de faible ampleur, il est souvent plus judicieux de les remplacer que de les examiner en détail puis de prendre des mesures de grande ampleur. Cette affirmation vaut également lorsque les coûts liés à l'évaluation sont disproportionnés.

Lorsque les mesures pour une amélioration de la sécurité sismique de l'ouvrage selon la norme SIA 269/8, chiffre 10, sont disproportionnées, un déficit existant ou résiduel après intervention peut être accepté pour les ouvrages existants de la CO III ($0,4 < \alpha_{eff}$ ou $\alpha_{int} < 1,0$). Il convient malgré tout de toujours élaborer une recommandation d'intervention ($\alpha_{int} = 1,0$) (ch. 9.4, SIA 269/8). Dans ce cas de figure, le propriétaire est libre de ne pas mettre en œuvre des mesures disproportionnées ou de ne le faire qu'ultérieurement. La justification et la stratégie pour combler le déficit de sécurité restant (mesures futures ou construction de remplacement) doivent être consignées dans la convention d'utilisation.

Figure 1
Recommandation d'intervention sur la base de l'évaluation

Évaluation	Mesures recommandées
Suffisamment sûr	Aucune mesure nécessaire ($\alpha_{eff} \geq 1,0$)
Mesures simples / de faible ampleur requises	Mesures simples/ de faible ampleur requises
Investigations quantitatives détaillées supplémentaires requises	Élaboration de mesures de grande ampleur à mettre en œuvre dans le cadre d'un projet de remise en état
Coûts pour l'évaluation disproportionnés	Remplacement dans le cadre du cycle de renouvellement ordinaire ou anticipé

Tableau 4

Exemple de tableau de relevé et d'examen des ENIE pertinents dans un ouvrage existant

ENIE	Emplacement	Unité de fonction	Nombre / Longueur	Objectif de protection			Situations de danger	Durée d'utilisation restante	Évaluation			Remarques concernant l'évaluation	Recommandation d'interventions *				Remarques concernant la recommandation d'intervention
				Fonction vitale	Protection des personnes	Limitation des dommages			Suffisamment sûr	Mesures simples, de faible ampleur requises	Investigations suppl. requises		Évaluation impossible	Aucune mesure nécessaire	Mesures simples, de faible ampleur requises	Mesure de grande ampleur nécessaire	
Maçonnerie non structurale, briques, t=12 cm	Rez, 1 ^{er} ét.	Entrée, espace bureau	15 m	x	x		Renversement	30 ans	x			Étude de la sécurité structurale nécessaire → résultat : sécurité sismique insuffisante	x				Mettre en place des fixations murales horizontales au sommet
	Façade en verre	Façade	div.	x			Chute d'éléments	10 ans	x			Étude de la sécurité structurale nécessaire → résultat : sécurité sismique suffisante	x				Sécurité structurale suffisante
Armoires de commande	1 ^{er} sous-sol	Centrale d'intervention	4	x	x		Renversement glissement	5 ans	x			Sécuriser contre glissement et renversement		x			Mettre en place des fixations murales en tête, ancrer les pieds
	Plafond suspendu	Notamment centrale d'intervention	800 m ²	x	x	x	Chute d'éléments du plafond	10 ans	x			Plafond sans contreventement, éléments du plafond simplement posés, non fixés contre la chute	x		x		Fixer les éléments du plafond des unités de fonction de la CO III pour éviter la chute (p. ex. avec des câbles); remplacer le plafond par un plafond de conception parasismique lorsque la durée d'utilisation restante est écoulée

* comme conséquence directe de l'évaluation qualitative ou comme conséquence directe de l'investigation approfondie

Bibliographie

- [1] SIA 260, Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses, 2013
- [2] SIA 261, Actions sur les structures porteuses, 2020
- [3] SIA 269/8, Maintenance des structures porteuses – Séismes, 2017
- [4] SIA 179, Les fixations dans le béton et dans la maçonnerie, 2019
- [5] SIA 112, Modèle : Étude et conduite de projet, 2014
- [6] EN 1992-4/AN, Eurocode 2 : Calcul des structures en béton – Partie 4 : Conception-calcul des éléments de fixation pour béton – Annexe nationale AN à SN EN 1992-4:2018, 2019
- [7] EN 1998-1, Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments, 2004
- [8] NTC18 : Norme Tecnica per le Costruzioni NTC, D.M. 17.01.2018, Suppl. ordinario n. 8 alla Gazzeta Ufficiale, Serie generale Nr. 42 (en italien), 2018
- [9] OFEV (éd.) 2016 : Sécurité sismique des éléments non structuraux et autres installations et équipements. Recommandations et précisions pour la pratique. État de 2023. Office fédéral de l'environnement, Berne. Connaissance de l'environnement, no 1643
- [10] Directive OFT / ESTI no 248, Sécurité sismique de la distribution d'énergie électrique en Suisse, 2020
- [11] Directive de l'IFP 2003 – Révision 2.1, Planification, construction et exploitation d'installations de transport par conduites dont la pression est supérieure à 5 bars, Inspection fédérale des pipelines, 2009
- [12] OFEV, Notice – Vérification de la sécurité sismique de bâtiments d'installations annexes des installations de transport par conduites sous surveillance fédérale, 2019
- [13] Directive OFT, Référence du dossier BAV-511.5-26/36/3/10/3, Sécurité sismique des installations ferroviaires, 2020
- [14] OFAC, Manuel, Évaluation de la sécurité sismique dans l'approbation de projets de construction de l'aviation civile, 2020
- [15] 814.012 Ordonnance sur les accidents majeurs (OPAM) du 27 février 1991, Conseil fédéral suisse, état du 1.8.2019
- [16] 732.1 Loi sur l'énergie nucléaire (LENu) du 21 mars 2003, Assemblée fédérale de la Confédération suisse, état du 1.1.2022
- [17] 732.11 Ordonnance sur l'énergie nucléaire (OENu) du 10 décembre 2004, Conseil fédéral suisse, état du 1.2.2019
- [18] 721.101 Loi fédérale sur les ouvrages d'accumulation (LOA) du 1^{er} octobre 2010, Assemblée fédérale de la Confédération suisse, état du 1.1.2013
- [19] 721.101.1 Ordonnance sur les ouvrages d'accumulation (OSOA) du 17 octobre 2012, Conseil fédéral suisse, état du 1.8.2018

Annexe A : Exemple d'un hôpital d'urgence

Situation initiale :

- Fonction vitale : hôpital d'urgence, CO III
- Action sismique : zone sismique Z2, classe de terrain de fondation C
- Sécurité structurale de la structure porteuse et des ENIE : déjà vérifiée
- Aptitude au service de l'ouvrage : *est à vérifier pour trois concepts de structures porteuses*
- Aptitude au service d'un réservoir d'oxygène : *est à vérifier*
- Facteur d'importance pour la vérification de l'aptitude au service $\gamma_f = 1,0$
- Calcul : méthode du spectre de réponse (basée sur les forces) avec modèle par éléments finis linéaire élastique 3D (éléments coques)
- Excentricité accidentelle prise en compte (ch. 16.5.2.7, norme SIA 261)
- Superposition directionnelle des composantes horizontales de l'action sismique selon EC8 (1,0 direction considérée + 0,3 direction orthogonale)
- Structure porteuse : béton armé, 8 étages
- Diminution de la rigidité due à la fissuration : 30 % de la rigidité non fissurée pour les dalles, 50 % pour les murs en béton armé
- Comportement de la structure porteuse : dimensionnement non ductile avec coefficient de comportement $q = 2$

1) Vérification de l'aptitude au service de l'ouvrage

Introduction :

- Aptitude au service de l'ouvrage : vérification pour des éléments non structuraux ductiles et fragiles (ch. 16.5.5.3, norme SIA 261)
- Limite de service : déplacement horizontal par étage de 1/200 de la hauteur d'étage pour les éléments incorporés ductiles et de 1/500 de la hauteur d'étage pour les éléments incorporés fragiles
- Vérification numérique au tableau 5

Demande en déplacement

Pour le déplacement horizontal par étage, il faut considérer le plus grand déplacement en plan dans une direction principale²². Dans le présent exemple, l'endroit des déplacements déterminants est indiqué dans la figure 2. Dans l'analyse basée sur les forces utilisée ici, les déplacements sont calculés en multipliant les déformations élastiques linéaires établies lors du dimensionnement par le coefficient de comportement q . L'excentricité accidentelle est prise en compte selon la norme SIA 261, ch. 16.5.2.7. Comme les composantes de l'action sismique s'exercent de façon simultanée dans les deux directions principales pendant un séisme, mais cela pas à 100 %, les résultats présentés dans l'exemple prennent en compte la superposition directionnelle de l'action selon EC8 1 : 2004 par. 4.3.3.5.1(3) [7]²³.

Concept de la structure porteuse (a)

Le bâtiment (fig. 2a) présente un noyau central de contreventement et des colonnes pendulaires ne contribuant pas au contreventement horizontal. Le noyau central de contreventement est légèrement excentré et conçu de manière irrégulière. Ceci entraîne une grande excentricité entre le centre de rigidité et le centre de masse qui, associée à une rigidité torsionnelle relativement faible en plan, induit une forte torsion avec des déformations torsionnelles importantes en cas de séisme. En outre, le noyau central présente une rigidité horizontale faible, ce qui cause d'importants déplacements translationnels. En l'état, ce concept n'est pas conforme aux exigences parasismiques, comme le montre la vérification de l'aptitude au service, car ni la valeur limite pour les éléments incorporés fragiles ni celle pour les éléments incorporés ductiles ne peuvent être satisfaites.

²² Pour autant qu'il ne s'agisse pas de valeurs locales qui ne sont ni déterminantes pour le comportement de la structure porteuse, ni pour celui des ENIE pertinents.

²³ Superposition directionnelle des composantes horizontales de l'action sismique selon EC8 1:2004 par. 4.3.3.5.1(3) : 1,0 direction considérée + 0,3 direction orthogonale.

Concept de la structure porteuse (b)

Le deuxième concept (fig. 2b) comporte un mur de contreventement supplémentaire dans la direction x. Celui-ci est disposé en plan de telle sorte que le centre de rigidité et le centre de masse présentent moins d'écart et que la rigidité torsionnelle de la structure porteuse est plus grande, ce qui diminue la torsion. De plus, la rigidité translationnelle de la structure porteuse dans la direction x est plus grande. Dans ce concept, la vérification de l'aptitude au service pour les éléments incorporés ductiles est remplie. Pour remplir également la vérification pour les éléments incorporés fragiles, des éléments de contreventement supplémentaires sont nécessaires.

Concept de la structure porteuse (c)

Dans le troisième concept (fig. 2c), le noyau principal est déplacé, et deux autres noyaux rigidifient la structure porteuse. Le centre de rigidité et le centre de masse sont proches l'un de l'autre et la rigidité torsionnelle de la structure porteuse est très grande. Il y a donc peu de déformation de torsion en cas de séisme. De plus, la

rigidité translationnelle de la structure porteuse dans les deux directions est beaucoup plus importante que dans les deux premiers concepts. Ainsi, les déplacements résultants sont significativement plus faibles. Dans cette configuration, la vérification de l'aptitude au service pour les éléments incorporés ductiles est clairement remplie, et la vérification pour les éléments incorporés fragiles est également satisfaite.

Conclusion

Afin de satisfaire à la vérification de l'aptitude au service pour les éléments incorporés fragiles, un bâtiment de cette hauteur doit être contreventé comme dans le concept (c). D'autres possibilités de contreventement de la structure porteuse sans ajout de deux noyaux supplémentaires, seraient l'ajout de refends dans le plan des façades ou d'un système statique modifié. Les colonnes pendulaires en façade pourraient être remplacées sur toute la longueur par des piliers encastrés dans des poutres massives, ce qui transformerait les façades en cadres autoportants.

Figure 2

Plan de l'ouvrage, y compris figure de déformation déterminante et déplacement d'étage, (a) Concept non parasismique, (b) Concept parasismique respectant la valeur limite pour les éléments incorporés ductiles, (c) Concept parasismique respectant la valeur limite pour les éléments incorporés fragiles. Les surfaces jaunes indiquent les ouvertures en dalles.

(Remarque : En raison de la disposition concentrée des ouvertures dans les dalles et de la mauvaise liaison qui en résulte, il est nécessaire de prévoir de fortes armatures de liaison entre certains murs principaux et les dalles. Ceci est relativement facile à réaliser du point de vue technique pour une nouvelle construction, contrairement à une construction existante.)

Plans des trois concepts de la structure porteuse

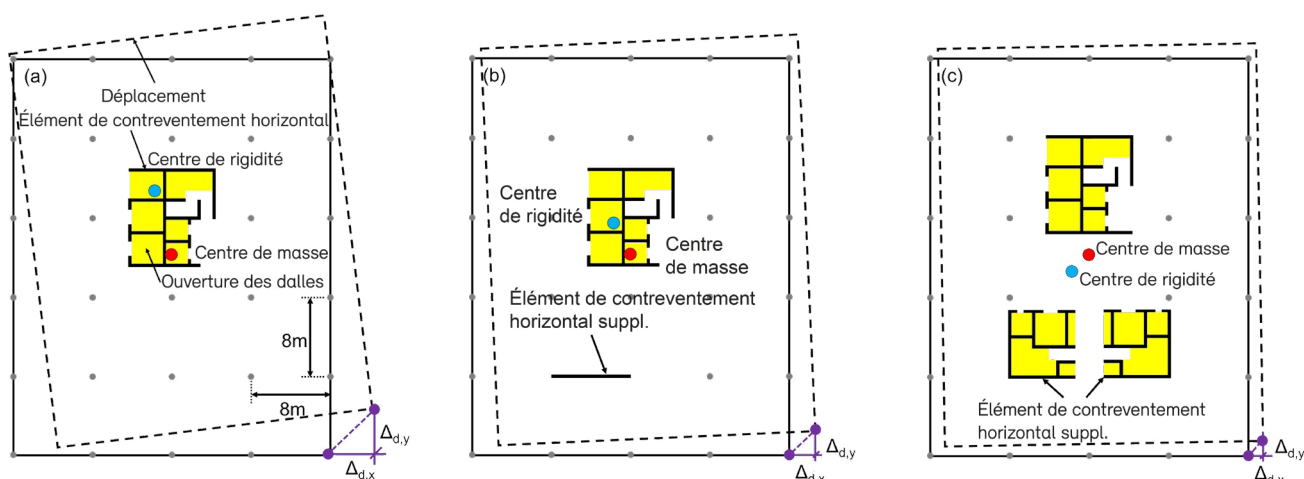


Figure 3

Spectres de dimensionnement de l'action horizontale. La position de la première période propre pour chaque concept de la structure porteuse est indiquée selon les figures 2 a-c, ce qui permet une comparaison approximative des demandes en déplacement au centre de rigidité pour les trois concepts.

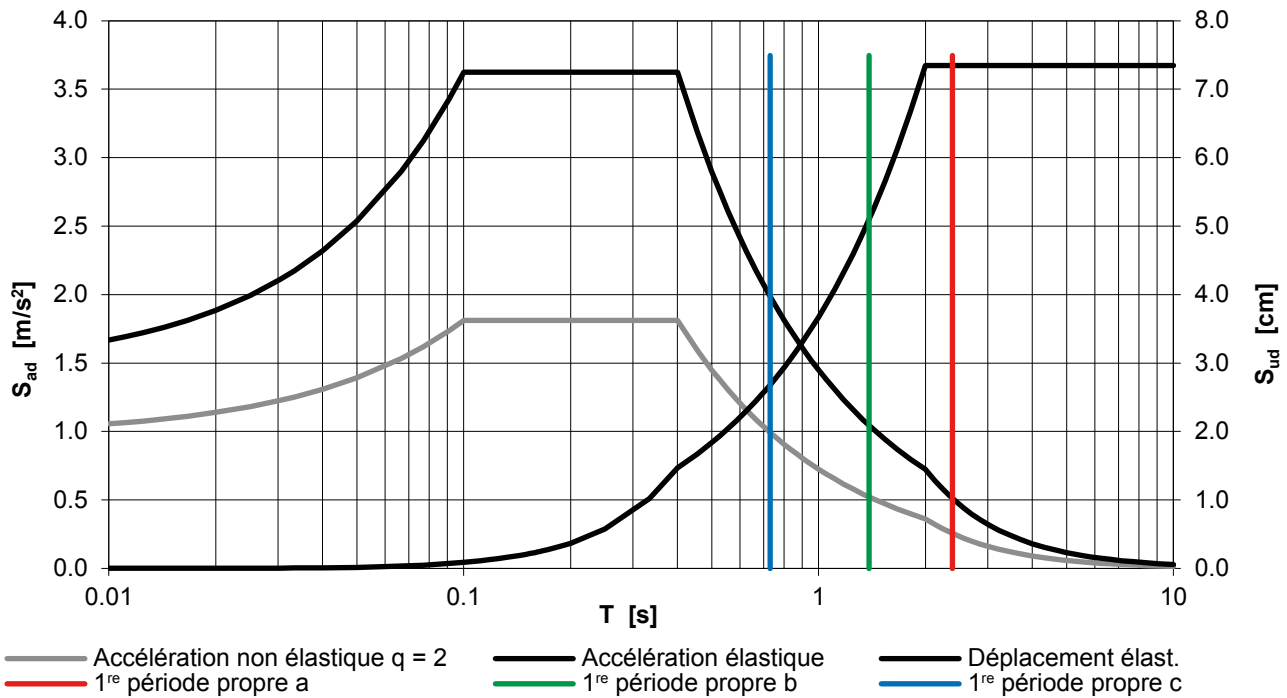


Tableau 5

Vérification numérique

avec hauteur d'étage $h_{st} = 3,5 \text{ m}$

Concept de la structure porteuse					
		(a)	(b)	(c)	
Déplacement limite pour des éléments incorporés ductiles	$\Delta_{Rd,duktil} \text{ [mm]}$		17,5		= $h_{st}/200$... Valeur limite du déplacement d'étage horizontal
Déplacement direction x	$\Delta_{d,x} \text{ [mm]}$	19,6	11,6	7,3	Déplacement d'étage dans la direction x au point déterminant
Degré de conformité direction x	n [-]	0,9	1,5	2,4	= $\Delta_{Rd,duktil}/\Delta_{d,x}$ (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)
Déplacement direction y	$\Delta_{d,y} \text{ [mm]}$	15,1	9,7	6,6	Déplacement d'étage dans la direction y au point déterminant
Degré de conformité direction y	n [-]	1,2	1,8	2,7	= $\Delta_{Rd,duktil}/\Delta_{d,y}$ (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)

Concept de la structure porteuse					
		(a)	(b)	(c)	
Déplacement limite pour des éléments incorporés fragiles	$\Delta_{Rd,spröd} \text{ [mm]}$		7,0		= $h_{st}/500$... Valeur limite du déplacement d'étage horizontal
Déplacement direction x	$\Delta_{d,x} \text{ [mm]}$	19,6	11,6	7,3	Déplacement d'étage dans la direction x au point déterminant
Degré de conformité direction x	n [-]	0,4	0,6	1,0	= $\Delta_{Rd,spröd}/\Delta_{d,x}$ (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)
Déplacement direction y	$\Delta_{d,y} \text{ [mm]}$	15,1	9,7	6,6	Déplacement d'étage dans la direction y au point déterminant
Degré de conformité direction y	n [-]	0,5	0,7	1,1	= $\Delta_{Rd,spröd}/\Delta_{d,y}$ (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)

2) Vérification de l'aptitude au service du réservoir d'oxygène de l'ouvrage

Introduction :

- Aptitude au service du réservoir d'oxygène en tant que ENIE pertinent : pour préserver la fonction vitale de l'ouvrage en cas de séisme, la sortie de l'oxygène du réservoir ainsi que sa circulation doivent être garanties, c'est-à-dire que le raccord doit être capable d'absorber le déplacement relatif qui se produit entre le tuyau et le réservoir.
- Limite de service : déplacement relatif horizontal maximal pouvant être absorbé de 15 mm, caractéristique indiquée dans le certificat du fabricant.
- Vérification numérique au tableau 6.

Exigences

Le réservoir d'oxygène est indispensable au maintien de la fonction vitale de l'hôpital d'urgence. Le réservoir se trouve au 6^e étage du bâtiment de 8 étages. Différentes vérifications de la sécurité structurale visant à garantir la stabilité du réservoir lors d'un séisme ont déjà été effectuées. À l'état limite de la sécurité structurale, les raccords de tuyau pourraient être endommagés, car l'aptitude

au service n'est alors plus exigée. En revanche, à l'état limite de l'aptitude au service, le réservoir, y compris ses raccords de tuyau, doit encore fonctionner. La vérification de l'aptitude au service du réservoir, y compris de ses raccords de tuyau, est nécessaire (fig. 4).

Demande et capacité en déplacement et vérification

Étant donné que le tuyau est fixé à la structure porteuse du plafond, le raccord de tuyau doit pouvoir absorber le déplacement maximal de l'étage plus le mouvement contraire et simultané du réservoir. Le déplacement horizontal maximal du 6^e étage, d'env. 7 mm, est déduit du calcul par éléments finis, voir **partie 1) et concept de la structure porteuse (c)** de l'exemple. Le déplacement horizontal du réservoir au niveau du raccord est déduit des calculs relatifs au réservoir et s'élève à environ 5 mm. Il en résulte donc une demande de déformation au niveau du raccord de tuyau d'environ 12 mm au total. Pour le système de raccord flexible du réservoir choisi et annoncé par le concepteur, un certificat prouve que les déplacements relatifs entre le tuyau et le réservoir peuvent être absorbés jusqu'à 1,5 cm (valeur de dimensionnement de la capacité en déplacement). La vérification est donc satisfaite.

Figure 4

Illustration de quelques vérifications à effectuer concernant la sécurité structurale (liste non exhaustive) et l'aptitude au service, afin de garantir la stabilité et le maintien du fonctionnement en cas de séisme.

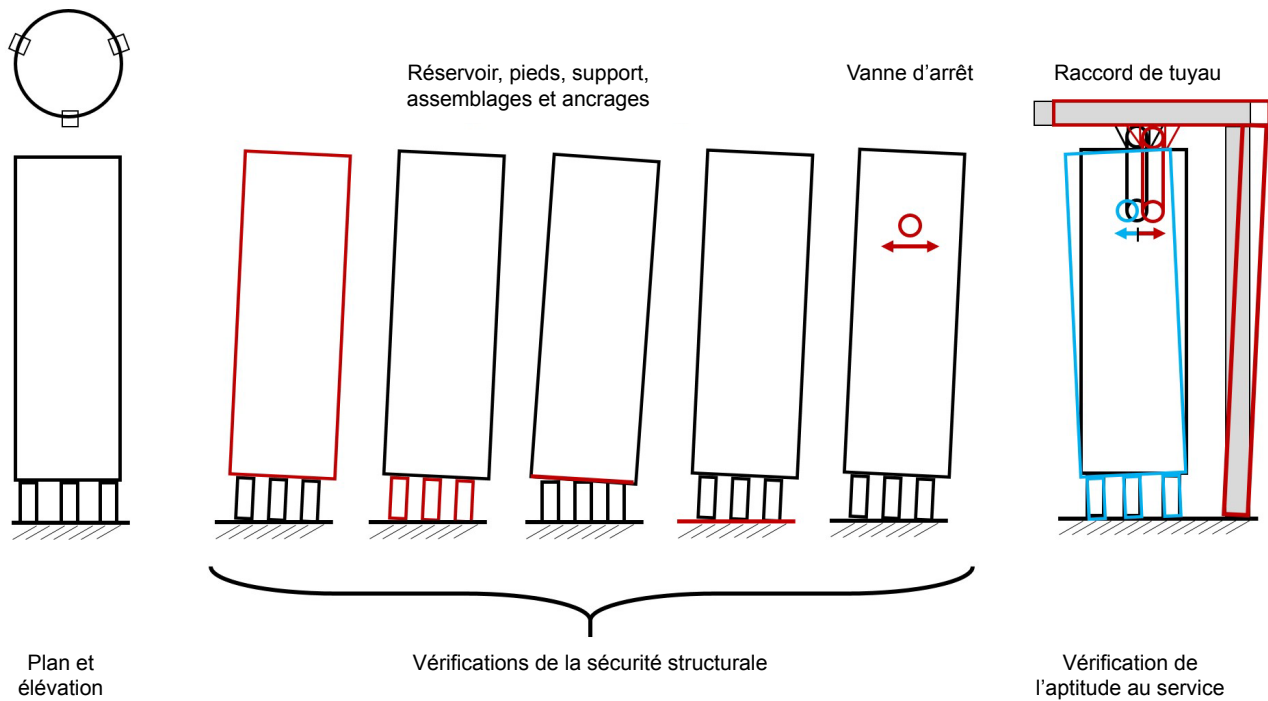


Tableau 6

Vérification numérique

Capacité en déplacement	$u_{Rd,Anschl}$ [mm]	15	Capacité en déplacement du raccord du réservoir
Déplacement	$u_{d,Anschl}$ [mm]	12	Demande en déplacement au niveau du raccord : déplacement d'étage de 7 mm (rouge) selon les calculs de la partie 1) du concept de la structure (c) + déplacement de 5 mm à hauteur du raccord (bleu) suite à la déformation du réservoir due à son oscillation selon les calculs relatifs au réservoir
Degré de conformité	n [-]	1,3	u_{Rd}/u_d (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)

Annexe B : Exemple d'une caserne de pompiers

Situation initiale :

- Fonction vitale : caserne de pompiers, CO III
- Action sismique : zone sismique Z3a, classe de terrain de fondation B
- Sécurité structurale de la structure porteuse et des ENIE : déjà vérifiée
- Aptitude au service de l'ouvrage : déjà vérifiée
- Aptitude au service des portes du hangar : *est à vérifier*
- Facteur d'importance pour la vérification de l'aptitude au service : $\gamma_f = 1,0$
- Calcul : méthode du spectre de réponse (basée sur les forces) avec modèle par éléments finis linéaire élastique 3D (éléments coques)
- Excentricité accidentelle prise en compte (ch. 16.5.2.7, norme SIA 261)
- Superposition directionnelle des composantes horizontales de l'action sismique selon EC 8 (1,0 direction considérée + 0,3 direction orthogonale)
- Structure porteuse : structure mixte bois-béton armé (béton armé au rez-de-chaussée, murs en bois et dalles mixtes bois-béton aux étages supérieurs), 4 étages
- Diminution de la rigidité due à la fissuration : 30 % de la rigidité non fissurée pour les dalles, 50 % pour les murs en béton armé
- Comportement de la structure porteuse : dimensionnement non ductile avec coefficient de comportement $q = 2$

Vérification de l'aptitude au service des portes du hangar

Introduction :

- Vérification de l'aptitude au service des portes du hangar en tant que ENIE pertinent : pour préserver la fonction vitale de l'ouvrage en cas de séisme, les portes doivent pouvoir s'ouvrir même après un séisme, c'est-à-dire que le mécanisme d'ouverture doit pouvoir absorber les déplacements relatifs qui se produisent.
- Limite de service : déplacement relatif horizontal maximal au rez-de-chaussée = 10 mm selon les indications du fabricant des portes.
- Vérification numérique au tableau 7

Exigences et capacité en déformation

Les portes d'une caserne de pompiers doivent rester fonctionnelles même en cas de séisme, afin de garantir la sortie des véhicules d'intervention. Le fabricant des portes doit garantir l'état de fonctionnement de celles-ci jusqu'à un déplacement relatif horizontal de la structure porteuse de 10 mm au-dessus de la hauteur de porte. En cas de déformations plus importantes, le bon fonctionnement du mécanisme d'ouverture ne peut plus être garanti. Il convient d'examiner si, en cas de séisme, le déplacement horizontal de l'étage de la structure porteuse reste inférieur à la valeur limite précitée.

Concepts de la structure porteuse

Deux configurations différentes en plan du rez-de-chaussée sont étudiées, comme le montre la figure 5. Dans le premier concept (a), des colonnes pendulaires sont placées entre les portes. En outre, une grande partie du rez-de-chaussée comporte une façade entièrement vitrée avec des colonnes pendulaires. Seules les cages d'escalier et d'ascenseur ainsi qu'un autre mur intérieur peuvent être utilisés pour le contreventement horizontal. De ce fait, le centre de rigidité est fortement excentré, et la rigidité horizontale dans les directions x et y est relativement faible, ce qui entraîne des déplacements en torsion et en translation relativement importants. Dans le deuxième concept (b), un cadre massif a été construit autour des portes à la place des colonnes pendulaires. De plus, la rangée de fenêtres sur le côté gauche a été partiellement obstruée par un mur de refend. Ces mesures réduisent l'excentricité du centre de rigidité et augmentent la rigidité horizontale du bâtiment dans les deux directions. Ainsi, les déplacements horizontaux en cas de séisme sont nettement réduits.

Figure 5

Plan du rez-de-chaussée de l'ouvrage, y compris figure de déformation déterminante et déplacement de l'étage, (a) Concept de la structure porteuse avec colonnes pendulaires entre les portes, (b) Concept de la structure porteuse avec cadre autour des portes et mur extérieur supplémentaire.

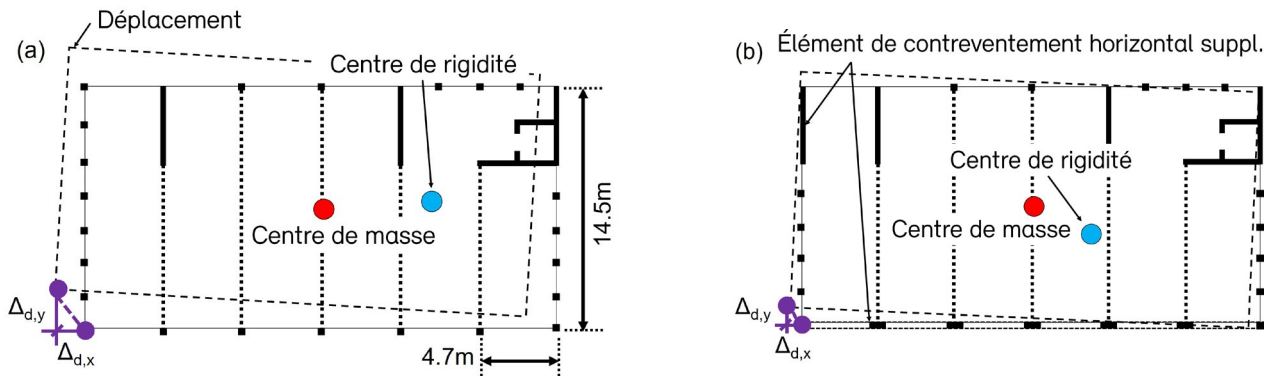


Tabelle 7

Vérification numérique

avec hauteur d'étage $h_{st} = 3,5$ m

		Concept de la structure porteuse		
		(a)	(b)	
Déplacement limite	$\Delta_{Rd,res}$ [mm]	10,0		Valeurs limites du déplacement horizontal du bord supérieur de la porte selon le fabricant
Déplacement direction x	$\Delta_{d,x}$ [mm]	7,8	4,7	Déplacement dans la direction x au point déterminant
Déplacement direction y	$\Delta_{d,y}$ [mm]	9,7	3,8	Déplacement dans la direction x au point déterminant
Résultante	$\Delta_{d,res}$ [mm]	12,4	6,0	Résultante des déplacements
Degré de conformité	n [-]	0,80	1,65	$\Delta_{Rd,res}/\Delta_{d,res}$ (si $\geq 1,0$ vérification satisfaite)

Annexe C : Prescriptions normatives pour la CO III

Les exigences normatives relatives aux ouvrages de la CO III énumérées dans le tableau C1 se rapportent à la conception de nouvelles constructions.

Tableau C1

Exigences applicables aux ouvrages existants de la CO III dans les normes pour nouvelles constructions SIA 260 à 267 et 179, état de 2022 (citations en italique)

Certaines de ces exigences s'appliquent également aux ouvrages existants dans la mesure où les normes de maintenance (SIA 269 et 269/x) y font référence, voir tableau C2.

Norme	Chiffre	Exigences	Explications
SIA 260	4.4.4.1	Les vérifications de l'aptitude au service seront effectuées pour les situations de dimensionnement [...] accidentelles, (par exemple séisme touchant la classe d'ouvrages III).	
SIA 260-C1	4.4.4.5	Définition de la valeur de dimensionnement de l'action accidentelle A_d et des déplacements horizontaux acceptés par étage lors de la vérification de l'aptitude au service des nouvelles constructions : <i>[...] la valeur de dimensionnement de l'action accidentelle A_d [est définie] dans la norme SIA 261 [...]. Pour la vérification de l'aptitude au service pour les bâtiments avec des éléments de construction secondaires, les déplacements horizontaux par étage seront limités à 1/500 de la hauteur d'étage pour un comportement fragile des éléments de construction secondaires, respectivement à 1/200 de la hauteur d'étage pour un comportement ductile.</i>	
SIA 261	16.1.5	La vérification de l'aptitude au service pour les situations de dimensionnement accidentelles telles que les séismes se limite à la classe d'ouvrages III.	
SIA 261	16.3.1.2	Définition des classes d'ouvrages, des facteurs d'importance correspondants et des vérifications à effectuer.	
SIA 261	16.4.1	Définition des mesures et de leur caractère obligatoire applicables aux bâtiments en fonction de leur classe d'ouvrages. Mesures : • Vue en plan, dispositions constructives • Construction • Fondation Dispositions relatives à l'importance d'une conception parasismique pour les bâtiments CO III.	Principes pour les dispositions relatives à la conception parasismique, voir également le ch. 5.1.
SIA 261	16.5.5.3	<i>Pour la vérification de l'aptitude au service d'ouvrages de la classe d'ouvrage III, les déformations horizontales sont à limiter à 1/200 de la hauteur d'étage en présence d'éléments non-structuraux non ductiles et à 1/500 de la hauteur d'étage en présence d'éléments non-structuraux ductiles.</i>	Valeurs limites identiques à celles indiquées dans la norme SIA 260, ch. 4.4.4.5.
SIA 261	16.7.1	<i>Si, en cas de défaillance, des éléments de construction non-structuraux d'ouvrages des classes d'ouvrages I, II et III peuvent mettre en danger des personnes ou endommager la structure porteuse, il est nécessaire de vérifier la sécurité structurale pour l'élément de construction lui-même, ses assemblages, ses fixations ou ses ancrages. Les mêmes exigences s'appliquent pour les éléments de construction non structuraux des ouvrages des classes d'ouvrages II et III dont la défaillance peut porter préjudice au fonctionnement d'installations importantes, endommager des équipements de grande valeur, ou menacer l'environnement.</i>	
SIA 179	2.1.4	<i>Le calcul des fixations avec éléments métalliques pour des structures en béton doit être effectué sur la base des prescriptions de SN EN 1992-4.</i>	
NA SN EN 1992-4	C.2(2)	Répartition en catégories de performance des éléments de fixation selon la catégorie d'ouvrage ; pour CO III : catégorie de performance C2.	
SN EN 81-77:2018	6.2	En fonction de la catégorie sismique de l'ascenseur (catégorie sismique définie sur la base de la valeur calculée de l'accélération), dispositions concernant les exigences de sécurité et les mesures de protection pour les ascenseurs	

Les exigences normatives définies dans le tableau C2 applicables aux bâtiments existants de la CO III concernent l'examen et l'amélioration de la sécurité sismique dans le cadre de projets de remise en état et de modification.

Tableau C2

Exigences applicables aux ouvrages existants de la CO III dans les normes de maintenance SIA 269 et 269/x, état de 2022 (citations en italique)

Norme	Chiffre	Exigences	Explications
SIA 269/8	2.1.1.3	Dans le cadre de l'étude numérique de la sécurité sismique, pour la CO III, la vérification de l'aptitude au service est obligatoire.	
SIA 269/8	3.4	<i>Pour vérifier l'aptitude au service des ouvrages de la classe d'ouvrages III, on applique l'action sismique selon les normes SIA 260 et SIA 261.</i>	
SIA 269/8	9.1.6	Définition des facteurs de conformité minimaux $\alpha_{\min} = 0,4$ pour la sécurité structurale des bâtiments existants CO III	
SIA 269/8	9.1.7	<i>Pour les ouvrages soumis à l'ordonnance sur les accidents majeurs qui requièrent une étude de risque, le degré de protection est fixe en fonction de cette étude. Tous les autres ouvrages qui représentent une menace pour l'environnement doivent satisfaire aux exigences imposées à la classe d'ouvrages CO II, CO II-i ou CO III, selon la menace pour l'environnement qu'ils génèrent.</i>	
SIA 269/8	9.2.1	<i>L'évaluation numérique de l'aptitude au service n'est exigée que pour la classe d'ouvrages CO III.</i>	
SIA 269/8	9.2.2	<i>L'évaluation numérique de l'aptitude au service est réalisée de la même manière que l'évaluation numérique de la sécurité structurale.</i>	
SIA 269/8	9.2.3	<i>Dans l'évaluation de l'aptitude au service, le facteur de conformité [...] est déterminé en comparant l'action sismique AC, pour laquelle les valeurs limites des déplacements horizontaux selon la norme SIA 260 sont atteints, avec valeur d'examen de l'action sismique $A_{d,act}$ [...].</i>	selon correctif C1 à la norme SIA 269/8 du 1.11.2022
SIA 269/8	9.2.4	<i>Le facteur de conformité minimal pour l'aptitude au service α_{\min} est de 0,7.</i>	un facteur d'importance γ_f de 1,0 est appliqué pour la valeur d'examen de l'action sismique $A_{d,act}$ (norme SIA 261, tableau 25)
SIA 269/8	10.4.1	<i>On distingue les fonctions d'infrastructure vitales (CO III) et importantes (CO II-i).</i>	
SIA 269/8	10.4.5	Assignment des fonctions d'infrastructure aux classes d'ouvrage avec des caractéristiques et des exemples. Caractéristiques : <i>Fonction d'infrastructure vitale : l'ouvrage est indispensable à la fonction d'infrastructure vitale considérée ; il n'y a guère de redondance et les possibilités de compensation sont très limitées.</i>	

Les exigences relatives aux bâtiments de la CO III énumérées dans le tableau C3 sont issues de la directive ESTI n° 248 [10] (*Sécurité sismique de la distribution d'énergie électrique en Suisse*), de la directive IPF 2003 [11], [12] (*Planification, construction et exploitation d'installations de transport par conduites avec des pressions > 5 bars*), du manuel de l'OFAC [14] (*Évaluation de la sécurité sismique dans l'approbation de projets de construction de l'aviation civile*) et de la directive OFT *Sécurité sismique des installations ferroviaires* [13]. Les exigences mentionnées dans ce tableau ne concernent que les domaines d'application et les ouvrages traités dans ces directives.

Tableau C3

Exigences applicables aux ouvrages de la CO III dans les directives, état de 2022 (citations en italique).

Seules les exigences allant au-delà des dispositions des normes ou qui les complètent sont indiquées ici.

Directive	Chiffre	Exigences	Explications
Directive ESTI n° 248	3.3	Les sous-stations dont la plus haute tension est supérieure ou égale à 220 kV doivent être assignées à la CO III. Les sous-stations dont la plus haute tension est inférieure à 220 kV peuvent logiquement aussi être assignées à la CO III si la sécurité de l'approvisionnement est particulièrement importante. Il relève de la responsabilité propre des exploitants d'évaluer leur importance.	
Directive ESTI n° 248	4.4	Exigence concernant le mou nécessaire qui doit exister dans le conducteur entre deux appareils à haute tension pour des installations CO III (30 – 200 mm en fonction de la fréquence propre fondamentale de l'appareil et de la zone sismique)	
Directive de IPF 2003, révisée 2.1	3.3.9.2	<i>La sécurité parasismique doit être vérifiée conformément à la norme SN 505261 (SIA 261), classe d'ouvrage 3, ou aux normes européennes correspondantes.</i>	Les objectifs de protection [12] sont précisés au chapitre 2 du manuel.
Manuel OFAC	4 et annexe A	Informations relatives à la classification du bâtiment dans une classe d'ouvrage, y compris les exigences applicables aux bâtiments CO III concernant les documents à soumettre.	
Directive OFT	3.3 I.	<i>En principe, aucun élément de l'infrastructure ferroviaire n'est attribué à la classe d'ouvrage III, puisque le chemin de fer n'assume aucune fonction d'infrastructure vitale (dit « Lifeline »).</i>	