



Directive

Sécurité sismique des installations ferroviaires

Référence du dossier : BAV-511.5-26/36/3/10/3
Date : 24.06.2020
Version : V 1.0_f

Projet mis en consultation

Nous vous prions de bien vouloir vérifier ce projet et d'adresser vos avis éventuels dans l'ordre des chiffres de la norme à:

luigi.degidio@bav.admin.ch

Veuillez utiliser le formulaire électronique prévu à cet effet que vous trouverez sur www.bav.admin.ch > Publications > Consultations > Débats consultatifs de l'OFT. Il ne nous sera malheureusement pas possible de tenir compte d'avis présentés sous d'autres formes (courrier, fichiers pdf).

Le délai de mise en consultation expire le **31 août 2020**.

Ce projet n'a aucune validité et ne doit pas être appliqué.



Mentions légales

Éditeur :	Office fédéral des transports, 3003 Berne, Division Sécurité, en collaboration avec l'Office fédéral de l'environnement, 3003 Berne, Centrale de coordination pour la mitigation des séismes
Direction :	Sven Heunert (BAFU, Direction générale) Luigi d'Egidio (BAV)
Groupe d'accompagnement :	Kazim Altintac (SBB) Karl Baumann (RhB) Daniel Blaser (SBB) Herbert Friedl (SBB) Tiziano Furegati (SBB) Martin Isler (BLS) Christian Kaufmann (SBB) Daniel Trachsel (BLS) Nick Wenger (BABS)
Collaborateurs mandatés :	Yves Mondet (Basler & Hofmann AG) Ehrfried Kölz (Risk&Safety AG)
Distribution :	Publié sur Internet de l'OFT
Versions linguistiques :	Allemand (original) Français (Italien)

Gestion interne de la documentation OFT

Stade de planification Q :	directive, public
Accolage QM-SI :	QM-Doku_List01.2_Field bt_Examination PGV et BBw.xls
Domaine d'application Processus OFT :	OFT 411

La présente directive entre en vigueur le 1^{er} novembre 2020.

Office fédéral des transports

Office fédéral des transports

Rudolf Sperlich
Sous-directeur, Division Sécurité

Fritz Ruchti
Chef de section Technique de construction

Editions / histoire des modifications

Version	Date	Auteur	Modifications	État
1.0_f	24.06.202	Luigi d'Egidio	première édition	en revue

* les états suivants sont prévus : en travail, en revue, en vigueur/avec visa, remplacé

Table des matières

Préambule	4
1 Introduction	5
1.1 But et objectif	5
1.2 Champ d'application	5
1.3 Structure	6
1.4 Liste des abréviations	6
2 Documents sur la sécurité sismique	7
2.1 Convention d'utilisation	7
2.2 Base du projet	8
2.3 Rapport géotechnique	8
2.4 Calculs statiques et dynamiques	8
2.5 Rapport d'examen de l'expert	8
3 Dispositions spécifiques aux séismes	9
3.1 Niveau de sécurité pour nouveaux ouvrages	9
3.2 Recommandation d'intervention et évaluation de la proportionnalité pour ouvrages existants ..	9
3.3 Détermination de la classe d'ouvrage (CO) pour ouvrages nouveaux et existants	10
3.4 Éléments non structuraux, installations et équipements ENIE	14
4 Informations pour la détermination de la proportionnalité pour ouvrages existants	16
4.1 Durée d'utilisation restante d_r	16
4.2 Occupation par des personnes PB	16
4.3 Valeur de l'ouvrage BW	17
4.4 Facteur de risque pour l'ouvrage BRF	17
4.5 Valeur des objets SW	18
4.6 Facteur de risque pour les objets SRF	18
4.7 Coûts d'interruption UK	18
4.8 Facteur de risque lié à l'interruption URF	19
4.9 Montant investi pour la sécurité SIC_M	19
Annexe A	20
Exemple d'application: viaduc	20
Annexe B	28
Exemple d'application : Bâtiment avec centre de commande	28
Répertoire	36

Référence du dossier : BAV-511.5-26/36/3/10/3

Préambule

En préparation

1 Introduction

Une application ciblée des dispositions légales et normatives relatives à la sécurité sismique des installations ferroviaires est d'une grande importance afin de garantir que ces dernières soient conçues pour résister aux séismes. Il incombe au gestionnaire d'infrastructure (GI) et aux tiers mandatés par celui-ci d'observer et de respecter les prescriptions en matière de sécurité sismique des installations ferroviaires mentionnées dans les lois, les ordonnances, les directives et les normes.

1.1 But et objectif

La présente directive relative à la sécurité sismique des installations ferroviaires standardise et simplifie l'interprétation et l'application de ces prescriptions. Elle constitue la base de la mise en œuvre des dispositions légales et normatives relatives à la sécurité sismique de l'infrastructure ferroviaire qui y sont mentionnées. Les prescriptions et les exigences normatives correspondantes concernant la documentation du projet, les objectifs de protection et le degré de protection (détermination de la classe d'ouvrage) ainsi que l'évaluation de la proportionnalité des mesures de sécurité sismique sont précisées et expliquées spécifiquement pour le domaine ferroviaire. Dans le cas des projets ferroviaires, la directive offre une plus grande sécurité de planification pour le GI et pour les tiers mandatés par celui-ci.

1.2 Champ d'application

En premier lieu, les principes et les règles énumérés à l'art. 2 de l'ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fers du 23 novembre 1983 (OCF) [2], qui doivent être pris en compte dans la planification et la construction des ouvrages et des installations en tant que condition préalable à une exploitation sûre et à une maintenance appropriée, sont applicables. Les exigences normatives en matière de sécurité sismique pour les ouvrages d'infrastructure ferroviaire garantissent non seulement la protection des personnes, mais aussi la fonction de l'infrastructure.

Cette directive s'applique à toutes les installations ferroviaires, que leur construction ou leur modification soit soumise à autorisation (art. 18ff LCdF [1]) ou non (art. 1a OPAPIF [3]). Elle s'applique autant aux nouveaux ouvrages¹ qu'à la maintenance d'ouvrages existants¹, mais ne couvre pas leur exploitation. Elle couvre les éléments suivants de l'infrastructure ferroviaire qui sont pertinents en matière de prévention structurelle des séismes :

- Ouvrages d'art et autres ouvrages
 - Ponts, ponceaux, couvertures (galeries)
 - Ouvrages en terre (remblais, tranchées)
 - Ouvrages de soutènement
 - Éléments d'accès des passagers (passages inférieurs et supérieurs pour piétons, gares souterraines)
 - Marquises et abris de quais
 - Tunnels
- Bâtiments
 - Gares, y compris points de vente
 - Bâtiments de technique ferroviaire (postes de commande, postes d'enclenchement)
 - Installations de service / Ateliers / Immeubles de bureaux

L'accent est mis sur les éléments présentant un potentiel de dommage en cas d'événement. Cela pré-suppose une vulnérabilité face au séisme et des biens à protéger concernés. Les biens à protéger à considérer (personnes, exploitation ferroviaire sûre, ...) dépendent de l'importance ou également de l'emplacement de l'élément dans le réseau. Pour d'autres éléments de l'infrastructure ferroviaire, l'effort requis pour assurer la sécurité sismique est à priori disproportionné (par exemple la voie, les structures porteuses des caténaires et les lignes de transport du courant de traction) ou d'autres bases juridiques

¹ Pour la signification de ces termes, il est fait référence au ch. 1 de la norme SIA 469 [11] et au ch. 1 de la norme SIA 269 [10]

sont applicables (par exemple l'ordonnance sur les accidents majeurs, OPAM, RS 814.012) dont peuvent être tirées les exigences en matière de sécurité sismique.

1.3 Structure

La directive traite au chapitre 2 les documents techniques relatifs à la documentation de la sécurité sismique et les exigences spécifiques en la matière qu'ils doivent remplir. Le chapitre 3 contient les prescriptions quant à la sécurité sismique pour les nouveaux ouvrages et les ouvrages existants. Il traite en premier lieu de l'évaluation de la proportionnalité de mesures de sécurité sismique et de la recommandation d'intervention ainsi que de l'attribution d'un ouvrage à une classe d'ouvrage. Le chapitre 4 traite de différents paramètres de la norme SIA 269/8 qui jouent un rôle important dans la détermination de la proportionnalité des mesures de sécurité sismique. L'annexe illustre l'application de la directive à l'aide de deux éléments typiques de l'infrastructure ferroviaire.

1.4 Liste des abréviations

La connaissance des bases normatives est prérequis, raison pour laquelle les termes techniques et les notations ne sont pas décrits. Par la suite, seules la signification des abréviations est listée.

OFT	Office fédéral des transports
BRF	Facteur de risque pour l'ouvrage
BSW	Valeur de l'ouvrage et des objets directement touchés (BW + SW)
BW	Valeur de l'ouvrage
CO	Classe d'ouvrage
OCF	Ordonnance sur les chemins de fer
CST	Classe sismique de tronçon
DE-OCF	Dispositions d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer
EM	Ensemble de mesures
ENIE	Eléments non structuraux, installations et équipements
ESTI	Inspection fédérale des installations à courant fort
GI	Gestionnaire d'infrastructure
OCI-CF	Organismes de contrôle indépendants Chemins de fer
OPAPIF	Ordonnance sur la procédure d'approbation des plans pour les installations ferroviaires
PAP	Procédure d'approbation des plans
PB	Occupation par des personnes
PB _{max}	Occupation maximale par des personnes (autorisé selon les prescriptions anti-incendie)
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
SIC _M	Montant investi pour la sécurité
SRF	Facteur de risque pour les objets
SW	Valeur des objets
UK	Coûts d'interruption
URF	Facteur de risque lié à l'interruption

2 Documents sur la sécurité sismique

La sécurité sismique d'une structure porteuse doit être traitée et documentée dans le cadre de la vérification de la sécurité structurale lors de l'élaboration des données de base du projet correspondantes, tant pour les projets d'ouvrages nouveaux que pour les projets de maintenance d'ouvrages existants de l'infrastructure ferroviaire, que le projet nécessite une autorisation (procédure selon le droit ferroviaire ou le droit cantonal selon l'art. 18ff LCdF [1]) ou non (art. 1a OPAPIF [3]). En général, les documents à établir et appartenant finalement au dossier de l'ouvrage sont les suivants :

- Convention d'utilisation
- Base du projet
- Rapport géotechnique
- Calculs statiques et dynamiques avec les principales preuves

Dans le cadre d'une procédure d'approbation des plans en droit ferroviaire (PAP), ces documents doivent être élaborés et soumis à l'autorité d'approbation, dans certains cas, accompagnés du rapport d'inspection d'expert requis éventuellement conformément aux dispositions de la directive OCI-CF [5] (art. 3 al. 2 OPAPIF [3]).

La convention d'utilisation doit être rédigée puis approuvée par le maître d'ouvrage dès le début du projet – dans la phase SIA 3, phase partielle 31 « Avant-projet » (art. 3.2 du règlement SIA 103 [7]) sur la base des prescriptions du maître de l'ouvrage – en collaboration avec toutes les parties concernées (architecture, ingénierie civile et planification spécialisée). Elle définit également les exigences en matière de sécurité sismique. C'est sur cette base que la sécurité sismique est prise en compte suffisamment tôt et de manière efficace et ciblée dans le projet. En se fondant sur la convention d'utilisation, l'ingénieur civil ou l'ingénieur civil prépare la base du projet lors de la phase partielle 31 « Avant-projet ». La convention d'utilisation et la base du projet doivent être mises à jour à chaque phase, pendant les phases de planification, de réalisation et d'exploitation du projet (règlement SIA 103).

Les documents à soumettre lors de la PAP en droit ferroviaire selon l'article 18 LCdF doivent correspondre selon ch. 22.2 de la directive OPAPIF [4] au moins à l'état d'avancement après l'achèvement du projet de construction (SIA phase 3 phase partielle 32 selon description du règlement SIA 103 [7]).

Les exigences spécifiques aux séismes relatives au contenu des documents susmentionnés sont présentées ci-après.

2.1 Convention d'utilisation

Les exigences spécifiques aux séismes pour la convention d'utilisation sont les suivantes :

- Détermination de la classe d'ouvrage (CO) avec justification (voir ch. 3.3), de la zone sismique (Z) et de la classe de sol de fondation;
- Description de la conception parasismique, y compris représentation simple sur les plans de construction (visualisation du concept de la structure du contreventement en plan et en élévation) ;
- Définition des éléments non-structuraux pertinents, des installations et des équipements ENIE pertinents, y compris la définition des responsabilités dans le processus de planification et de construction ;
- Dans le cadre d'une éventuelle attribution à la classe d'ouvrage III, les spécifications des exigences concrètes en matière d'aptitude au service pour assurer la fonction après un séisme (pour la structure porteuse et les ENIE pertinents).

D'autres aspects doivent être complétés au cas par cas en fonction du danger et de l'importance.

Pour les ouvrages existants, il est nécessaire de procéder à des analyses plus approfondies afin de définir les exigences et les principes pertinents conformément à la série de normes SIA 269 ss [10] (respectivement la norme SIA 269/8). Par conséquent, la convention d'utilisation doit de plus indiquer les résultats essentiels de la vérification de la sécurité sismique (structure porteuse et ENIE) conformément à la norme SIA 269/8 :

- Facteur de conformité établi lors de l'examen α_{eff} (structure porteuse et ENIE) ;
- Facteur de conformité minimal α_{min} ;
- Facteur de conformité après intervention α_{int} (structure porteuse et ENIE) avec les mesures prévues (selon ch. 9.4, norme SIA 269/8, un facteur de conformité $\alpha_{\text{int}} = 1,0$ doit être visé) ;
- Biens à protéger pris en compte dans l'évaluation de la nécessité de mesures de sécurité sismique ;
- Décision motivée sur les mesures (proportionnalité) ;
- Description des mesures de sécurité sismique, y compris représentation simple sur les plans de construction (visualisation du concept d'intervention en plan et en élévation).

Si la sécurité sismique à l'état actuel n'est pas conforme aux normes, il faut déclarer en outre dans la convention d'utilisation que le projet de construction ne doit pas réduire cette sécurité.

2.2 Base du projet

Les exigences spécifiques aux séismes pour la base du projet sont les suivantes :

- Détermination des paramètres d'ingénierie pour le dimensionnement sismique ou la vérification sismique, tels que le spectre de dimensionnement (y compris le facteur d'importance et le coefficient de comportement), les propriétés dynamiques de la structure porteuse (périodes de vibration) et les propriétés des matériaux des éléments stabilisateurs ;
- Détermination de la méthode de calcul utilisée et des hypothèses-clés pour la modélisation et le calcul de la situation de dimensionnement séisme ;
- Détermination des mesures constructives envisagées afin d'assurer la ductilité (coefficient de comportement).

2.3 Rapport géotechnique

Le rapport géotechnique doit traiter et identifier l'aléa sismique du site (classe de sol de fondation ou étude de sites ou microzonage sismique spectral), les instabilités induites de pentes et le potentiel de liquéfaction du sol.

2.4 Calculs statiques et dynamiques

Les calculs statiques et dynamiques doivent inclure les calculs et les preuves de la sécurité sismique. Selon la complexité, l'importance et la vulnérabilité de la structure porteuse ou des ENIE considérés, des considérations prudentes et des calculs simplifiés (à la main) peuvent suffire. Dans l'étude de projet, l'accent est mis sur le développement d'une conception parasismique pour la structure porteuse et les ENIE.

Pour les ouvrages existants, aux calculs statiques et dynamiques doit être joint en plus le rapport d'examen de la sécurité sismique conformément à la norme SIA 269/8 [10] s'il y a lieu de procéder à l'examen de la sécurité sismique conformément au ch. 6.1.2 de la norme SIA 269 [10], ou si celui-ci a été effectué pour toute autre raison. L'examen de la sécurité sismique doit être effectué tant pour la structure porteuse que pour les ENIE pertinents (cf. ch. 3.4) et doit contenir le concept d'intervention et la recommandation au maître de l'ouvrage. Dans les cas simples ou insignifiants et pour les structures et ENIE quasi invulnérables aux séismes, l'examen peut ou doit également être effectué à l'aide de considérations qualitatives ou de simples calculs d'estimation.

2.5 Rapport d'examen de l'expert

Les dispositions de la directive OCI-CF [5] déterminent si, dans le cadre d'une PAP en droit ferroviaire, un rapport d'inspection d'expert est nécessaire pour une structure. Si un tel rapport est requis, l'expert y évalue également la sécurité sismique dans le cas où des éléments de l'infrastructure ferroviaire selon le chapitre 1.2 sont concernés.

3 Dispositions spécifiques aux séismes

Ce chapitre contient les dispositions pour la garantie de la sécurité sismique pour les nouveaux ouvrages et les **ouvrages existants**.

3.1 Niveau de sécurité pour nouveaux ouvrages

Pour les nouveaux ouvrages, les dispositions des normes SIA en vigueur [9] doivent être respectées, ce qui garantit le niveau de sécurité (structure porteuse et ENIE) en fonction de la classe d'ouvrage. La détermination de la classe d'ouvrage doit être effectuée selon le chapitre 3.3 pour les nouveaux ouvrages et le traitement parasismique des ENIE est présenté au chapitre 3.4.

3.2 Recommandation d'intervention et évaluation de la proportionnalité pour ouvrages existants

Pour les ouvrages existants, en plus des dispositions pour les nouveaux ouvrages, les dispositions des normes de maintenance SIA [10] doivent être respectées, ce qui garantit le niveau de sécurité (structure porteuse et ENIE) en fonction de la classe d'ouvrage. La détermination de la classe d'ouvrage doit être effectuée selon le chapitre 3.3 pour les ouvrages existants et le traitement parasismique des ENIE est présenté au chapitre 3.4.

La recommandation d'intervention conformément à la norme SIA 269/8 [10] doit être basée sur un examen de la sécurité sismique conformément à cette même norme. Le cas échéant, des investigations détaillées peuvent être nécessaires après un premier examen général basé sur les forces (ch. 6.1 de la norme SIA 269 et ch. 2.1.2 de la norme SIA 269/8).

La recommandation d'intervention dépend du facteur de conformité α_{eff} lors de l'examen dans l'état actuel et du facteur de conformité minimal α_{min} en fonction de la classe d'ouvrage. La procédure décrite au ch. 9.4 de la norme SIA 269/8 [10] pour déterminer l'intervention respectivement l'ensemble de mesures (EM) nécessaire est spécifiquement illustrée à la figure 1.

L'évaluation de la proportionnalité de l'intervention respectivement de l'EM doit être effectuée conformément au ch. 10 de la norme SIA 269/8 [10] :

- en particulier conformément aux ch. 10.2.1 à 10.2.4 dans le cas des CO I et II. L'annexe E doit obligatoirement être prise en compte. En d'autres termes, outre les personnes à protéger, les autres objets à protéger, à savoir les ouvrages, les objets et l'exploitation, doivent également être pris en compte pour évaluer la proportionnalité (voir informations au chapitre 4).
- en particulier conformément aux ch. 10.2.1 et 10.2.5 dans le cas des CO II-i et III. Le chapitre 10.4 doit également être pris en compte. En d'autres termes, outre les personnes à protéger, la fonction d'infrastructure doit également être prise en compte pour évaluer la proportionnalité.

Afin d'évaluer la proportionnalité de EM, il faut également tenir compte outre le critère au ch. 10.2.1 (efficacité des mesures $EF_M \geq 1$ ou coûts des mesures \leq coûts d'investissement proportionnés maximaux liés à la sécurité) de la norme SIA 269/8 [10], également du rapport entre les coûts des mesures de sécurité sismique et le total des investissements réalisés sur l'ouvrage. Ce rapport peut être décisif pour mettre en œuvre des mesures de sécurité sismique, même si elles ne sont pas proportionnées selon les dispositions de la norme. Le chapitre 4 donne des spécifications supplémentaires pour les paramètres les plus importants à prendre en compte dans le calcul de la proportionnalité. De plus, les exemples des annexes A et B montrent comment déterminer et évaluer spécifiquement la proportionnalité.

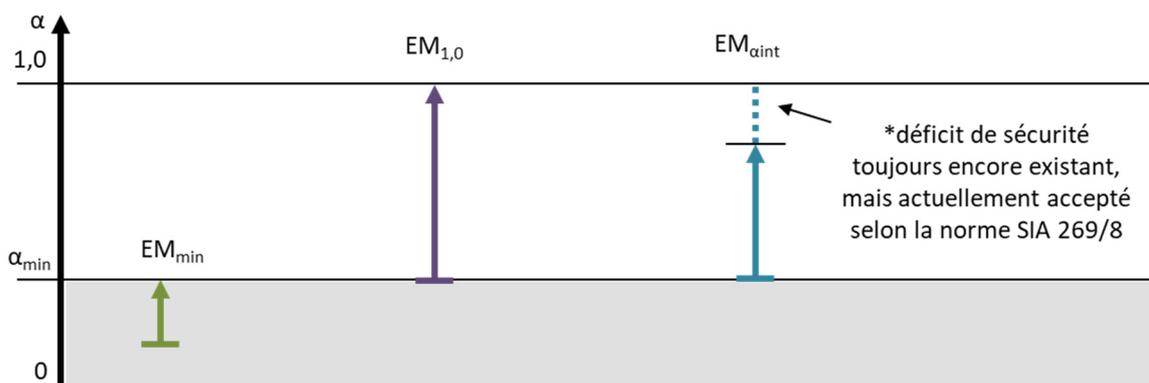
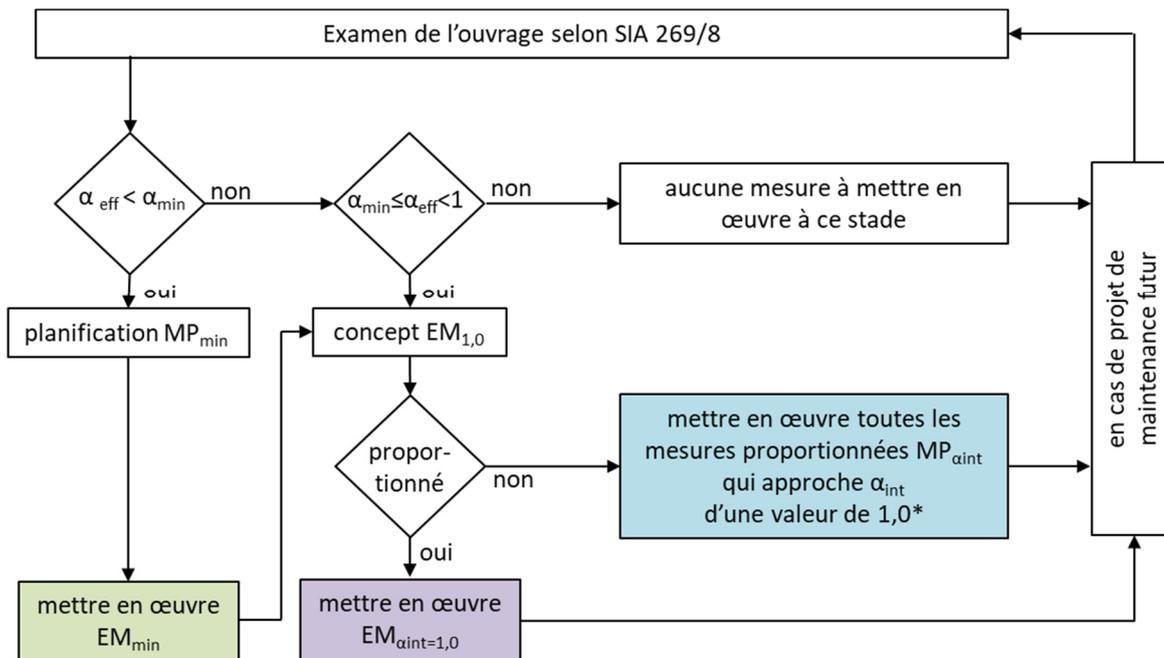


Fig. 1 Détermination de l'intervention resp. de l'EM à mettre en œuvre conformément à la norme SIA 269/8 [10]

3.3 Détermination de la classe d'ouvrage (CO) pour ouvrages nouveaux et existants

La classe d'ouvrage (CO) d'un ouvrage d'infrastructure ferroviaire spécifique dépend de :

- l'importance de l'ouvrage lui-même, spécifiée par les exigences minimales pour la classe d'ouvrage (CO_{min}) conformément à la section I ci-après,
- l'influence de l'ouvrage sur la disponibilité des tronçons après un séisme,
- l'importance du (des) tronçon(s) influencé(s), définie par la classe sismique de tronçon (CST), voir section II ci-après et
- des dépendances par rapport à d'autres modes de transport (par ex. route importante) ou d'autres ouvrages (par ex. ouvrage vital).

Le graphique opérationnel (figure 2) de la section III permet d'attribuer l'ouvrage à une classe d'ouvrage en tenant compte des éléments énumérés ci-dessus.

I. Exigences minimales pour la classe d'ouvrage

L'exigence minimale pour la classe d'ouvrage CO_{min} des éléments d'infrastructure ferroviaire est spécifiée dans le tableau 1 pour les ouvrages d'art et autres ouvrages et dans le tableau 2 pour les bâtiments. Pour les bâtiments, l'exigence minimale pour la classe d'ouvrage CO_{min} est la classe la plus élevée applicable au bâtiment considérant les quatre biens à protéger : les personnes, la valeur des objets, l'environnement et la fonction d'infrastructure. Sur la base d'intérêts spécifiques, le GI peut spécifier des exigences plus élevées que celles définies dans les tableaux 1 et 2.

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 »). Pour un GI, il peut toutefois être judicieux, sur la base d'intérêts de l'exploitation, d'attribuer un élément d'une très grande importance pour l'exploitation ou pour la maîtrise des événements à la classe d'ouvrage III. Des exigences appropriées quant à la structure porteuse et aux ENIE pertinents sont par conséquent à définir dans la convention d'utilisation et à mettre en place. Il peut s'agir par exemple de centres d'intervention, de centres d'exploitation, de bâtiments techniques ferroviaires de grande importance ou d'abris/d'entrepôts dotés d'équipements de sauvetage ou de matériel auxiliaire (trains d'extinction et de sauvetage, ponts provisoires etc.).

Exigences minimales pour la classe d'ouvrage CO _{min} des ouvrages d'art et autres ouvrages			
Élément	Caractéristique	Neuf	Existant
Pont, ponceau, couverture (galerie) ¹⁾		CO II	CO II-i
Ouvrage en terre ^{1,2)} (remblai, tranchée, paroi antibruit, talus, terrassement etc.)		CO II	CO II
Ouvrage de soutènement ^{1,2)} (mur-poids, mur de soutènement, paroi berlinoise, mur de pieux, mur de palplanches, mur d'éléments, protection de talus, mur de revêtement etc.)		CO II	CO II
Éléments de l'accès des passagers, marquises et abris de quais	Affluence importante régulière (plus de 500 personnes à la fois)	CO II	CO II
	Affluence improbable (moins de 500 personnes à la fois)	CO I	CO I
Tunnel ferroviaire, tunnel spécial (galerie de fuite etc.) ¹⁾		CO II	CO II-i
Paroi antibruit (PAB)		CO I	CO I

Tab. 1 Exigences minimales pour la classe d'ouvrage CO_{min} des ouvrages d'art et autres ouvrages

¹⁾ CO I uniquement si les ouvrages sont réellement d'importance mineure

²⁾ voir également la documentation OFROU [13] et [14].

Exigences minimales pour la classe d'ouvrage CO _{min} de bâtiments		
	CO I	CO II
Personnes	<input type="checkbox"/> Occupation par des personnes PB ≤ 50 pour les bâtiments résidentiels : jusqu'à 100 pièces pour les bâtiments administratifs : jusqu'à 2000 m ² de surface nette au sol jusqu'à 200 postes de travail pour les bâtiments commerciaux : jusqu'à 500 m ² de surface de vente brute pour les ateliers : jusqu'à 200 postes de travail (fonctionnement en horaire 1x8) <input type="checkbox"/> petites gares / arrêts occupation maximale par des personnes PB _{max} ≤ 500 personnes (autorisé selon les prescriptions anti-incendie)	<input type="checkbox"/> Occupation par des personnes PB > 50 pour les bâtiments résidentiels : plus de 100 pièces pour les bâtiments administratifs : plus de 2000 m ² de surface nette au sol plus de 200 postes de travail pour les bâtiments commerciaux : plus de 500 m ² de surface de vente brute pour les ateliers : plus de 200 postes de travail (fonctionnement en horaire 1x8) <input type="checkbox"/> moyennes et grandes gares occupation maximale par des personnes PB _{max} > 500 personnes (autorisé selon les prescriptions anti-incendie) (par ex. événements, manifestations, etc.)
Valeur des objets	<input type="checkbox"/> Pas de marchandises ou installations d'une valeur particulièrement élevée	<input type="checkbox"/> Contient des marchandises ou installations d'une valeur particulièrement élevée
Environnement	<input type="checkbox"/> Dégâts à l'environnement exclus	<input type="checkbox"/> Dégâts à l'environnement possibles
	CO I	Neuf : CO II Existant : CO II-i
Fonction d'infrastructure	<input type="checkbox"/> Une défaillance de l'ouvrage n'a que peu ou pas d'influence à court terme sur l'exploitation ferroviaire, car l'ouvrage est d'importance secondaire ou sa fonction peut être assumée par un autre ouvrage à une distance suffisante après un séisme.	<input type="checkbox"/> La défaillance de l'ouvrage a une influence considérable ou à moyen ou long terme sur l'exploitation ferroviaire.

Tab. 2 Exigences minimales pour la classe d'ouvrage CO_{min} des bâtiments

II. Classe sismique de tronçon CST

Pour attribuer un ouvrage à une classe d'ouvrage, il est important de tenir compte du ou des tronçons² concernés, sur lequel ou à côté duquel se trouve l'ouvrage. L'importance d'un tronçon peut être déterminée par son attribution à une classe sismique de tronçon (CST). Chaque tronçon peut être attribué par le GI à l'une des quatre classes sismiques de tronçon CST 0 à CST III en fonction de son importance pour le trafic ferroviaire, comme indiqué au tableau 3.

Lorsqu'on attribue un tronçon à une CST, il faut tenir compte des impacts d'une défaillance sur la société, sur l'économie et sur l'État. À cet égard, les intérêts au niveau régional (cantons en tant que parties/membres de l'État) prime clairement sur ceux au niveau national (état fédéral). Les conséquences d'une défaillance de l'exploitation ferroviaire quotidienne doivent être prises en compte. « Quelles seraient les conséquences d'une défaillance du tronçon desservant telle commune ou telle région pour ces dernières ? »

² comme liaison entre deux points

Classe sismique de tronçon	Fonction d'infrastructure du mode de transport
CST 0	Subordonnée Les interruptions de tronçon n'entraînent que des effets insignifiants.
CST I	Normale Les interruptions de tronçon ont des impacts faibles et locaux sur la société, l'économie et l'État. Les possibilités de redondances et de compensations sont suffisantes.
CST II	Importante Après un séisme, le tronçon ¹⁾ a une fonction importante mais non vitale. Toute déficience aurait un impact significatif sur la société, l'économie et l'État. La redondance est insuffisante et il n'est pas facile d'organiser une compensation.
CST III	Vitale Après un séisme, le tronçon ¹⁾ a une fonction vitale dans les phases de sauvetage et de maîtrise de l'évènement (très importante pour l'accessibilité d'ouvrages sélectionnés ou d'une zone). Il n'y a pas de redondances ni de possibilités de compensation. Toute déficience entraîne des conséquences graves pour la société, l'économie et l'État.

Tab. 3 Classes sismiques de tronçon CST en fonction de l'importance du tronçon

¹⁾ du point de vue du réseau

III. Attribution de la classe d'ouvrage à l'aide d'un graphique opérationnel

Les dépendances et les prescriptions conduisent à la détermination de la classe d'ouvrage d'un ouvrage spécifique de l'infrastructure ferroviaire selon le graphique opérationnel suivant (fig. 2).

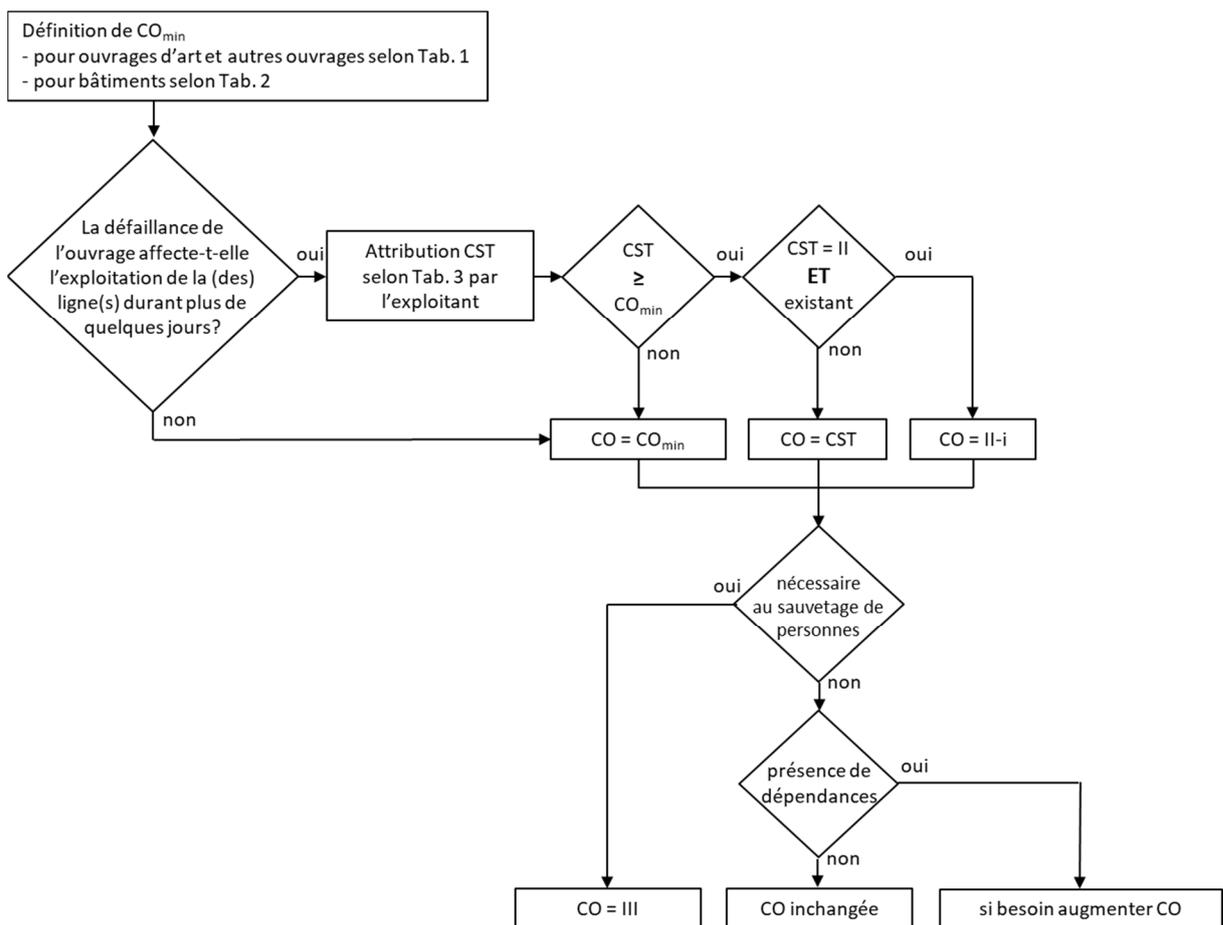


Fig. 2 Graphique opérationnel pour déterminer la classe d'ouvrage CO

Concernant les installations nécessaires au sauvetage et à l'évacuation des personnes, il peut s'agir par exemple, des centres d'intervention avec s trains d'extinction et de sauvetage qui y sont habituellement hébergés.

Les dépendances doivent être clarifiées avec les comités de crise cantonaux et peuvent conduire à une classification plus élevée d'un ouvrage, comme par exemple dans le cas de :

- un pont ferroviaire enjambant une route d'une classe sismique de tronçon supérieure (par exemple au-dessus d'un axe de sauvetage d'une CST III),
- un talus ou un ouvrage de soutènement dont la défaillance mettrait également en danger un ouvrage tiers d'une classe d'ouvrage supérieure (par exemple, un bâtiment des pompiers ou une route d'une CST supérieure).

Le GI peut s'écarter du résultat pour la classe d'ouvrage résultant du graphique opérationnel de la figure 2 à condition que les dépendances des classes d'ouvrage énumérées dans l'introduction au chapitre 3.3 soient prises en compte de manière appropriée et que l'attribution divergente à une classe d'ouvrage soit justifiée de manière compréhensible. Dans ce cas également (cf. 1^{er} paragraphe du ch. I au ch. 3.3), le GI peut sur la base d'intérêts spécifiques définir des exigences plus élevées, c'est-à-dire une classe d'ouvrage plus élevée que celle résultant du graphique opérationnel.

3.4 Éléments non structuraux, installations et équipements ENIE

Un ouvrage est généralement constitué d'une structure porteuse et d'éléments non structuraux, d'installations et d'équipements :

- éléments non structuraux : généralement des éléments architecturaux, tels que les escaliers et les cloisons, les marquises, les parapets ;
- installations : par ex. technique ferroviaire, installations du bâtiment, ascenseurs ;
- équipements fixes : autres contenus du bâtiment, par ex. installations/éléments informatiques, armoires et étagères.

Le traitement parasismique des ENIE aussi bien pour les nouveaux ouvrages que pour les ouvrages existants est résumé à la figure 3. Des informations détaillées sont disponibles dans la publication de l'OFEV sur la sécurité sismique des ENIE [12].

Pour les installations de distribution du courant de traction, la requérante ou le requérant doit confirmer dans le cadre de la PAP en droit ferroviaire que les dispositions de sécurité sismique selon la directive ESTI n° 248 [6] sont respectées (ch. 46.3.3 de la Dir. OPAPIF [4]). La gestion des ENIE dans les installations de production d'énergie (centrales électriques et groupes convertisseurs de fréquence) est spécifié au ch. 4.5 de la directive ESTI n° 248.

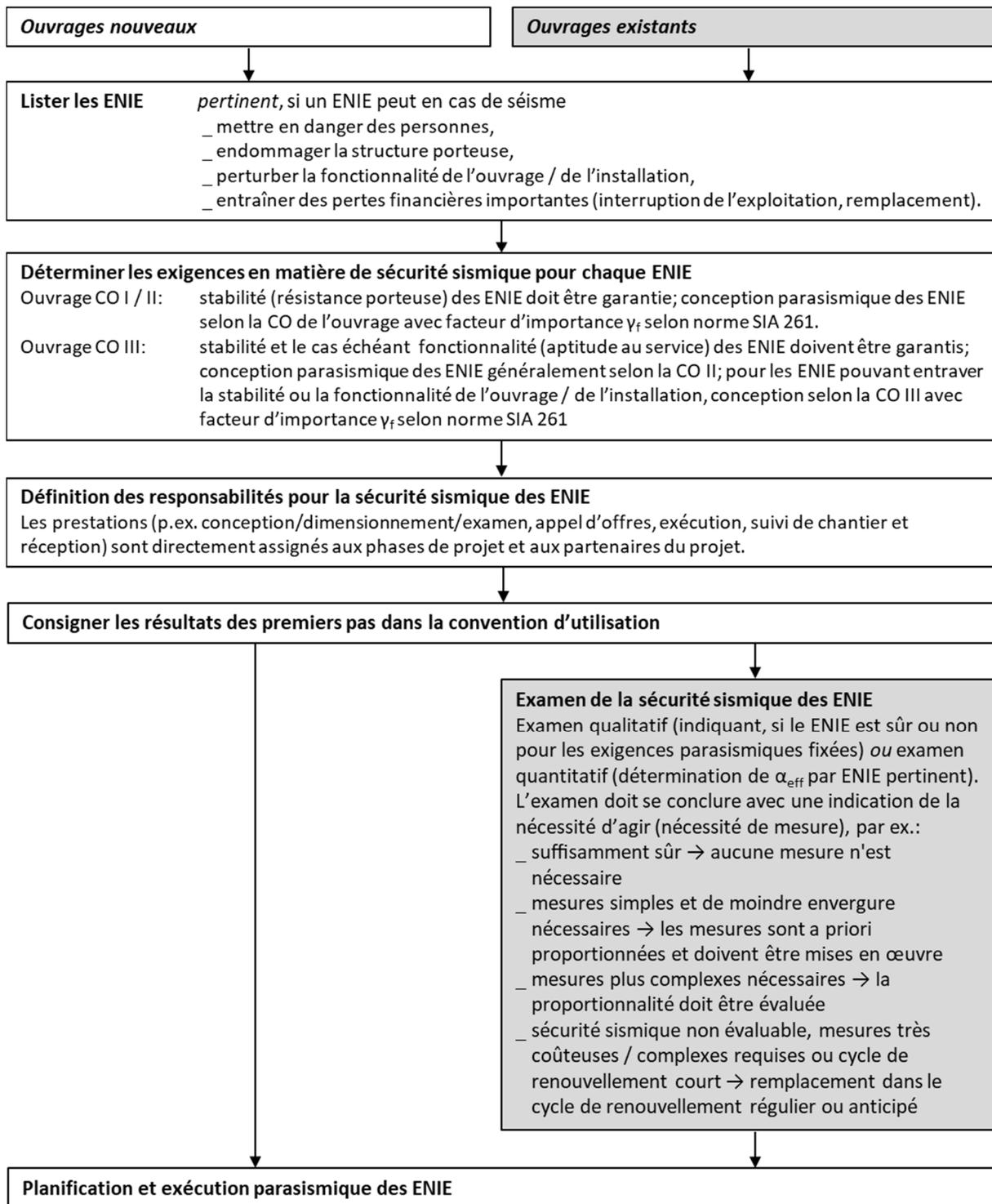


Fig. 3 Traitement parasismique des ENIE

4 Informations pour la détermination de la proportionnalité pour ouvrages existants

Ci-après, différents paramètres énumérés dans la norme SIA 269/8 [10] sont examinés, qui jouent un rôle important dans la détermination de la proportionnalité. Pour certains de ces paramètres, il s'agit de traiter la marge de manœuvre délibérément accordée par la norme, pour d'autres paramètres, il s'agit d'une question d'interprétation correcte. Les valeurs à utiliser pour les installations ferroviaires sont déterminées dans la suite.

4.1 Durée d'utilisation restante d,

Selon la norme SIA 269/8 [10], il faut en règle générale prendre une durée d'utilisation restante d'au moins 30 ans. Les valeurs indicatives suivantes sont fixées pour les installations ferroviaires:

Éléments de l'infrastructure ferroviaire	Valeur indicative de la durée d'utilisation restante
Bâtiments	50 ans
Ouvrages d'art	80 ans
Autres ouvrages ¹⁾	50 ou 80 ans

Tab. 4 Valeurs indicatives pour la durée d'utilisation restante d,

¹⁾ Selon que leurs caractéristiques sont plutôt semblables à celles des bâtiments ou à celles des ouvrages d'art.

Pour les ouvrages exploités pour une durée pratiquement indéterminée dû à leur entretien régulier, l'hypothèse d'une durée d'utilisation restante encore plus longue est justifiée. Toute durée d'utilisation restante inférieure à celles indiquées ci-dessus doit être justifiée. En particulier, une justification doit être fournie si une durée d'utilisation restante de 30 ans n'est pas respectée.

4.2 Occupation par des personnes PB

Les principes pour déterminer l'occupation par des personnes des bâtiments se trouvent au ch. 10.3 de la norme SIA 269/8 [10]. Les informations relatives à la détermination ou à l'estimation de l'occupation pour certains éléments de l'infrastructure ferroviaire sont compilées dans le tableau 5. Pour les éléments du tronçons (par ex. pont, mur de soutènement, galerie, etc.), le tableau 6 contient des valeurs indicatives pour la probabilité qu'une personne soit affectée par la défaillance d'un élément.

Utilisation Catégorie	Détermination ou estimation de l'occupation par des personnes
Usage mixte	<ul style="list-style-type: none"> _ Détermination de l'occupation par des personnes pour les différents usages, tels que bureaux, locaux techniques, séjours et chambres, cantine, etc. _ Somme des occupations déterminées
Éléments tronçon ¹⁾	<ul style="list-style-type: none"> _ Détermination du nombre de trains de voyageurs circulant quotidiennement sur le tronçon ou sur les voies affectées par la défaillance de l'ouvrage (N_z) ²⁾ _ Détermination du taux d'occupation moyen des trains de voyageurs (B) _ Détermination du nombre de personnes menacées ($N_P = N_z \times B$) _ Détermination de la probabilité P qu'une personne soit affectée par la défaillance de l'élément (dans le tableau 6, des valeurs indicatives pour la probabilité P sont données) _ Détermination de l'occupation ($PB = P \times N_P$)
Quais	<ul style="list-style-type: none"> _ Détermination du nombre de passagers par jour qui embarquent, débarquent ou changent de train ²⁾ _ Hypothèse d'une durée moyenne du séjour de 10 minutes pour l'embarquement et de 3 minutes pour le débarquement des passagers (valeurs à adapter à la situation réelle du quai / de la gare, selon la conception du quai, un danger dans le train est concevable ; une gare terminus est différente d'une gare de passage) _ Détermination de l'occupation en multipliant le nombre de passagers en correspondance par la durée moyenne du séjour et en divisant par 1440 (24 h x 60 min/h)
Passage inférieur ou supérieur pour piétons	<ul style="list-style-type: none"> _ Détermination du nombre total de personnes par jour qui utilisent le passage inférieur ou supérieur ²⁾ _ Détermination du temps moyen de passage d'une personne en tenant compte de la longueur du passage souterrain, de congestions potentielles et de la durée possible du séjour _ Détermination de l'occupation en multipliant le nombre total de personnes par le temps moyen de passage et en divisant par 1440 (24 h x 60 min/h)

Tab. 5 Informations relatives à la détermination ou à l'estimation de l'occupation par des personnes PB

¹⁾ par ex. ponts, murs de soutènement et galeries ²⁾ Tenir compte de l'horizon de prévision connu

Vitesse des trains	Longueur de l'ouvrage ¹⁾				
	20 m	50 m	100 m	200 m	500 m
20 km/h	1E-4	2 E-4	3 E-4	5E-4	10E-4
50 km/h	2E-4	2E-4	3E-4	3E-4	6E-4
100 km/h	3E-4	3E-4	3E-4	4E-4	5E-4
150 km/h	4E-4	5E-4	5E-4	5E-4	6E-4
200 km/h	6E-4	6E-4	6E-4	6E-4	7E-4

Tab. 6 Valeurs indicatives de la probabilité (P) qu'une personne soit affectée par la défaillance d'un élément de tronçon

¹⁾ Longueur de l'ouvrage : correspond par exemple à la longueur du pont, du mur de soutènement, de la galerie etc.

Le tableau 6 présente, en fonction de la vitesse du train et de la longueur de l'ouvrage, des valeurs indicatives de la probabilité (P) qu'une personne soit affectée par la défaillance d'un élément du tronçon. La vitesse du train a deux effets inverses. Une vitesse plus faible augmente la probabilité qu'un train se trouve dans la zone menacée (par ex. un pont qui s'effondre). Une vitesse plus élevée augmente en raison de la distance de freinage plus longue la probabilité qu'un train se trouvant devant la zone dangereuse ne s'arrête pas à temps. La probabilité d'une présence dans la zone menacée augmente également avec la longueur de l'élément d'une ligne affectée par la rupture.

4.3 Valeur de l'ouvrage BW

La valeur de l'ouvrage (BW) comprend la valeur de la structure porteuse et (notamment pour les bâtiments) les valeurs des éléments architecturaux (par ex. revêtements de plafond, murs, insertions, systèmes de façade, parapets et balustrades, escaliers, portes, fenêtres, toitures) et des éléments techniques du bâtiment (par ex. éclairage, ascenseurs, conduites, éléments de climatisation) selon [12]. Ces éléments se caractérisent par le fait qu'ils sont directement endommagés par le dégât de la structure porteuse ou qu'ils perdent toute valeur du fait des dommages considérables à la structure porteuse.

La valeur de l'ouvrage (BW) correspond à la valeur de remplacement qui est définie par le prix à payer pour reconstruire le même ouvrage avec les mêmes caractéristiques (par ex. concernant les matériaux de construction). Le cas échéant, une estimation peut être basée sur les coûts encourus pour remplacer un ouvrage détruit par un ouvrage équivalent qui, par exemple, remplirait la même fonction mais dont la conception différerait de l'ouvrage existant.

4.4 Facteur de risque pour l'ouvrage BRF

Pour déterminer le facteur de risque pour l'ouvrage (BRF), la courbe supérieure (ligne pleine) de la figure 16 de la norme SIA 269/8 [10] doit être utilisée pour les bâtiments ayant une proportion normale d'éléments architecturaux et techniques. Pour tous les autres ouvrages, en règle générale, il y a lieu de suivre la courbe inférieure (ligne pointillée). Le tableau 7 fournit des renseignements sur la détermination du facteur de risque pour l'ouvrage.

Facteur de risque pour l'ouvrage	Caractérisation	Exemples
Courbe supérieure (ligne continue)	_ Forte proportion d'éléments architecturaux et techniques tels que cloisons, escaliers, marquises, planchers surélevés, conduites, etc.	_ Poste de commande, gares, bâtiments administratifs, etc.
Courbe inférieure (ligne pointillée)	_ Pratiquement seulement la structure porteuse	_ Ponts, murs de soutènement, tunnels simples, etc.

Tab. 7 Détermination du facteur de risque pour l'ouvrage BRF basé sur la figure 16 de la norme SIA 269/8 [10]

4.5 Valeur des objets SW

La norme SIA 269/8 [10] couvre le risque de dégâts aux biens à protéger suite à un comportement défavorable de la structure porteuse. Il s'agit principalement de l'effondrement de la structure porteuse, de déformations importantes ou d'accélération importantes, qui peuvent endommager les objets. Des objets sont endommagés, par exemple, par des parties de la structure porteuse ou des ENIE qui s'écroulent sur eux, par basculement suite à de grandes déformations ou déplacements, mais aussi par dégagement considérable de poussière si les objets y sont sensibles. Le tableau 8 donne des indications des objets de valeur (SW) qui devraient être pris en compte pour déterminer la valeur des objets.

Éléments ferroviaire	de l'infrastructure	Objets de valeurs à prendre en compte
Bâtiments		Mobilier, technique d'enclenchement, infrastructure informatique, climatisation, véhicules, autres biens mobiles
Ouvrages d'art		Installations de technique ferroviaire, matériel roulant, etc.
Autres ouvrages ¹⁾		Voir bâtiments et ouvrages d'art

Tab. 8 Objets dans des éléments de l'infrastructure ferroviaire

¹⁾ Selon que leurs caractéristiques sont plutôt semblables à celles des bâtiments ou à celles des ouvrages d'art

La valeur des objets correspond à la valeur de remplacement et est à considérer si leur valeur atteint le même ordre de grandeur que celle de l'ouvrage.

4.6 Facteur de risque pour les objets SRF

Le tableau 9 donne des indications pour la détermination du facteur de risque pour les objets. Il est recommandé de ne pas choisir des valeurs intermédiaires.

Facteur de risque pour les objets	Indications
0,05	<ul style="list-style-type: none"> _ Les objets ne sont endommagés que lorsque la structure porteuse ou les éléments non structuraux s'effondrent complètement. _ Les objets se trouvent principalement dans des zones qui ne sont probablement pas affectées par un effondrement (par exemple au sous-sol).
0,2	<ul style="list-style-type: none"> _ Les objets sont déjà endommagés si la structure porteuse se déforme considérablement. _ Les objets sont principalement situés dans des zones qui peuvent être affectées par un effondrement de la structure porteuse ou par les éléments non structuraux. _ Les objets sont endommagés en cas de défaillance délimitée (par exemple, défaillance du revêtement ou déraillement d'un train). _ Les objets sont endommagés en cas de dégagement de poussière.

Tab. 9 Indications pour la détermination du facteur de risque pour les objets SRF

4.7 Coûts d'interruption UK

Les coûts d'interruption (UK) doivent être pris en compte s'ils dépassent 20 % de la valeur de l'ouvrage.

Si la défaillance d'un ouvrage à la suite d'un dommage entraîne l'interruption de l'exploitation ferroviaire, les coûts d'interruption (UK) correspondent aux coûts nécessaires au maintien de l'exploitation (transports de remplacement, pont de secours, etc.). Si la défaillance d'un ouvrage s'accompagne d'une perte de revenus, les bénéfices dits menacés doivent être pris en compte comme coûts d'interruption. Les bénéfices menacés correspondent au chiffre d'affaires moins les coûts variables qui ne sont pas encourus à court ou moyen terme en raison de la défaillance. Étant donné que les coûts variables sont généralement d'importance secondaire, le chiffre d'affaires non réalisé à cause d'une interruption de l'activité peut être utilisé comme une approximation de la hauteur des coûts d'interruption.

Par souci de simplicité, le montant des coûts d'interruption est déterminé comme suit :

- Estimation du temps (par exemple en nombre de mois) jusqu'à ce que la fonction soit rétablie dans une large mesure (> 90 %),
- Détermination des coûts d'interruption en cas de dégât total (effondrement ou dommages entraînant la démolition) du bâtiment considéré par unité de temps (ex. : francs/mois),
- Détermination des coûts d'interruption comme le produit du temps d'interruption et des coûts par unité de temps.

4.8 Facteur de risque lié à l'interruption URF

Le facteur de risque lié à l'interruption (URF) spécifié au ch. E 4.6 de la norme SIA 269/8 [10] est de 0,5 ; ce facteur doit être utilisé tel quel si les coûts d'interruption sont calculés comme décrit ci-dessus. Un ajustement du facteur de risque lié à l'interruption en fonction de la durée de l'interruption (comme mentionné au ch. E 4.6 de la norme SIA 269/8) n'est nécessaire que si les coûts d'interruption sont calculés sur une base standardisée pour une année.

4.9 Montant investi pour la sécurité SIC_M

Le montant investi pour la sécurité (SIC_M) comprend au moins les coûts de construction des mesures ainsi que les coûts de planification. Selon que les mesures de sécurité sismique sont prises dans le cadre d'un projet de maintenance s'étendant jusqu'à la structure porteuse ou indépendamment d'un autre projet, des coûts supplémentaires peuvent être encourus pour le démantèlement, la remise en état et la planification (par ex. de surfaces ou d'installations ferroviaires). Si ces coûts supplémentaires ne sont pas calculés séparément, le total des coûts d'investissement liés à la sécurité peut être estimé à 1 à 3 fois les coûts de construction.

Annexe A

Exemple d'application: viaduc

A.1 Résumé

Le viaduc est attribué à la classe d'ouvrage CO II-i avec un facteur de conformité minimal $\alpha_{\min} = 0,4$. Le viaduc présente un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} = 0,15$. Le facteur de conformité minimal n'est par conséquent pas respecté.

Selon la norme SIA 269/8, il faut prendre des mesures pour atteindre au moins α_{\min} . A cette fin, l'ensemble de mesures EM_{\min} , qui comprend l'augmentation de la résistance du sol de fondation et le renforcement des têtes de piliers, est élaboré. Le coût de l' EM_{\min} est estimé à CHF 250 000.–.

La proportionnalité d'autres ensembles de mesures conduisant à des coefficients de conformité de 1,0 ($EM_{1,0}$) et 0,5 ($EM_{0,5}$) est vérifiée. Compte tenu de la disposition à investir pour sécuriser la fonction d'infrastructure, l'ensemble de mesures $EM_{1,0}$ visant à porter le facteur de conformité à 1,0 s'avère proportionné. Les coûts pour $EM_{1,0}$, qui comprend le renforcement de la fondation et des appuis du pont, sont estimés à CHF 290 000.–.

L'objectif à viser en principe de $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ (ch. 9.4.1, norme SIA 269/8) est donc atteint. Cela signifie qu'après la mise en œuvre de l'ensemble de mesures aucun déficit de sécurité accepté selon la norme SIA 269/8 subsiste.

Enfin, une alternative de départ est discutée, dans laquelle l'ouvrage est attribué à la CO I en tenant compte des autres biens à protéger (annexe E, norme SIA 269/8) et en se basant sur l'hypothèse qu'il s'agit pour le viaduc d'une installation auxiliaire sur une ligne auxiliaire insignifiante.

A.2 Ouvrage, utilisation, occupation par des personnes et valeurs

Aspect	Description	Explication
Structure porteuse	Viaduc long avec pont court en construction mixte. Le pont court enjambant la rivière repose sur les piliers du viaduc.	
Dimension L x B	330 m x 12,5 m / 70 m x 12,5 m	
Conception de la structure porteuse	plusieurs travées / poutre simple	Viaduc en pierre de taille et maçonnerie. Pont avec dalle en béton et structure en acier
Contreventement	Longitudinalement : culées fixes ou mobiles. Transversalement : bras en porte-à-faux à travers des piliers ancrés dans le sol.	
Utilisation	Transport ferroviaire de voyageurs et de marchandises	
Trafic	86 trains par jour	- 2 trains de voyageurs par direction et par heure (76 = 4 x 19 h) avec une occupation moyenne de 100 personnes. - 5 trains de marchandises par jour et direction en moyenne hebdomadaire Vitesse dans la section correspondante : 150 km/h.
Occupation par des personnes (val. moy. des pers. potentiellement menacées sur la durée de vie utile)	PB = 4	Chaque jour, environ 7600 personnes (76 trains de 100 personnes en moyenne par train) traversent le pont. Probabilité qu'une personne soit affectée par la défaillance du viaduc : $P = 5E-4$ (Tab. 6). $PB = 7600 \times 5E-4 = 3,8$ personnes.
Valeur du bâtiment	BW = 40 millions CHF	Valeur de rempl. de 8000 ¹⁾ francs/m ² (8000 x 400 m x 12,5 m). Faible proportion d'ENIE.
Valeur des objets	SW = 1,3 millions CHF	Chaque jour, 86 rames d'une valeur de 30 millions de francs (voir tableau 2) traversent le pont. Probabilité déterminée par analogie au taux d'occupation. Valeur des objets = $5E-4 \times 86 \times 30 = 1,3$ million de francs.
Durée de l'interruption	12 mois	Les coûts d'interruption sont estimés à 50 000 francs par jour pendant 2 mois. Toutefois, selon la norme SIA 269/8, E.4.1, les coûts d'interruption ne doivent pas être pris en compte, car ils sont inférieurs à 20 % de la valeur de l'ouvrage.
Coûts d'interruption	UK = 3 millions CHF	
Durée d'utilisation restante	$d_r = 100$ ans	Selon le chapitre 4.1 de la directive, la durée d'utilisation restante minimale est de 80 ans. Le GI a fixé cette durée à 100 ans.

Tab. A.1 Informations pertinentes sur la structure porteuse et sur son utilisation

¹⁾ Ces coûts de remplacement sont spécifiés par l'exploitant et peuvent varier considérablement. Il y a aussi des GI qui estiment pour la valeur de remplacement par exemple 11 000 francs/m².

A.3 Classe d'ouvrage

La classe d'ouvrage du viaduc est déterminée conformément au ch. 3.3 de la directive. L'exigence minimale pour la classe d'ouvrage CO_{min} pour les ponts est CO II-i selon le tableau 1. Le tronçon sur lequel se situe le pont n'est pas très important et n'est pas attribué à une classe sismique de tronçon (donc CST 0). Le pont a une grande influence sur la disponibilité du tronçon. La structure est donc attribuée à la classe d'ouvrage CO II-i, voir la séquence de la figure A.1.

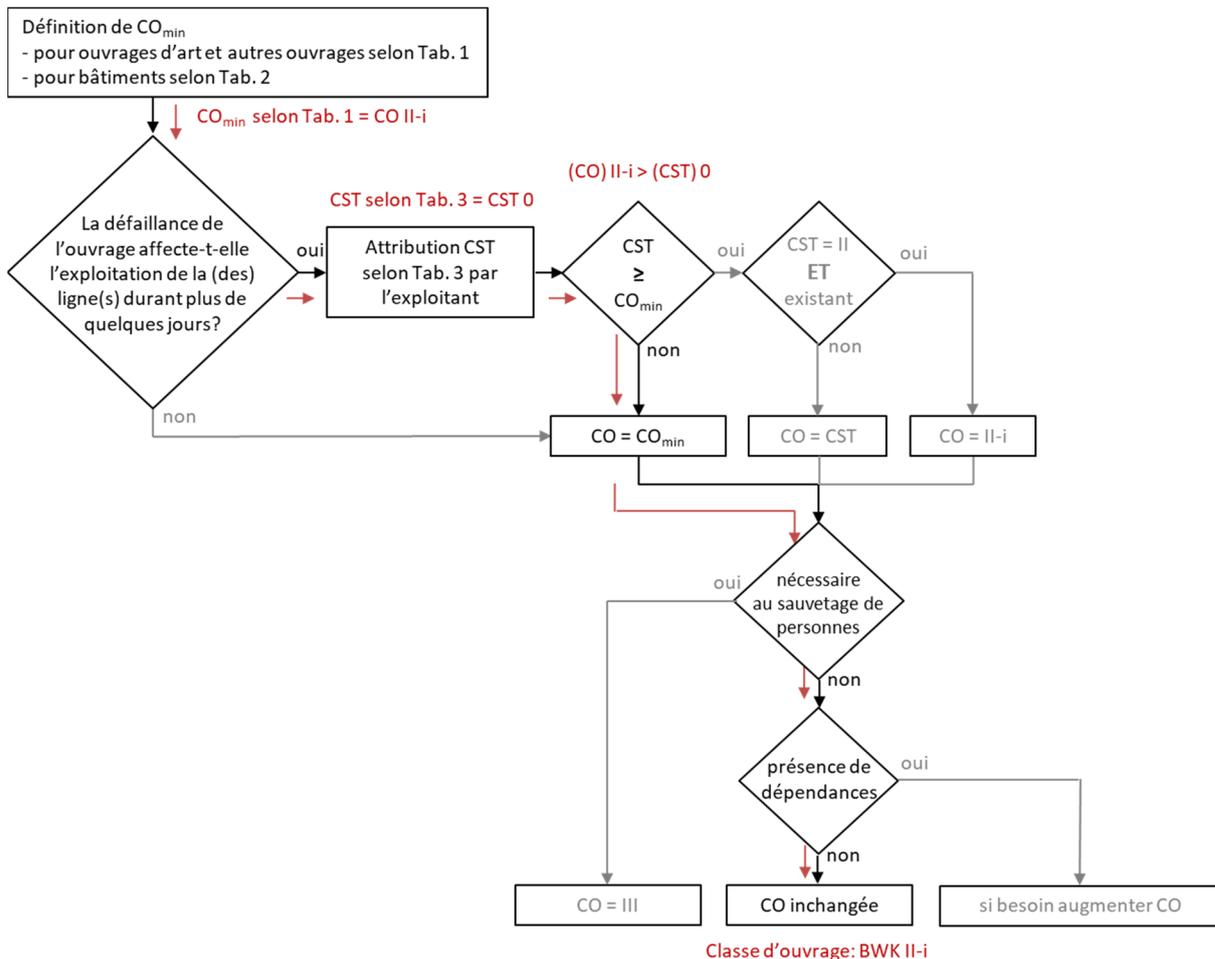


Fig. A.1 Séquence de détermination de la classe d'ouvrage conformément à la directive

Conformément au ch. 3.2 de la directive, l'annexe E de la norme SIA 269/8 doit toujours être prise en compte si le pont peut être attribué à la CO I (note de bas de page 1, Tab. 1). Le GI pourrait également attribuer l'ouvrage à la CO III si une défaillance du tronçon avait des conséquences considérables.

A.4 Évaluation de la sécurité sismique

L'évaluation de la sécurité sismique donne un facteur de conformité $\alpha_{eff} = 0,15$ pour le viaduc. Ce facteur se base sur les points faibles identifiés suivants.

Point faible	Fact. de conformité α_{eff}	Évaluation de la sécurité sismique
1) Fondations du viaduc, introduction des effort dans le sol de fondation au droit des piliers de rive C et D	0,15	Mesures nécessaires
2) Structure porteuse du viaduc, direction trans- versale de résistance : têtes de pilier A et B	0,25	Mesures nécessaires
3) Fondations du viaduc, introduction des forces du sous-sol aux piliers A, B et E	0,5	Mesures nécessaires, dans la mesure où elles sont proportionnées
4) Appuis de pont pour les piliers C et D, direc- tion transversale	0,4	Mesures nécessaires, dans la mesure où elles sont proportionnées
Facteur de conformité déterminant	0,15	

Tab. A.2 Résumé des facteurs de conformité α_{eff}

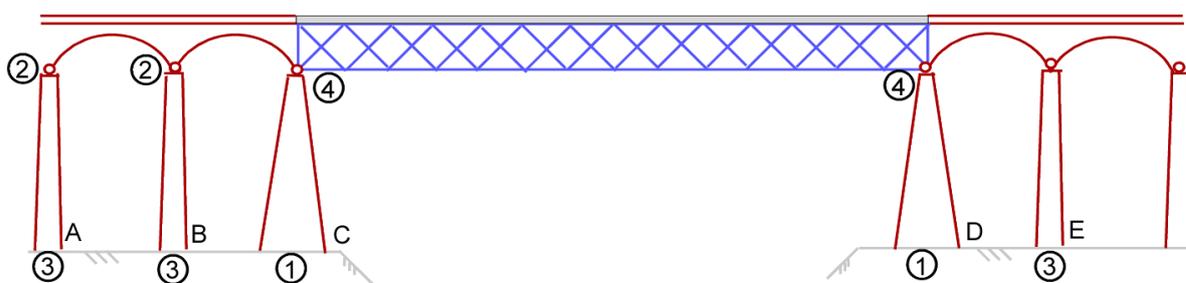


Fig. A.2 Visualisation des points faibles

Le viaduc compte au total près de 30 arches. Dans cet exemple, on suppose maintenant que les points faibles de la figure 5 ne s'appliquent qu'à la section représentée (pilier A à E) proche de la rivière et que les autres arches ne présentent pas les points faibles 2 à 4.

A.5 Recommandation d'intervention

A.5.1 Mesures visant à remédier aux points faibles

Mesure	Description	Coût total	Facteur de conformité local
a)	Augmentation de la résistance du sol de fondation au droit des piliers de rive C et D (point faible 1)	CHF 150 000.–	local $\alpha_{eff} = 0,15 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
b)	Renforcement des têtes de pilier A et B (point faible 2)	CHF 100 000.–	local $\alpha_{eff} = 0,25 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
c)	Renforcement des fondations des piliers A, B et E (point faible 3)	CHF 200 000.–	local $\alpha_{eff} = 0,5 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$
d)	Renforcement des appuis de pont pour les piliers C et D (point faible 4)	CHF 90 000.–	local $\alpha_{eff} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int} = 1,0$

Tab. A.3 Mesures visant à remédier aux points faibles

À partir de chacune des mesures, des ensembles de mesures sont formés pour améliorer la sécurité sismique globale de la structure. Le tableau A.4 présente les ensembles de mesures

1. EM_{min} (pour atteindre α_{min})
2. $EM_{1,0}$ (pour atteindre la sécurité normative de nouveaux ouvrages, c'est-à-dire $\alpha_{int} = 1,0$)
3. $EM_{0,5}$ (pour la mesure partielle $\alpha_{int} = 0,5$)

et leurs coûts. La figure A.3 illustre la variation de la sécurité sismique par ensemble de mesures.

Explications :

Les ensembles de mesures doivent être créés en principe de telle sorte que les mesures qui doivent absolument être mises en œuvre pour atteindre l'objectif α_{min} soient d'abord combinées dans un ensemble de mesures EM_{min} . L'étape suivante consiste à élaborer un ensemble de mesures $EM_{1,0}$, qui comprend les mesures supplémentaires nécessaires pour atteindre un facteur de conformité de $\alpha_{int} = 1,0$ et à vérifier sa proportionnalité. Si celle-ci n'est pas donnée, il convient d'évaluer des ensembles de mesures visant à réduire progressivement les facteurs de conformité (par exemple, $EM_{0,7}$, $EM_{0,5}$ etc.) jusqu'à ce que la proportionnalité soit donnée. Cette procédure est illustrée dans le graphique opérationnel de la figure 1.

Ensemble	Mesures	Coûts de l'ensemble ¹⁾	Facteur de conformité global
EM_{min} ²⁾	a) + b)	CHF 250 000.–	$\alpha_{eff} = 0,15 \rightarrow \alpha_{int,EMmin} = 0,4$
$EM_{1,0}$	c) + d)	CHF 290 000.–	$\alpha_{int,EMmin} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int,EM1,0} = 1,0$
$EM_{0,5}$	d)	CHF 90 000.–	$\alpha_{int,EMmin} = 0,4 \rightarrow \alpha_{int,EM0,5} = 0,5$

Tab. A.4 Ensembles de mesures possibles pour augmenter le facteur de conformité global

¹⁾ Les coûts correspondent aux coûts d'investissement liés à la sécurité SIC_M selon 10.7.4, norme SIA 269/8

²⁾ EM_{min} est nécessaire et doit être exécuté indépendamment du coût. Il est supposé à ce stade qu'il n'existe pas de mesure plus favorable pour atteindre le facteur de conformité minimal.

Étant donné que les mesures a) et b) visant à supprimer le point faible 1 garantissent le facteur de conformité minimal, cet ensemble de mesures est appelé EM_{min} . Les mesures a) et b) de EM_{min} conduisent à une augmentation locale du facteur de conformité à 1,0, le facteur de conformité global restant à 0,4 en raison du point faible 4).

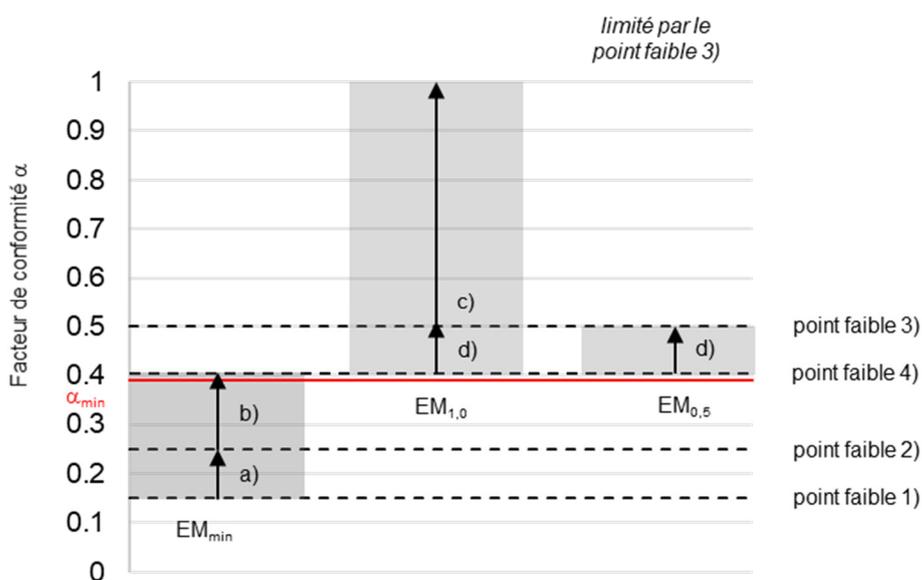


Fig. A.3 Visualisation des points faibles, des mesures et des ensembles de mesures

A.5.2 Évaluation de la proportionnalité

Les bases pour l'évaluation de la proportionnalité des ensembles de mesures sont énumérées au tableau A.5. Le tableau contient également des références à des chapitres de la norme SIA 269/8 ou, si cela est explicitement mentionné, à des chapitres du présent exemple ou de la directive.

Désignation	Formule et valeur	Référence
Durée d'utilisation restante	$d_r = 100 \text{ Jahre}$	Tab. A.1
Facteur d'escompte	$DF = \frac{i_d \cdot (1 + i_d)^{d_r}}{(1 + i_d)^{d_r} - 1} = \frac{0,02 \cdot (1 + 0,02)^{100}}{(1 + 0,02)^{100} - 1} \cong 2,3\%$	10.7.2, SIA 269/8 avec $i_d = 2\%$
Taux d'occupation	$PB = 4$	Tab. A.1
Valeur de l'ouvrage	$BW = 40 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. A.1
Valeur des objets	$SW = 1,3 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. A.1
Facteur de risque pour les objets	$SRF = 0,2$	ch. E 3.4, SIA 269/8
Coût limite	$GK = 10^6 \text{ CHF}$	ch. 10.3.9, SIA 269/8

Tab. A.5 Paramètres de calcul de la proportionnalité

Le calcul de la proportionnalité ou de l'efficacité des mesures est résumé ci-dessous pour les ensembles de mesures possibles.

Désignation	Formule	EM _{1,0}	EM _{0,5}	Référence
Facteur de conformité avant intervention	α_{eff}	0,4	0,4	Tab. A.4
Facteur de conformité après intervention	α_{int}	1,0	0,5	Tab. A.4
Différence Facteur de risque personnel	$\Delta PRF_M(\Delta\alpha)$	$\cong 4 \cdot 10^{-6}$	$\cong 2 \cdot 10^{-6}$	figure 7, norme SIA 269/8
Différence taux d'infrastructure	$\Delta IS(\Delta\alpha)$	$\cong 0,1\%$	$\cong 0,03\%$	figure 8, norme SIA 269/8
Réduction du risque pour les pers. [CHF/J]	$\Delta RP_M = \Delta PRF_M \cdot PB \cdot GK$	$\cong 150$	$\cong 60$	10.3.1, norme SIA 269/8
Disposition à investir Fonction d'infrastructure [CHF/J]	$\Delta ZI_M = \Delta IS \cdot (BW + SW)$	$\cong 42\,700$	$\cong 13\,800$	10.4.6, norme SIA 269/8
Réduction des risques[CHF]	$\Delta R_M = \Delta RP_M + \Delta ZI_M$	$\cong 42\,850$	$\cong 13\,860$	10.2.5, norme SIA 269/8
Montant investi pour la sécurité [CHF]	SIC_M	290 000	90 000	Tab. A.4
Coût imputable à la sécurité [CHF/J]	$SC_M = DF \cdot SIC_M$	$\cong 6\,700$	$\cong 2\,100$	10.7.1, norme SIA 269/8
Efficacité des mesures	$EF_M = \frac{\Delta R_M}{SC_M}$	$\cong 6,3$	$\cong 2$	10.2.2, norme SIA 269/8
Montant maximal proportionné investi pour la sécurité [CHF].	$SIC_{EF=1} = \frac{\Delta R_M}{DF}$	$\cong 1\,846\,000$ > 290 000 pour EM _{1,0}	$\cong 596\,000$ > 90 000 pour EM _{0,5}	

Tab. A.6 Calcul de l'efficacité des ensembles de mesures EM

Ensemble de mesures	Décision	Explication
EM _{min}	Requis	Dans tous les cas, la mesure doit être exécutée.
EM _{1,0}	Proportionné	L'ensemble de mesures est proportionné et doit donc être mis en œuvre
EM _{0,5}	Proportionné	Le calcul n'est présenté qu'à des fins de discussion ultérieure.

Tab. A.7 Évaluation de la proportionnalité

Pour le viaduc considéré, l'ensemble de mesures $EM_{1,0}$ est proportionné et doit donc être mis en œuvre. L'objectif pour $\alpha_{int} \geq 1,0$ (ch. 9.4.1 de la norme SIA 269/8) est ainsi atteint. L'ensemble de mesures $EM_{0,5}$ visant à porter le facteur de conformité global à 0,5 est également proportionné. Le $EM_{0,5}$ n'est présenté ici que pour discussion ultérieure et n'est pas mis en œuvre. Cette « mesure partielle » n'atteint pas l'objectif à viser en principe $\alpha_{int} \geq 1,0$ (norme SIA 269/8 ch. 9.4.1).

Explications :

Outre l'identification des points faibles et de la définition de mesures pour y remédier, il est décisif de connaître le montant disponible pour atteindre un α_{int} donné. Dans cet exemple, il est proportionné selon le tableau A.8 d'investir environ 1,8 million de francs pour atteindre un $\alpha_{int} = 1,0$, peu importe comment les ensembles de mesures sont finalement composés. Si l'objectif de $\alpha_{int} > 1,0$ ne peut être atteint avec les coûts d'investissement proportionnés maximaux, il faut retirer les mesures dont l'utilité est faible des ensembles de mesures.

Si un grand projet de construction est réalisé sur l'ouvrage, comme une remise en état complète, la proportionnalité doit également être mesurée en termes d'objectifs et de coûts du projet correspondant.

A.6 Comparaison de différentes classes d'ouvrages

Afin d'illustrer les différences par rapport à une attribution à une classe d'ouvrage CO I en tenant compte de l'annexe E de la norme SIA 269/8, les coûts proportionnés sont déterminés et comparés à ceux de la CO II-i. L'attribution à une CO I repose sur l'hypothèse que le viaduc est classé comme une installation auxiliaire sur un tracé non significatif (selon la note de bas de page 1 du tableau 1 de la directive). Le facteur de conformité minimum α_{min} est de 0,25. En plus de la réduction du risque aux personnes ΔRP_M , il faut tenir compte des biens à protéger objets ΔRS_M et exploitation ΔRU_M (annexe E de la norme SIA 269/8).

Pour une interprétation plus simple des résultats, ce n'est pas l'efficacité des mesures EF_M qui est calculée, mais le seuil de proportionnalité du montant investi pour la sécurité (avec $EF_M=1$).

Attribution Classe d'ouvrage	EM_{min}	$EM_{1,0}$	$EM_{0,5}$
<i>Modification du facteur de conformité par ensemble de mesures</i>			
CO I ²⁾	0,15 → $\alpha_{int,EMmin} = 0,25$	0,25 → $\alpha_{int,EM1,0} = 1,0$	0,25 → $\alpha_{int,EM0,5} = 0,5$
CO II-i	0,15 → $\alpha_{int,EMmin} = 0,4$	0,4 → $\alpha_{int,EM1,0} = 1,0$	0,4 → $\alpha_{int,EM0,5} = 0,5$
<i>Coûts d'investissement liés à la sécurité SIC_M [CHF]</i>			
CO I ²⁾	150 000	390 000	190 000
CO II-i	250 000	290 000	90 000
<i>Montant maximal proportionné investi [CHF]</i>			
CO I, annexe E	---	≅ 252 000	≅ 192 000
CO II-i ¹⁾	---	≅ 1 846 000	≅ 596 000

Tab. A.8 Coûts proportionnés maximaux pour différentes classes d'ouvrages

¹⁾ BSW = 41,3 millions CHF

²⁾ Seule la mesure a) est nécessaire et doit être effectuée en EM_{min} afin d'atteindre le facteur de conformité minimal de $\alpha_{min} = 0,25$.

Attribution selon norme EM _{1,0} SIA 269/8		EM _{0,5}
CO I, annexe E	Disproportionné	Proportionné
CO II-i	Proportionné	Proportionné ¹⁾

Tab. A.9 Évaluation de la proportionnalité pour l'attribution de l'ouvrage à différentes classes d'ouvrage

¹⁾ Dans ce cas, l'ensemble de sous-mesures EM_{0,5} n'est pas exécuté car un facteur de conformité plus élevé est atteint avec EM_{1,0}

Pour le cas du viaduc considéré et dans l'hypothèse d'une classe d'ouvrage CO I avec une faible proportion de ENIE, l'ensemble de mesures EM_{1,0} n'est pas proportionné et, par conséquent, seul EM_{0,5} peut être appliqué en tant que mesure sectorielle. L'objectif $\alpha_{int} \geq 1,0$ à viser en principe ne peut donc pas être atteint. Cela signifie qu'il y aurait toujours un déficit de sécurité accepté selon la norme SIA 269/8. Si le viaduc est attribué à la CO II-i, toutes les mesures sont proportionnées et l'ensemble de mesures EM_{1,0} peut être mis en œuvre. L'objectif $\alpha_{int} \geq 1,0$, à viser en principe, peut donc être atteint.

Explications :

Dans cet exemple, pratiquement seuls les risques pour l'ouvrage sont pertinents. Les risques pour les personnes et les objets sont de plusieurs ordres de grandeur inférieurs au risque global et sont donc négligeables.

Pour la CO I et l'utilisation de l'annexe E, les coûts de l'ouvrage, des objets et de l'exploitation sont pris en compte, la valeur du bâtiment ayant la plus grande influence. Étant donné que la courbe inférieure selon la figure 16, norme SIA 269/8 a été utilisée, la réduction du risque de l'ouvrage est environ 7 fois plus faible qu'avec une proportion élevée d'éléments non structuraux et EM_{1,0} n'est donc pas proportionné et l'ensemble de mesures partielles EM_{0,5} doit être mis en œuvre.

Pour la CO II-i, toutes les valeurs de l'ouvrage et des objets sont additionnées et multipliées par le taux d'infrastructure pour déterminer ce qu'on appelle la disposition à investir. Ce montant est égal à zéro si le facteur de conformité $\alpha_{eff} > 0,7$. Étant donné que le facteur de conformité pour EM_{1,0} avant intervention est bien inférieur à cette valeur et qu'il est supérieur à cette valeur après intervention, la disposition à investir pour la protection de la fonction d'infrastructure domine les coûts d'investissement proportionnés maximaux.

Annexe B

Exemple d'application : Bâtiment avec centre de commande

B.1 Résumé

Le centre de commande est attribué à la classe d'ouvrage CO II-i avec un facteur de conformité minimal $\alpha_{\min} = 0,4$. Le poste de commande présente un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} = 0,25$. Le facteur de conformité minimal n'est par conséquent pas respecté.

Selon la norme SIA 269/8, il faut prendre des mesures pour atteindre au moins α_{\min} . À cette fin, l'ensemble de mesures EM_{\min} , qui comprend le remplacement des murs intérieurs par des cloisons légères appropriées, est élaboré. Le coût de l' EM_{\min} est estimé à CHF 100 000.–.

La proportionnalité d'autres ensembles de mesures conduisant à des facteurs de conformité de 1,0 ($EM_{1,0}$) et 0,75 ($EM_{0,75}$) est vérifiée. Toutefois, seul $EM_{0,75}$, qui consiste à améliorer la transmission des forces à la fondation, à renforcer les éléments de contreventement et à ériger de nouveaux murs, s'avère proportionné et les mesures correspondantes peuvent donc être mises en œuvre. Les coûts pour $EM_{0,75}$ sont estimés à CHF 600 000.–.

L'objectif à viser en principe de $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ (ch. 9.4.1, norme SIA 269/8), n'est donc pas atteint. Cela signifie qu'après la mise en œuvre de l'ensemble de mesures un déficit de sécurité accepté selon la norme SIA 269/8 subsiste.

Enfin, une alternative de départ est discutée, dans laquelle l'ouvrage est attribué à la CO II en tenant compte des autres biens à protéger (annexe E, norme SIA 269/8).

B.2 Ouvrage, utilisation, occupation par des personnes et valeurs

Aspect	Description	Explication
Bâtiment	2 sous-sols, 1 rez-de-chaussée et 5 étages supérieurs. Hauteur env. 23,5 m au-dessus du sol (sans superstructure de toit)	
Dimensions L x l x H	34 m x 12,5 m x 23,5 m	
Conception de la structure porteuse	Sous-sols principalement en béton armé. Transfert vertical des charges par piliers préfabriqués en béton armé et murs en béton armé.	
Contreventement	Les éléments de contreventement à partir du rez-de-chaussée sont principalement constitués de maçonnerie et de béton armé. Les noyaux sont principalement en béton armé et disposés asymétriquement dans le plan du sol. Différents éléments de contreventement sont instables dans l'élévation.	
Utilisation	Poste de commande avec bureaux et séjours supplémentaires (pour le personnel de manœuvre et les conducteurs de locomotives) ainsi qu'un atelier et une cantine pour 50 personnes supplémentaires à l'étage supérieur.	
Occupation par des personnes (nombre moyen de personnes potentiellement menacées sur la durée d'utilisation)	PB = 13	voir Tab. B.2
Valeur de l'ouvrage	BW = 6 millions CHF	forte proportion ¹⁾ d'ENIE
Valeurs des objets	SW = 20 millions CHF	
Durée de l'interruption	12 mois	
Coûts d'interruption ¹⁾	UK = 300 millions CHF	à considérer selon ch. E.4.1 de la norme SIA 269/8, puisque dépassant 20 % de la valeur de l'ouvrage
Durée d'util. restante	d _r = 50 ans	conformément à la directive, ch. 4.1

Tab. B.1 Informations pertinentes sur la structure porteuse et sur son utilisation¹⁾ Pertinent uniquement pour l'utilisation de l'annexe E, norme SIA 269/8.

Occupation	Nombre	Heures/jour	Jours/semaine	Semaines/An	Occupation
Techniciens	15	8	5	52	$P_{B_1} = 3,5 \cong \frac{15 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
Conducteurs de locomotive / agents de la manœuvre	25	8	5	52	$P_{B_2} = 6 \cong \frac{25 \cdot 8 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
Cantine	50 ¹⁾	2	5	52	$P_{B_3} = 3 \cong \frac{50 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 52}{8736}$
					$PB = \sum PB_i = 12,5$

Tab. B.2 Calcul du taux d'occupation PB¹⁾ Les techniciens et les conducteurs de train se trouvant à la cantine ne sont pas prendre en compte, vu qu'ils sont déjà inclus dans l'occupation de 8 heures. 50 personnes viennent en supplément de l'extérieur.

B.3 Classe d'ouvrage

La classe d'ouvrage du poste de commande est déterminée conformément au chapitre 3.3 de la directive. L'exigence minimale pour la classe d'ouvrage CO_{min} est définie conformément aux informations du tableau 2. En raison de son utilisation et de son importance, le poste de commande est attribué à la classe d'ouvrage CO II-i. De plus, il fait partie de l'infrastructure d'un tronçon de la classe sismique de tronçon CST II et a une influence majeure sur la disponibilité de la ligne. L'ouvrage est donc attribué à la classe d'ouvrage CO II-i (voir Fig. B.1).

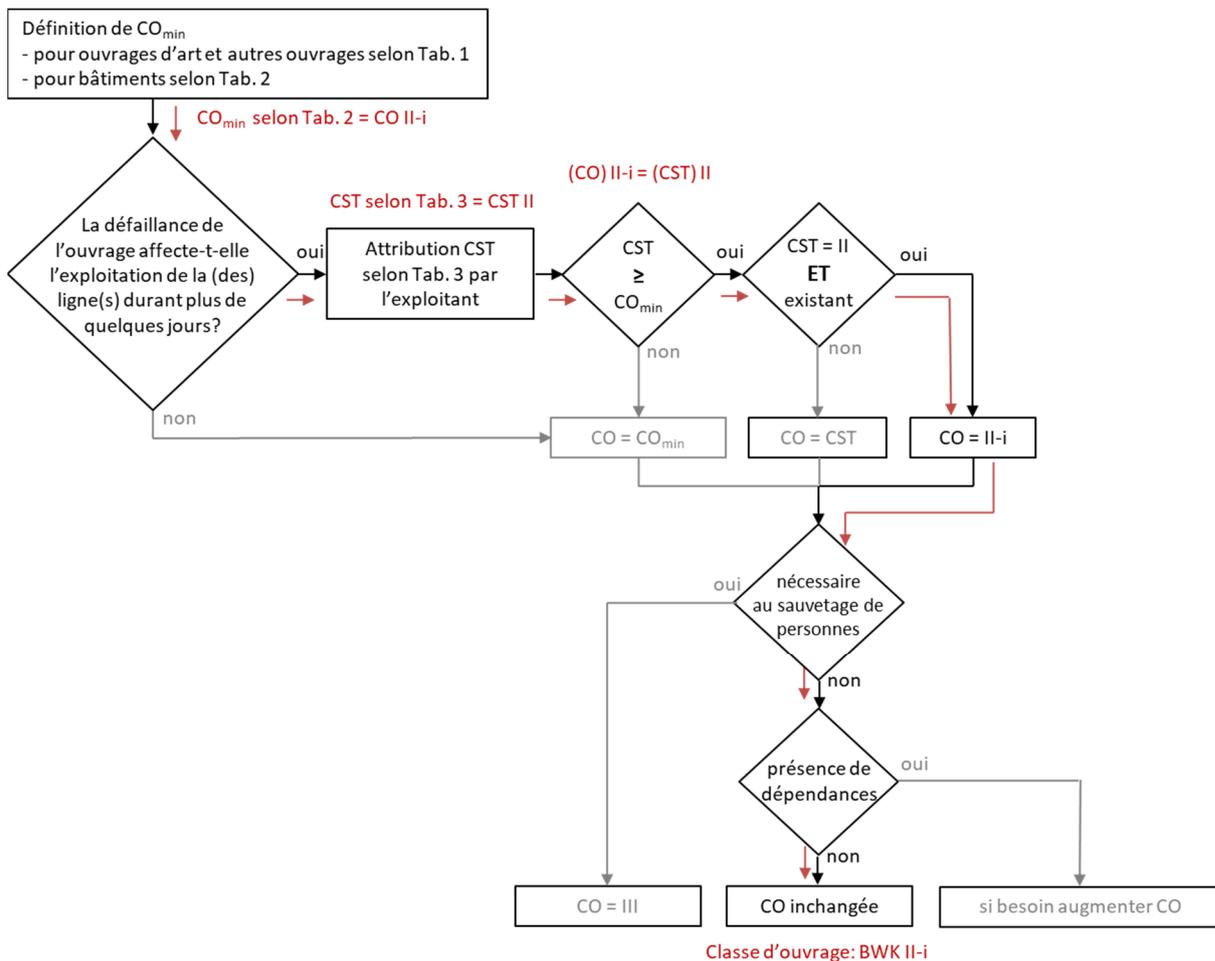


Fig. B.1 Séquence de détermination de la classe d'ouvrage conformément à la directive

En raison des conséquences considérables en cas d'une défaillance, le GI peut attribuer le poste de commande également à la classe d'ouvrage CO III. Bien que cette attribution ne soit ni exigée par la norme, ni par la directive, elle pourrait être appropriée compte tenu des coûts d'interruption élevés que le GI encourrait en cas d'incident.

B.4 Évaluation de la sécurité sismique

L'évaluation de la sécurité sismique donne un facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} = 0,25$ pour le poste de commande. Ce facteur se base sur les points faibles identifiés suivants.

Point faible	Fact. de conformité α_{eff}	Évaluation de la sécurité sismique
1) Structure porteuse, introduction des forces dans le sens longitudinal aux fondations et résistance au rez-de-chaussée et aux étages supérieurs.	0,45	Mesures nécessaires, dans la mesure où elles sont proportionnées
2) Structure porteuse, introduction des forces transversale aux étages supérieurs	0,75	Mesures nécessaires, dans la mesure où elles sont proportionnées
3) Structure porteuse, noyau transversal au sous-sol et au rez-de-chaussée	0,5	Mesures nécessaires, dans la mesure où elles sont proportionnées
4) ENIE divers murs intérieurs hors plan	0,25	Mesures nécessaires, car α_{eff} inférieur à $\alpha_{\text{min}} = 0,4$
Facteur de conformité déterminant structure porteuse	0,45	
Facteur de conformité déterminant des ENIE	0,25	

Tab. B.3 Résumé des facteurs de conformité α_{eff}

B.5 Recommandation d'intervention

B.5.1 Mesures visant à remédier aux points faibles

Mesure	Description	Coût total	Facteur de conformité local
a)	Amélioration de l'introduction des forces de la dalle et renforcement des parois dans le sens longitudinal ou remplacement par de nouveaux murs (point faible 1)	CHF 400 000.–	local $\alpha_{\text{eff}} = 0,45 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
b)	Renforcement de l'introduction des forces des murs dans le sens transversal dans les étages supérieurs (point faible 2)	CHF 300 000. –	local $\alpha_{\text{eff}} = 0,75 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
c)	Noyau de renforcement des forces transversales au sous-sol et au rez-de-chaussée, dans le sens transversal (point faible 3)	CHF 200 000. –	local $\alpha_{\text{eff}} = 0,5 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$
d)	ENIE Murs intérieurs hors plan : remplacement des murs par des cloisons légères appropriées (point faible 4)	CHF 100 000. –	local $\alpha_{\text{eff}} = 0,25 \rightarrow \alpha_{\text{int}} = 1,0$

Tab. B.4 Mesures visant à remédier aux points faibles

À partir de chacune des mesures, des ensembles de mesures sont formés pour améliorer la sécurité sismique globale de l'ouvrage. Le tableau B.5 présente les ensembles de mesures

1. EM_{min} (pour atteindre α_{min})
2. $EM_{1,0}$ (pour atteindre la sécurité normative de bâtiments neufs, c'est-à-dire $\alpha_{\text{int}} = 1,0$)
3. $EM_{0,75}$ (pour la mesure partielle $\alpha_{\text{int}} = 0,75$)

et leurs coûts. La figure B.2 illustre la variation de la sécurité sismique par ensemble de mesures.

Explications :

Les ensembles de mesures doivent être créés en principe, de telle sorte que les mesures qui doivent absolument être mises en œuvre pour atteindre l'objectif α_{min} soient d'abord combinées dans un ensemble de mesures EM_{min} . L'étape suivante consiste à élaborer un ensemble de mesures $EM_{1,0}$, qui comprend les mesures supplémentaires nécessaires pour atteindre un facteur de conformité de $\alpha_{int} = 1,0$ et à vérifier sa proportionnalité. Si celle-ci n'est pas donnée, il convient d'évaluer des ensembles de mesures visant à réduire progressivement les facteurs de conformité (par exemple, $EM_{0,7}$, $EM_{0,5}$ etc.) jusqu'à ce que la proportionnalité soit atteinte. Cette procédure est illustrée dans le graphique opérationnel de la figure 1.

Ensemble	Mesures	Coût de l'ensemble ¹⁾	Facteur de conformité global
$EM_{min}^{2)}$	d)	CHF 100 000.–	$\alpha_{eff} = 0,25 \rightarrow \alpha_{int,EMmin} = 0,45$
$EM_{1,0}$	a) + b) + c)	CHF 900 000. –	$\alpha_{int,EMmin} = 0,45 \rightarrow \alpha_{int,EM1,0} = 1,0$
$EM_{0,75}$	a) + c)	CHF 600 000. –	$\alpha_{int,EMmin} = 0,45 \rightarrow \alpha_{int,EM0,75} = 0,75$

Tab. B.5 Ensembles de mesures possibles pour augmenter le facteur de conformité global

¹⁾ Les coûts correspondent aux coûts d'investissement liés à la sécurité SIC_M selon ch. 10.7.4, norme SIA 269/8

²⁾ EM_{min} est nécessaire et doit être exécuté indépendamment du coût. Il est supposé à ce stade qu'il n'existe pas de mesure plus favorable pour atteindre le facteur de conformité minimal.

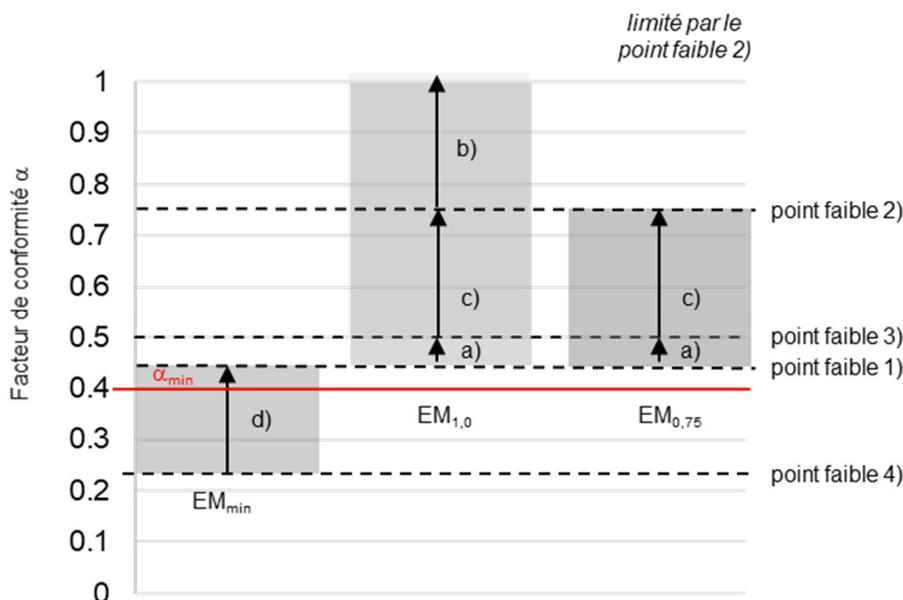


Fig. B.2 Visualisation des points faibles, des mesures et des ensembles de mesures

B.5.2 Évaluation de la proportionnalité

Les bases pour l'évaluation de la proportionnalité des ensembles de mesures sont énumérées au tableau B.6. Le tableau contient également des références à des chapitres de la norme SIA 269/8 ou, si cela est explicitement mentionné, à des chapitres du présent exemple ou de la directive.

Désignation	Formule et valeur	Référence
Durée d'utilisation restante	$d_r = 50 \text{ ans}$	Tab. B.1
Facteur d'escompte	$DF = \frac{i_d \cdot (1 + i_d)^{d_r}}{(1 + i_d)^{d_r} - 1} = \frac{0,02 \cdot (1 + 0,02)^{50}}{(1 + 0,02)^{50} - 1} \cong 3,2\%$	10.7.2, norme SIA 269/8 avec $i_d = 2\%$
Taux d'occupation	$PB = 13$	Tab. B.1
Valeur de l'ouvrage	$BW = 6 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Valeur des objets	$SW = 20 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Coûts d'interruption	$UK = 300 \cdot 10^6 \text{ CHF}$	Tab. B.1
Coût limite	$GK = 10^6 \text{ CHF}$	10.3.9, norme SIA 269/8
Facteur de risque pour les objets	$SRF = 0,2$	Tab. B.1
Facteur de risque lié à l'interruption	$URF = 0,5 \cdot 1J = 0,5$	E 4,6, norme SIA 269/8

Tab. B.6 Paramètres de calcul de la proportionnalité

Le calcul de la proportionnalité ou de l'efficacité des mesures est résumé ci-dessous pour les ensembles de mesures possibles.

Désignation	Formule	EM _{1,0}	EM _{0,75}	Référence
Facteur de conformité avant intervention	α_{eff}	0,45	0,45	Tab. B.5
Facteur de conformité après intervention	α_{int}	1,0	0,75	Tab. B.5
Différence Facteur de risque personnel	$\Delta PRF_M(\Delta\alpha)$	$\cong 3 \cdot 10^{-6}$	$\cong 2,3 \cdot 10^{-6}$	Fig. 7, norme SIA 269/8
Réduction du risque pour pers. [CHF/J]	$\Delta RP_M = \Delta PRF_M \cdot PB \cdot GK$	$\cong 370$	$\cong 290$	10.3.1, SIA 269/8
Différence taux d'infrastructure	ΔIS	$\cong 0,09\%$	$\cong 0,09\%$	10.4.7, SIA 269/8
Disposition à investir Fonction d'infrastructure [CHF/J]	$\Delta ZI_M = \Delta IS \cdot (BW + SW)$	$\cong 22\,500$	$\cong 22\,500$	10.4.6, SIA 269/8
Montant investi pour la sécurité [CHF]	SIC_M	900 000	600 000	Tab. B.5
Coûts imputable à la sécurité [CHF/J]	$SC_M = DF \cdot SIC_M$	$\cong 28\,600$	$\cong 19\,100$	10.7.1, SIA 269/8
Efficacité des mesures	$EF_M = \frac{\Delta RP_M + \Delta ZI_M}{SC_M}$	$\cong 0,8$	$\cong 1,2$	10.2.5, SIA 269/8
Montant maximal proportionné investi pour la sécurité [CHF].	$SIC_{EF=1} = \frac{\Delta RP_M + \Delta ZI_M}{DF}$	$\cong 720\,000$ < 900 000 pour EM _{1,0}	$\cong 717\,000$ > 600 000 pour EM _{0,75}	

Tab. B.7 Calcul de l'efficacité des ensembles de mesures EM

Ensemble de mesures	Décision	Explication
EM _{min}	Requis	Dans tous les cas, la mesure doit être exécutée.
EM _{1,0}	Disproportionné	L'ensemble de mesures n'est pas proportionné, puisque la mesure b) entraîne des coûts élevés par rapport à l'utilité qu'elle procure
EM _{0,75}	Proportionné	Le facteur de conformité global de 0,75 ne peut pas être augmenté sans la mesure b).

Tab. B.8 Évaluation de la proportionnalité

Pour le poste de commande considéré, l'ensemble de mesures $EM_{1,0}$, qui garantit l'état $\alpha_{int} \geq 1,0$ n'est pas proportionné et n'est pas à mettre en œuvre à l'heure actuelle. L'ensemble de mesures $EM_{0,75}$ est proportionnel et un facteur de conformité global de $\alpha_{int} = 0,75$ est ainsi atteint. Cette « mesure partielle » n'atteint pas l'objectif $\alpha_{int} \geq 1,0$ (ch. 9.4.1, norme SIA 269/8) en principe visé.

Explications :

Outre l'identification des points faibles et de la définition de mesures pour y remédier, il est décisif de connaître le montant disponible pour atteindre un α_{int} prescrit. Dans cet exemple, il est proportionné selon le tableau B.9 d'investir environ 0,72 million de francs pour atteindre un $\alpha_{int} = 1,0$, peu importe comment les ensembles de mesures sont finalement composés. Si l'objectif de $\alpha_{int} > 1,0$ ne peut être atteint avec les coûts d'investissement proportionnés maximaux, il faut retirer les mesures dont l'utilité est faible des ensembles de mesures.

Si un grand projet de construction est réalisé sur l'ouvrage, par exemple une remise en état complète, la proportionnalité doit également être mesurée en termes d'objectifs et de coûts du projet.

B.6 Comparaison de différentes classes d'ouvrages

Afin d'illustrer les différences par rapport à une attribution à une classe d'ouvrage CO II en tenant compte de l'annexe E de la norme SIA 269/8, les coûts proportionnés sont déterminés et comparés à ceux de la CO II-i. Dans cette comparaison, on suppose un facteur de conformité α_{eff} de 0,25. En plus de la réduction du risque aux personnes ΔRP_M , il faut tenir compte des biens à protéger objets ΔRB_M et exploitation ΔRU_M (annexe E de la norme SIA 269/8).

Pour une interprétation plus simple des résultats, ce n'est pas l'efficacité des mesures EF_M qui est calculée, mais le seuil de proportionnalité du montant investi pour la sécurité (avec $EF_M=1$).

Attribution Classe d'ouvrage	EM_{min}	$EM_{1,0}$	$EM_{0,75}$
<i>Modification du facteur de conformité par ensemble de mesures</i>			
CO II / II-i ¹⁾²⁾	0,25 → $\alpha_{int,EMmin} = 0,45$	0,45 → $\alpha_{int,EM1,0} = 1,0$	0,45 → $\alpha_{int,EM0,75} = 0,75$
<i>Montant investi pour la sécurité SIC_M [CHF]</i>			
CO II / II-i ¹⁾²⁾	100 000	900 000	600 000
<i>Montant maximal proportionné investi [CHF]</i>			
CO II, annexe E, forte proportion de ENIE	≅ 3 441 000	≅ 1 424 700	≅ 1 104 000
CO II-i ¹⁾²⁾	---	≅ 720 000	≅ 717 000

Tab. B.9 Coûts proportionnés maximaux pour différentes classes d'ouvrages

¹⁾ BSW = 26 millions CHF

²⁾ La mesure d) est requise et exécutée pour atteindre le facteur de conformité minimal de $\alpha_{min} = 0,4$.

Attribution selon la norme SIA 269/8	EM_{min}	$EM_{1,0}$	$EM_{0,75}$
CO II, annexe E, forte proportion de ENIE	Proportionné	Proportionné	Proportionné ¹⁾
CO II-i	Requis	Disproportionné	Proportionné

Tab. B.10 Évaluation de la proportionnalité pour l'attribution de l'ouvrage à différentes classes d'ouvrage

¹⁾ Dans ce cas, l'ensemble de sous-mesures $EM_{0,75}$ n'est pas exécuté car un facteur de conformité plus élevé est atteint avec $EM_{1,0}$

Pour le poste de commande considéré et dans l'hypothèse d'une classe d'ouvrage CO II avec une forte proportion de ENIE, toutes les mesures sont proportionnées et les ensembles de mesures EM_{\min} et $EM_{1,0}$ doivent donc être mis en œuvre. L'objectif $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ à viser en principe peut donc être atteint à des coûts proportionnés. La CO II-i montre l'influence du taux d'infrastructure, qui tend vers zéro pour les facteurs de conformité les plus élevés, quoique l'efficacité des mesures dépende principalement de la disposition à investir pour protéger la fonction d'infrastructure. Dans ce cas, l'objectif $\alpha_{\text{int}} \geq 1,0$ à atteindre en principe ne peut être justifié par l'efficacité des mesures.

Explications :

Pour la CO II et l'utilisation de l'annexe E, les coûts de l'ouvrage, des objets et de l'exploitation sont pris en compte, le risque inhérent à une interruption de l'exploitation exerçant la plus grande influence. Les risques pour les personnes et les objets sont inférieurs de plusieurs ordres de grandeur au risque global et sont donc négligeables.

Pour la CO II-i, toutes les valeurs de l'ouvrage et des objets directement concernés sont additionnées et multipliées par le taux d'infrastructure pour déterminer ce que l'on appelle la disposition à investir. Ce montant est égal à zéro si le facteur de conformité $\alpha_{\text{eff}} > 0,7$. Étant donné que les facteurs de conformité de l'ouvrage considéré sont nettement inférieurs à cette valeur pour $EM_{1,0}$ et $EM_{0,75}$ avant intervention, la disposition à investir pour protéger la fonction d'infrastructure est prépondérante dans le montant maximal proportionné investi.

Répertoire

La directive renvoie aux lois, ordonnances, directives, normes et publications suivantes, qui s'appliquent totalement ou partiellement au sens des références. La dernière édition respective (incluant toutes les modifications) fait foi.

- [1] Loi fédérale sur les chemins de fer du 20 décembre 1957 (LCdF), RS 742.101
- [2] Ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fer du 23 novembre 1983 (Ordonnance sur les chemins de fer, OCF), RS 742.141.1
- [3] Ordonnance sur la procédure d'approbation des plans des installations ferroviaires du 2 février 2000 (OPAPIF), RS 742.142.1
- [4] Directive OFT ad art. 3 de l'OPAPIF, Exigences relatives aux demandes d'approbation des plans (Dir. OPAPIF), Office fédéral des transports (OFT), Infrastructure et sécurité.
- [5] Directive OFT Organismes de contrôle indépendants Chemins de fer (Dir. OCI-CF), Engagement d'organismes de contrôle indépendants pour les évaluations de la conformité et de la sécurité lors des procédures d'autorisation ferroviaires, Office fédéral des transports (OFT), Infrastructure et Sécurité.
- [6] Directive ESTI n° 248, Sécurité sismique de la distribution d'énergie électrique en Suisse, Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI), Office fédéral des transports (OFT).
- [7] Règlement SIA 103 concernant les prestations et honoraires des ingénieurs civils
- [8] Norme de compréhension SIA 112, Modèle – Étude et conduite de projet
- [9] Normes SIA 260 à 267, Normes sur les structures porteuses (nouveaux ouvrages)
- [10] Normes SIA 269 ss. (en particulier SIA 269/8), Maintenance des structures porteuses (ouvrages existants)
- [11] Norme SIA 469, Conservation des ouvrages
- [12] Sécurité sismique des éléments non structuraux et autres installations et équipements. Recommandations et précisions pour la pratique, Office fédéral de l'environnement (OFEV), Connaissance de l'environnement N° 1643, 2016.
- [13] Documentation OFROU 82017, Sécurité sismique d'ouvrages en terre et de soutènement : dimensionnement et vérification, Office fédéral des routes (OFROU), 2019 (en allemand).
- [14] Documentation OFROU 82018, Sécurité sismique d'ouvrages en terre et de soutènement : exemples de cas, Office fédéral des routes (OFROU), 2019 (en allemand)