

Villars-sur-Glâne, le 17.04.2024

Convention d'utilisation : Projet de l'ouvrage

Pont de Zaehringen : Étape 2

Pont de Zaehringen

Remise en état et sécurisation contre les suicides



Maitre d'ouvrage :

Ville de Fribourg :
Direction de l'Edilité
Service du génie civil, de l'environnement et de l'énergie
Rue Joseph-Piller 7
1700 Fribourg

Ingénieur civil :

MGI Ingénieurs Conseils SA
Route du Petit-Moncor 14
1752 Villars-sur-Glâne

Table des matières

1	But et domaine d'application	3
1.1	Objectif	3
1.2	Délimitation	4
1.3	Bases	4
1.3.1	Normes	4
1.3.2	Documents de référence	4
1.3.3	Plans	5
1.4	Description de la structure porteuse existante	5
1.5	Projet de remise en état	6
2	Objectifs généraux pour l'utilisation	7
2.1	Objectifs du projet	7
2.2	Utilisation de l'ouvrage	8
2.3	Durée de service prévue	9
3	Environnement et exigences de tiers	9
3.1	Effets sur l'environnement (exigences et mesures de protection)	9
3.2	Exigences de tiers	9
3.3	Protection chauve-souris	9
3.4	Besoins de l'exploitation et de la maintenance	9
4	Prescriptions particulières du maître d'ouvrage	10
4.1	Choix du système	10
4.2	Evacuation des eaux de surfaces	10
4.3	Matériaux	10
4.3.1	Béton	10
4.3.2	Acier d'armature	10
4.3.3	Conception et esthétique	11
5	Objectifs de protection et risques spéciaux	11
5.1	Incendie	11
5.2	Séisme	11
5.3	Explosion	11
5.4	Choc de véhicules	11
5.5	Action malveillantes telles que sabotage ou terrorisme	12
5.6	Filet de sécurité sur parapet (à proximité du restaurant Teppan-Yaki)	12
5.7	Parapet du pont	12
6	Prescriptions normatives	13
6.1	Classe d'ouvrage	13
6.2	Transports exceptionnels :	13
7	Analyse de risques	13
7.1	Analyse de risques pendant la construction	13
7.2	Analyse de risques durant l'exploitation	14
8	Signatures	14

1 But et domaine d'application

1.1 Objectif

La convention d'utilisation fixe les objectifs généraux d'utilisation et de protection du Maître d'Ouvrage ainsi que ses exigences et prescriptions particulières. Le Maître d'Ouvrage (MO) est la ville de Fribourg, représentée par le service du génie civil, de l'environnement et de l'énergie.

Le projet vise à la requalification du pont et de la tête de pont de Zaehringen. Le concept de réfection de ce Pont et des 2 têtes de Pont a été élaboré par le bureau d'architecte Studio Montagnini Fusaro. Les aspects techniques liés au Pont tels que la superstructure de la chaussée, l'étanchéité ou la réfection des parapets ont été élaborés par le bureau MGI Ingénieurs SA. Les aspects techniques liés à la géométrie routière, aux nouveaux arrêts de bus et à la traversée piétonne au milieu du Pont (rayons de braquage, courbes de balayage, accostage, gabarits de chaussée, hauteurs des bordures, superstructure au droit des arrêts de bus) ont été élaborés et vérifiés par les bureaux Buchs & Plumey et Emch+Berger.

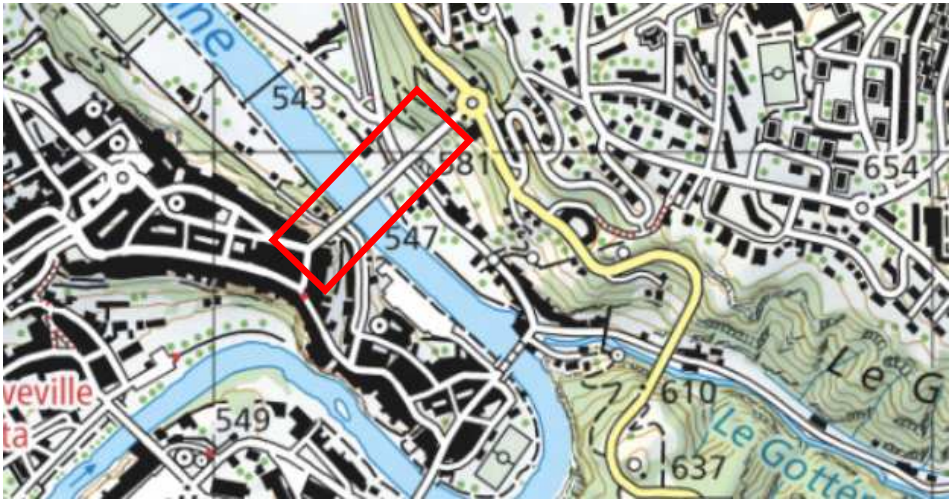


Figure 1 Extrait de la situation générale avec indication de la position de l'ouvrage

Géométrie	Dimensions
Gabarit	2 chaussées de 3.35 m dont une chaussée de 3.15m dans la zone d'arrêt de bus
	2 trottoirs d'une largeur variable de 2.0m à 2.66m
Largeur totale	11.50 m
Système de retenue	Bordure bouteroue en dehors de la traversée piétonne Parapet renforcé dans la zone de la traversée piétonne

Tableau 1 : Éléments intégrés dans l'ouvrage

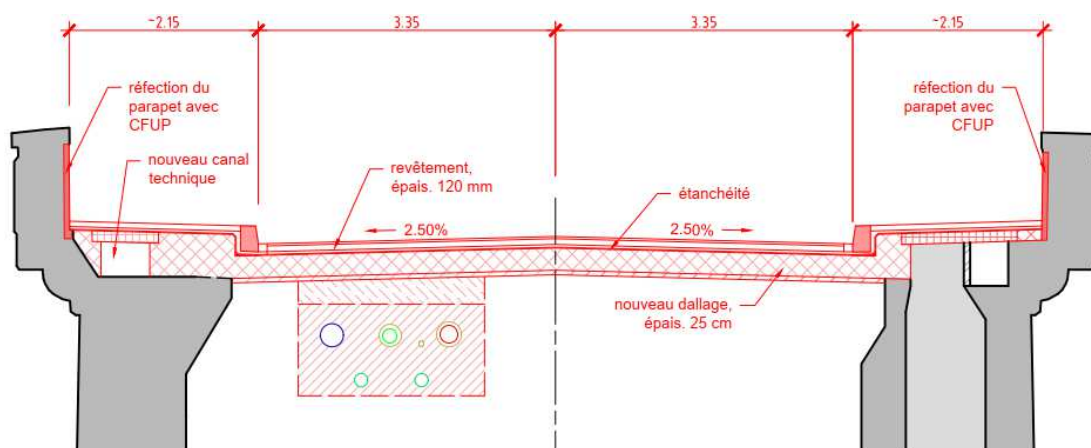


Figure 2 : Coupe type du pont supérieur après les travaux

1.2 Délimitation

La présente convention d'utilisation s'applique aux éléments d'ouvrage et travaux suivants :

- Superstructure de la chaussée
- Étanchéité du tablier
- Réfection et renforcement des parapets existants
- Renforcement du mur Teppan-Yaki et mise en place du filet anti-suicide

1.3 Bases

Les normes et documents suivants ont été utilisés :

1.3.1 Normes

- [1] SIA 260, Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses, 2003
- [2] SIA 261, Actions sur les structures, 2020
- [3] SIA 262, Construction en béton, 2017
- [3] SIA 263, Construction en acier, 2013
- [4] SIA 266, Construction en maçonnerie, 2003
- [5] SIA 266/2, Maçonnerie en pierres naturelles, 2012
- [6] SIA 267, Géotechnique, 2013
- [7] SIA 269, Base pour la maintenance des structures porteuses, 2011
- [8] SIA 269/6 -1, Maintenance des structures porteuses - Structures en maçonnerie, partie 1: pierres naturelles, 2011
- [9] VSS 40 324b, Dimensionnement de la structure des chaussées: Sol de fondation et chaussée, 2010

1.3.2 Documents de référence

- [11] Plans conformes à l'exécution, Ingéni SA, 2018
- [12] Rapport d'inspection, Ingéni SA, 31.10.2018

- [13] Sondages de l'ouvrage et infrastructure-pont supérieur, Ingéni SA, 16.05.2017.
- [14] Pont supérieur-étude de faisabilité technique, Ingéni SA, 28.11.2017.
- [15] Pont de Zähringen, rapport géotechnique, Muller & Perrottet SA, 2017
- [16] Pont de Zähringen, Essais sur béton, i.m.p, 29.11.2017
- [17] Pont de Zähringen – Dispositif anti-chutes, René Crottet SA, 23.11.2015
- [18] Prévention des suicides sur les ponts : rapport de suivi, OFROU, 2014
- [19] Pont de Zaehringen à Fribourg, conception de filet antisuicide, Emch+Berger AG Bern, 2021

1.3.3 Plans

- [20] Étape 1 : Plans d'exécution, MGI Ingénieurs Conseils SA, avril 2024
- [20] Étape 2 : Plan projet d'ouvrage, MGI Ingénieurs Conseils SA, avril 2024

1.4 Description de la structure porteuse existante

Le pont de Zaehringen, construit entre 1922 et 1924, est situé dans le quartier du Bourg de la Ville de Fribourg. Il se compose d'un pont supérieur dit « pont de Zaehringen » et d'un pont inférieur dit « Sous-pont ». Le pont de Zaehringen reprend un système massif des ponts en voûte en pierre et en maçonnerie, mais en utilisant le béton armé.

Le pont d'une longueur totale de 247 m est composé de 7 travées de 34 m de portée comme illustré à la Figure 1. Les piles sont en béton armé posées sur des fondations massives superficielles qui reposent sur la molasse. Le pont possède une deuxième chaussée, soit un tablier inférieur, traversant les piles à l'axe 2 et 4.

Du côté Fribourg, en face du restaurant Teppan-Yaki, un parapet surplombe un mur de soutènement reposant sur une falaise d'une hauteur totale de 22 mètres jusqu'au toit d'un parking situé en contre-bas.

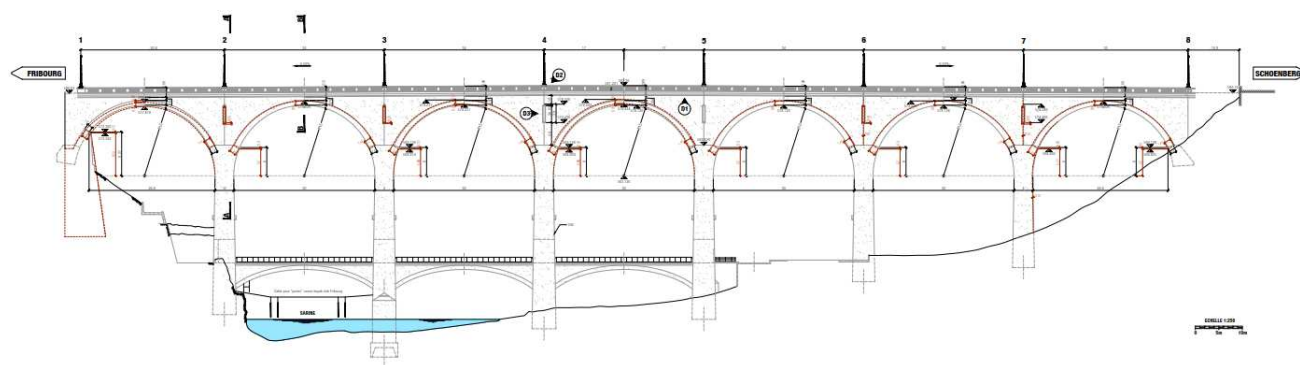


Figure 3 : Élévation amont du Pont

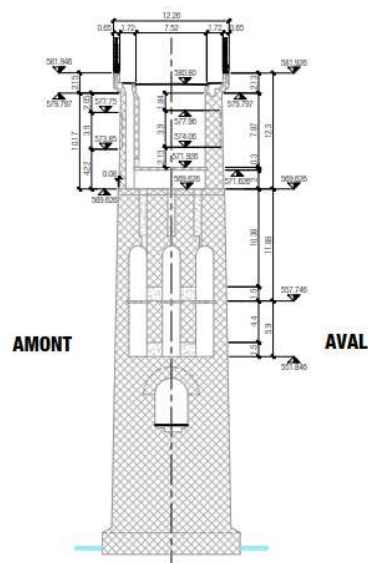


Figure 4 : Coupe transversale au droit des piles

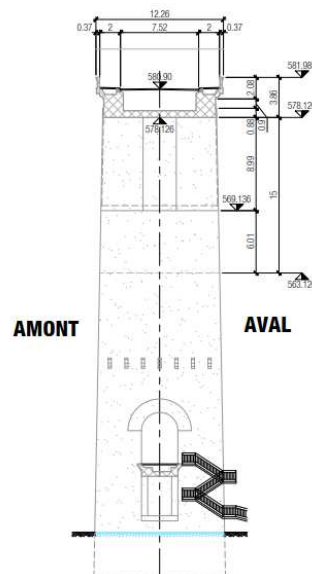


Figure 5 : Coupe transversale du tablier

1.5 Projet de remise en état

L'étape 2 du projet prévoit les travaux suivants :

- Amélioration du système étanchéité de la chaussée et des trottoirs du pont supérieur
- Réalisation de nouvelles conduites d'eau et de gaz sous la chaussée
- Traitement et mise en conformité du parapet du pont supérieur (armatures apparentes, épaufrures, décollement du mortier, efflorescences, etc.)
- Création de nouvelles dalles de transition aux extrémités du pont supérieur
- Pose d'un nouveau revêtement sur les chaussées et les trottoirs du pont supérieur
- Renforcement du mur Teppan-Yaki et mise en place du filet anti-suicide
- Réalisation des abris de bus positionnés aux extrémités du pont supérieur
- Clavage des joints de la dalle de roulement en béton armé du pont supérieur



Figure 6 : Coupe type du pont supérieur après les travaux

Les élévations et les vues en plan du filet anti-suicide sont présentées dans les figures ci-dessous :



Figure 7 : Filet anti-suicide mur Teppan-Yaki - vue en plan

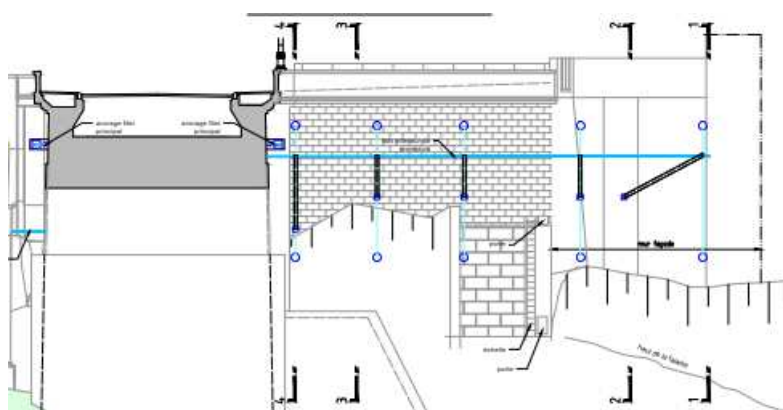


Figure 8 : Filet anti-suicide mur Teppan-Yaki – élévation

2 Objectifs généraux pour l'utilisation

2.1 Objectifs du projet

Les principaux objectifs du maître d'ouvrage peuvent être résumés comme suit :

- Obtenir un projet qui respecte la valeur patrimoniale de l'ouvrage
- Assurer une protection contre les suicides
- Améliorer la sécurité contre les chocs provenant des véhicules
- Réfectionner la superstructure et l'étanchéité du Pont supérieur
- Assurer un trafic bidirectionnel aux véhicules routiers
- Réaliser un ouvrage durable qui exige un entretien minimal

- Proposer l'usage de matériaux respectant les critères du développement durable, notamment par leur provenance, leur résistance et leur coût
- Nouveaux arrêts ainsi que les abribus de bus côté Bourg et côté Schönberg
- Assurer l'accessibilité piétonne aux arrêts de bus
- Améliorer la sécurité des piétons et assurer la perméabilité piétonne sur le Pont
- Intégrer des bordures avec une hauteur suffisante pour garantir un effet bouteroue
- Abaisser la vitesse à 30 km/h
- Optimiser les gabarits de chaussée à la suite du changement de régime de circulation.

2.2 Utilisation de l'ouvrage

Le but principal de l'utilisation du pont supérieur est de permettre le trafic de bus, tout en offrant un confort maximal aux usagers de la mobilité douce. Les types de trafic suivants sont prévus :

- Trafic routier bidirectionnel : modèle de charge 1 (SIA 261 :2020)
- Transports exceptionnels : néant
- Trafic non motorisé sur trottoir, y compris véhicules d'entretien de 2 tonnes

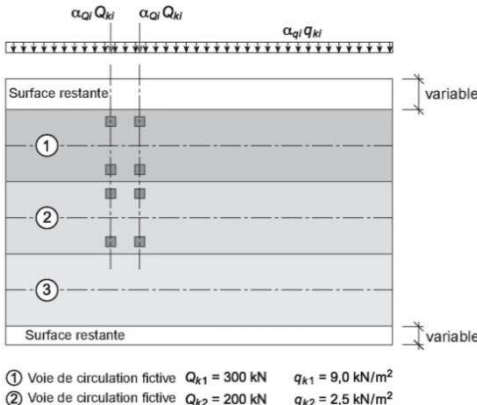
Actions	Valeurs caractéristiques
Trafic routier : modèle de charge 1	 <p>① Voie de circulation fictive $Q_{k1} = 300 \text{ kN}$ $q_{k1} = 9,0 \text{ kN/m}^2$ ② Voie de circulation fictive $Q_{k2} = 200 \text{ kN}$ $q_{k2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ ③ Voie de circulation fictive $q_{k3} = 2,5 \text{ kN/m}^2$ Surface restante $q_{kr} = 2,5 \text{ kN/m}^2$</p> <p>$\alpha_{qk1} = \alpha_{qk2} = \alpha_{qk3} = \alpha_{Qk1} = \alpha_{Qk2} = \alpha_{Qk3} = 0.90$</p>
Trafic routier : hors ouvrage (charge répartie)	$q_k = 25.0 \text{ kN/ m}^2$
Trafic non motorisé : Trottoir du pont	$q_k = 4.0 \text{ kN/ m}^2$ Véhicule d'entretien < 2.0 To
Trafic non motorisé : Trottoir hors pont	$q_k = 5.0 \text{ kN/ m}^2$ Véhicule d'entretien < 2.0 To

Tableau 2 : Descriptif des charges liées au trafic

2.3 Durée de service prévue

Le tableau ci-dessous présente les durées d'utilisation des éléments suivants :

Élément	Durée d'utilisation
Structure porteuse	100 ans
Étanchéité et couche de protection	50 ans
Drainage et évacuation des eaux	50 ans
Revêtement (couche de protection / liaison)	25 ans
Revêtement (couche de roulement)	25 ans
Filet anti-suicides	80 ans

Tableau 3 : Durée d'utilisation

3 Environnement et exigences de tiers

3.1 Effets sur l'environnement (exigences et mesures de protection)

Le pont de Zaehringen, ouvrage historique de la ville de Fribourg, est implanté dans le quartier du Bourg et franchit le cours d'eau de la Sarine. L'ouvrage est situé en secteur Au de protection des eaux. Des précautions appropriées seront prises pendant les travaux afin de protéger l'environnement du cours d'eau.

3.2 Exigences de tiers

Le contexte et les exigences de tiers concernant le projet sont les suivants :

- La valeur patrimoniale du pont doit être conservée
- Les parapets existants doivent être conservés
- Le service des biens culturels de l'Etat de Fribourg, les transports Publics Fribourgeois et le Service Urbanisme et Architecture de la Ville de Fribourg doivent être consultés pour l'établissement du projet de remise en état et de mise en place du dispositif anti-suicide du côté du Teppan-Yaki.

Le contexte et les exigences de tiers durant les travaux sont les suivants :

- La conservation d'une voie de circulation en tout temps sur le pont pour le maintien de l'exploitation des lignes des Transports Publics Fribourgeois

3.3 Protection chauve-souris

Des mesures sont prises lors de travaux de remise en état pour favoriser et protéger les chauves-souris

3.4 Besoins de l'exploitation et de la maintenance

Les besoins de l'exploitation et de la maintenance sont mentionnés ci-dessous :

- Trottoirs d'une largeur minimale de 2m au droit des ancrages des luminaires pour le pont supérieur

4 Prescriptions particulières du maître d'ouvrage

4.1 Choix du système

Il n'y a pas des joints des chaussées ni d'appareils d'appuis sur les culées pour réduire les mesures et les coûts d'entretien. Le revêtement est drainé par des drains-spirale.

La composition du système d'étanchéité et revêtement de la surface carrossable. Il sera composé d'une vitrification époxy, d'un Lés de bitume polymère, d'une protection d'étanchéité et de deux couches de revêtement bitumineux.

4.2 Évacuation des eaux de surfaces

Le principe de récupération des eaux de surface consiste, dans la mesure du possible, à maintenir les points de récolte existants, reliés aux réseaux d'eaux claires en place, afin d'effectuer un minimum d'interventions sur les collecteurs souterrains. Les surfaces de récoltes du projet sont égales à celles existantes, ce qui permet de conserver le principe de récupération des eaux.

Plus précisément :

- Les points de récoltes sur le Pont (avec bordures gueulard et descente dans les piles) sont maintenus. Les bordures avec gueulard sont simplement déplacées de 30cm à l'intérieur de la chaussée due à l'élargissement du trottoir.
- La faible pente longitudinale (0.5%) implique la mise en place de planelle d'écoulement en pierre naturelle le long des bordures pour permettre à l'eau de s'écouler jusqu'aux bordures gueulards. Ce principe de récolte est déjà utilisé actuellement sur le pont de Zaehringen et répond correctement aux besoins.
- Au droit des 2 arrêts de bus, des caniveaux monobloc de classe de résistance F900, type Hydroblock 100 de chez BGS, sont mis en place tout le long de la bordure à +22cm car ces arrêts de bus se situent dans un point bas du profil en long (cuvette).

4.3 Matériaux

4.3.1 Béton

Les types de béton utilisés pour les différentes parties de l'ouvrage sont donnés au

Partie d'ouvrage	Classe de béton	Propriétés
Dallage en béton armé	C30/37	Étanche, GDS et résistant à la RAG
Socle abribus	C30/37	Étanche, GDS et résistant à la RAG
Dalle de transition	C30/37	Étanche, GD et résistant à la RAG
Parapets	CFUP Sorte UB	Étanche, GDS et résistant à la RAG

Tableau 4 : Propriétés des bétons utilisés

4.3.2 Acier d'armature

Les types de l'armature utilisée pour les différentes parties de l'ouvrage sont donnés au tableau 5.

Parties d'ouvrage	Désignation
Ensemble de l'ouvrage	B500B

Tableau 5 : Type d'acier d'armature passive utilisée

4.3.3 Conception et esthétique

Exigences esthétiques

Les exigences en matière de fissuration selon la norme SIA262 sont données dans le tableau suivant :

Partie d'ouvrage	Exigences	Exigence aspect
Dallage en béton armé	Élevées	-
Socle abribus	Élevées	Plan de calepinage
Dalle de transition	Normales	-
Parapets	Élevées	Plan de calepinage

Tableau 6 : Exigences esthétiques

Déformations

Flèches (déformations) de la structure est définie selon le tableau 7 de la Norme SIA 260 (2013)

Corrosion des armatures

Enrobage des armatures est défini selon la classe d'exposition de l'élément.

5 Objectifs de protection et risques spéciaux

5.1 Incendie

Les incendies sur ou sous le pont génèrent des dommages qui sont acceptés comme risques. L'entreposage de matériaux inflammables sous le pont est interdit.

La résistance au feu des éléments porteurs est R 60

5.2 Séisme

Le pont se situe sur un axe de circulation d'importance majeure après un séisme et est, de ce fait, classé CO III selon SIA 261, chiffre 16.3.

La zone sismique considérée selon la SIA 261 : Z1b

5.3 Explosion

Ce risque est accepté par le MO

5.4 Choc de véhicules

L'abaissement du niveau de la chaussée permet la mise en place d'une bordure bouteroue de 20 cm qui empêchera les véhicules de heurter le parapet existant. Seules les forces horizontales exercées par les piétons sont prises en compte.

Toutefois, au niveau de la traversée piétonne, où il n'est pas possible d'empêcher les chocs des véhicules, ces derniers doivent être pris en considération lors du dimensionnement du parapet. Il est considéré que le choc d'un véhicule contre le parapet selon la directive Astra 12008 « Choc provenant de véhicules routiers ».

Zones	Type de choc	Valeur de calcul
Route à l'intérieur des localités	Choc latéral contre paroi	$Q_{d,y} = 200\text{kN}$ agissant sur une largeur de 1.5 m $h_{\alpha} = 0.75 - 1.5\text{m}$

Tableau 7 : Valeurs de dimensionnement au risque de choc

5.5 Actions malveillantes telles que sabotage ou terrorisme

Les risques liés aux actions malveillantes telles que le sabotage ou le terrorisme sont considérés comme admis compte tenu de leur caractère aléatoire et non maîtrisable.

5.6 Filet de sécurité sur parapet (à proximité du restaurant Teppan-Yaki)

Du côté Fribourg, en face du restaurant Teppan Yaki, un parapet surplombe un mur de soutènement reposant sur une falaise d'une hauteur totale de 22 mètres jusqu'au toit d'un parking situé en contre-bas. Il est à mentionner qu'un suicide par saut depuis ce parapet a eu lieu en 2017.

Suite à l'inspection et à l'évaluation du Prof. Dr. Med. Thomas Reisch, qui est l'auteur du rapport « Prévention des suicides sur les ponts » de l'OFROU en 2014, il a été conclu qu'un filet de sécurité était nécessaire à cet endroit afin de prévenir les chutes sur le parking. La solution retenue consiste à installer un filet de sécurité situé à environ 4.50 mètres en dessous du niveau supérieur du parapet.

Ce filet est élaboré selon la même conception que celui qui sera installé sur toute la longueur du pont, assurant ainsi une intégration harmonieuse et une continuité visuelle cohérente. Cette approche garantira donc non seulement la sécurité des personnes se trouvant à proximité du parapet, mais également une esthétique uniforme sur l'ensemble du site.

Des ancrages précontraints seront forés à travers le mur de soutènement pour transférer les charges du filet en profondeur dans le sol permettant aussi de renforcer le mur existant pour répondre aux normes actuelles. Un massif de fondation sera construit à l'arrière du mur pour améliorer sa stabilité et la charge admissible à cet endroit sera limitée à 5kN/m².

5.7 Parapet du pont

Des dégradations sporadiques du béton ainsi que des joints entre les éléments et les consoles porteuses ont été constatées sur les parapets du pont supérieur. Des sondages destructifs ponctuels effectués en juillet 2018 ont révélé que ces éléments sont très faiblement ancrés. En effet, seule la liaison avec la console du pont est assurée par deux barres d'armature dans la partie pleine du parapet. Les armatures sont fortement corrodées, avec une perte de section estimée à 10%. De plus, le béton est fortement contaminé par les chlorures, ce qui présente un risque élevé de corrosion.

Les mesures constructives adoptées consistent à abaisser le niveau de la chaussée afin de permettre la mise en place d'une bordure bouteroue de 20 cm, qui empêchera les véhicules de heurter le parapet. Seules les forces horizontales exercées par les piétons sont prises en compte. Toutefois, au niveau de la traversée piétonne, où il n'est pas possible d'empêcher les chocs des véhicules, ces derniers doivent être pris en considération lors du dimensionnement du parapet.

Étant donné que le béton est fortement contaminé par les chlorures sur toute la surface du parapet, il est nécessaire de le remplacer sur l'épaisseur contaminée et de reconstituer la surface avec un béton fibré à haute résistance. Les armatures fortement corrodées seront dégagées et brossées pour éliminer la corrosion, et celles qui sont sévèrement corrodées seront remplacées.

6 Prescriptions normatives

Sous l'angle de la sécurité structurale, de la durabilité et de l'aptitude au service, tous les éléments de construction doivent satisfaire aux exigences des normes, directives OFROU, directives cantonales et manuels techniques actuels. Les vérifications de la sécurité structurale et de l'aptitude au service se basent sur les normes SIA de structures porteuses en vigueur.

6.1 Classe d'ouvrage

Classe d'ouvrage CO III, infrastructure ayant une fonction vitale.

6.2 Transports exceptionnels :

Néant

7 Analyse de risques

7.1 Analyse de risques pendant la construction

Scénarios possibles	Mesures prises	Risques
Impact de véhicules	Signalisation adéquate Glissière provisoire et dispositifs de retenue aux endroits exposés	Accidents
Chute de personnes et/ou d'objets depuis le chantier	Mise en place d'un échafaudage avec platelage de protection 'étanche' le long des voûtes Port du casque	Risque minimisé
Nuisances lors des travaux (vibration, poussières, éclats, bruit)	Mise en place d'un échafaudage avec platelage de protection 'étanche' le long des voûtes Limiter voire interdire, l'utilisation d'engin à percussion lourd de type 'Montabert'	Microfissures dans la structure existante du pont Remise en état après travaux
Pollution des eaux	Contrôle et traitement des eaux de chantier Prise en compte des directives de protection des eaux Échafaudage avec platelage de protection 'étanche'	Risque minimisé
Dégât sur les routes et canalisations dû au trafic de chantier	Etat des lieux avant travaux Suivi des déformations durant les travaux Sondage de reconnaissance	Remise en état après travaux
Suicide	Maintien du filet anti-suicide horizontal	Risque minimisé
Séismes	Néant	Risque accepté
Explosion	Néant	Risque accepté

Tableau 8 : Analyse de risques pendant la construction

7.2 Analyse de risques durant l'exploitation

Scénarios possibles	Mesures prises	Risques
Accélération de la corrosion des armatures due à la présence de chlorures	Inspection et investigations	Dégâts locaux Mesures d'assainissement
Suicide	Installation d'un filet anti-suicide horizontal du côté Teppan Yaki	Risque minimisé
Infiltration d'eau	Mise en place d'un tablier en béton armé continu Remplacement du système de canalisations existantes Système d'étanchéité et de récolte des eaux soignées	Risque minimisé
Incendie ou explosion d'un véhicule routier sur l'ouvrage	Aucune mesure	Dégâts locaux à la structure
Explosion, vandalisme	Aucune mesure	Dégât à la structure

Tableau 9 : Analyse de risques durant l'exploitation

8 Signatures

La convention d'utilisation est validée par les différents intervenants :

Maître d'ouvrage

Ville de Fribourg

Auteur du projet

MGI ingénieurs SA
Directeur adjoint
Anh Khoa Phung

MGI ingénieurs SA
Chef de projet
Frederico Domingues