SBB CFF FFS

12.101.
07

DE-OCF
N° de ligne: **150**
Désignation: **Lausanne – Genève-Aéroport**
km: **3.982 – 6.215**

Canton: **Vaud**
Communes: **Bussigny, Crissier, Ecublens et Renens**

Projet: **EA 35 – Renens : Modification tête Ouest**
N° ISP: 1161163

Phase: **Procédure d'approbation des plans**

Auteurs:

Suppléance du maître d'ouvrage CFF
Département/UO I-AEP-LEM-MOR-MPJ
Nom: Frédéric Restani
Date: 30.09.2026
Signature: Frédéric Restani - I-AEP-LEM-MOR-MPJ
CFF Infrastructures - 1020 Renens, 1 oct. 2026
SEQ Signature électronique qualifiée · Droit suisse
Signé sur Skribble.com

Chef de Team CFF
Département/UO: I-AEP-LEM-MOR-MPJ
Nom: Michaël Delli Gatti
Date: 30.09.2026
Signature: Michael Delli Gatti
1 oct. 2026
SEQ Signature électronique qualifiée · Droit suisse
Signé sur Skribble.com

Murs de guidage et piles existantes
Rapport d'expert

Version A 30.09.26 - 1ère version

CFF SA, Infrastructure, Projets d'aménagement et de renouvellement, Renens Rue de la Gare de Triage 7, CH – 1020 Renens

Le présent document est protégé par le droit d'auteur. Toute utilisation à des fins commerciales requiert une autorisation préalable expresse.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

EA2035 Renens : modification Tête Ouest
Ligne 150, km 3.982 - 6.215

Rapport d'examen
Prolongement et rehaussement des Murs de guidage CFF et vérification de piles de pont existantes

Procédure d'approbation des plans

50289_RP_02-C

Adrien Salvo et Damien Dreier

30.09.2026

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

structurame
www.structurame.com

EA2035 Renens : modification Tête Ouest
Ligne 150, km 3.982 - 6.215

Rapport d'examen
Prolongement et rehaussement des Murs de guidage CFF et vérification de piles de pont existantes

Procédure d'approbation des plans

50289_RP_02-C

Adrien Salvo et Damien Dreier

30.09.2026

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

Historique du document

Indice	Date	Modifications
A	10.08.2026	1ère émission (après rapport préliminaire)
B	14.09.2026	Mise à jour suite aux réponses de l'APR du 18.08 et 09.09.2026, et expertise Geotech du 28.08.2026
C	30.09.2026	Mise à jour selon CU(v3)/BP(v3)/NDC(v5) de l'APR du 22.09.2026, et expertise Geotech du 28.09.2026

La version actuelle de ce rapport (indice C) est une mise à jour de la version précédente.
Elle contient :

- les charges/remarques/recommandations désormais obsolètes ou prises en compte par APR - ~~couleur gris et barrées~~
- les charges/remarques/recommandations mises à jour - couleur bleu

Cette méthode a été adoptée afin de simplifier le suivi des remarques et l'évolution du projet.

Auteur du projet :
Groupement InfraW c/o
ATB SA Ingénieurs-conseils
Christian Simonin
Rue Industrielle 15
2740 - Moutier

Client :
Chemins de fer fédéraux suisses CFF
Infrastructure - Projets Région Ouest
Rue de la Gare de Triage 7
1020 - Renens

Tous droits réservés © 2026 structurame SA
Le contenu de ce rapport, incluant les textes et les figures, est protégé par des lois suisses et étrangères sur le droit d'auteur et la propriété intellectuelle. Ce rapport ne peut pas être reproduit en tout ou partie sans l'autorisation écrite de *structurame SA*.
Publié le 30.09.2026

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

Table des matières

1 Mandat **1**
1.1 Maître de l'Ouvrage . . . 1
1.2 Description du mandat . . . 1
1.3 Auteur du projet . . . 1
1.4 Autodéclaration de la compétence professionnelle par l'expert . . . 1

2 Liste pièces reçues **2**
2.1 Documents et rapports expertisés . . . 2
2.2 Plans expertisés . . . 2
2.3 Pièces - Hors expertise . . . 2

3 Méthode de l'examen **3**
3.1 Mise à jour . . . 3

4 Examen de la CU et de la BP **4**
4.1 Convention d'utilisation . . . 4
4.2 Base de projet . . . 4
4.3 Conception . . . 5

5 Examen des plans **6**

6 Examen de la note de calcul **7**
6.1 Murs de guidage et piles de pont existantes . . . 7
6.1.1 Contre-calcul de l'expert . . . 7
6.1.2 Note de calcul de l'APR . . . 8

7 Conclusion **10**
7.1 Charges . . . 10

8 Signature **11**

A Annexes **12**
A.1 Expertise géotechnique de Lombardi SA . . . 12
A.1.1 Rapport du 28.09.2026 . . . 12

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

1 Mandat

1.1 Maître de l'Ouvrage

Les CFF assument la fonction de maître d'ouvrage pour le projet de "Modification de la tête Ouest" dans le cadre du projet EA2035 Renens. En ce point d'intersection de 3 ponts de la route nationale N1 et de 6 voies CFF de la ligne 150, le projet vise à sécuriser cette zone à risque du point de vue du déraillement de train, et en particulier du choc ferroviaire susceptible de survenir contre les piles des ponts 2 et 3b. Le projet se situe sur le territoire de la commune d'Ecublens (VD).

1.2 Description du mandat

Le projet concerne la réalisation du prolongement et du rehaussement de murs de guidage CFF existants, jouant le rôle d'ouvrage de protection des piles de ponts (existantes et projetés par l'OFROU) au cas de choc ferroviaire. Le projet implique également la vérification des piles de pont existantes (pile P30 du pont 2 et pile P90 du pont 3b) au cas de choc ferroviaire.
Les nouvelles piles, dans le cadre du projet « Suppression du goulet d'étranglement de Crissier – Echangeur d'Ecublens » ne font pas partie du projet étudié ici.

Dans le cadre du présent mandat d'expertise, une étude des documents de l'auteur de projet (APR) est faite, et une analyse des éléments de structure (murs de guidage transformés ainsi que piles de pont P30 et P90 existantes) est réalisée pour les états-limites de type 2. Les différentes pièces analysées sont présentées au chapitre 2. Les aspects géotechniques et les hypothèses des sols impactant les vérifications de la structure, ne font pas partie du mandat. Un expert géotechnique (M. Azad Koliji du bureau Lombardi SA) s'occupe de ces aspects et fournit les documents spécifiques (que nous reprenons dans ce rapport sous forme d'annexe).

1.3 Auteur du projet

Le projet a été établi par le bureau ATB SA Ingénieurs conseils, Rue Industrielle 15, 2740 Moutier, pour le compte du Groupement InfraW.

1.4 Autodéclaration de la compétence professionnelle par l'expert

L'expert, Damien Dreier du bureau structurame sa, auteur de ce document, déclare :

- Posséder la compétence professionnelle requise et s'estime apte à effectuer les examens nécessaires;
- Avoir effectué les examens avec l'expert adjoint et chef de projet, Adrien Salvo, et avec le soutien d'un ingénieur de projet, Loïc Pichard, pour les calculs et la rédaction du rapport;
- Être indépendant par rapport à l'auteur du projet, ne pas avoir d'idée préconçue sur le dossier à traiter et ne retirer aucun intérêt personnel quant au résultat de l'examen;
- N'avoir fourni à aucun moment du projet des prestations en rapport avec l'objet à examiner sortant du cadre de l'expertise.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

2 Liste pièces reçues

2.1 Documents et rapports expertisés

Les documents vérifiés par l'expert et faisant l'objet de ce rapport sont les suivants :

[1] Convention d'utilisation : Murs de guidage et vérification des piles existantes :
~~V1 , datée du 29.06.2026~~
~~V2 , datée du 17.08.2026~~
V3 , datée du 22.09.2026 ;

[2] Base du projet : Murs de guidage et vérification des piles existantes :
~~V1 , datée du 29.06.2026~~
~~V2 , datée du 17.08.2026~~
V3 , datée du 22.09.2026 ;

[3] Note "Calculs statique" : Murs de guidage et vérification des piles existantes :
~~V2 , datée du 13.07.2026~~
~~V4 , datée du 08.09.2026~~
V5 , datée du 22.09.2026 , 2ème version mise à jour le 23.09.2026 .

2.2 Plans expertisés

[4] 5887-33-100 : Plan "EA35 - Renens : Modification tête Ouest (Plan de situation et coupes; Murs de guidage)" :
~~indice - , daté du 19.06.2026~~
~~indice B , daté du 21.08.2026~~
indice - (mais devrait être indice C) , daté du 28.09.2026 (mais transmis le 23.09.2026) .

2.3 Pièces - Hors expertise

~~Le rapport géotechnique suivant à été fourni par l'APR :~~

[5] ~~rapport "Modèle EF 3D" , bureau GEOMOD , daté du 11.05.2026~~

~~Les paramètres géotechniques provenant de ce rapport constituent (en complément des autres rapports de l'APR) des données de base pour notre examen et ne font pas l'objet d'une vérification dans ce présent document.~~

Le document suivant a été fourni par l'expert géotechnique, M.Azad Koliji du bureau Lombardi SA :

[6] ~~"2025.0097.006_Rapport-Expertise_Renens TO_Murs de guidage_Lombardi SA.pdf" , bureau Lombardi SA, daté du 23.07.2026~~

[7] ~~"Rapport-Expertise_Renens TO_examen reponses_20260828.pdf" , bureau Lombardi SA , transmis le 28.08.2026~~

[8] ~~"Rapport-Expertise_Renens TO_examen NDC V4_20260914.pdf" , bureau Lombardi SA , transmis le 14.09.2026~~

[9] "Rapport-Expertise_Renens TO_examen NDC V5_20260925.pdf" , bureau Lombardi SA , transmis le 28.09.2026

Ce document a été transmis à l'APR à la date indiquée, et est intégré ici en tant qu'annexe (annexe A.1). Il ne fait pas l'objet d'une vérification dans ce présent document.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

3 Méthode de l'examen

Le présent rapport de contrôle se fonde sur l'analyse des documents mentionnés au chapitre 2.

Un contre-calcul succint a été réalisé pour les murs de guidage et pour les piles de pont existantes. Un modèle numérique de comparaison ainsi que des calculs de pointages ont été effectués afin de vérifier les ordres de grandeur et les vérifications principales.

La méthode d'examen est la suivante :

- Examen de la convention d'utilisation, de la base de projet et de la conception;
- Examen des plans;
- Établissement d'un contre-calcul indépendant;
- Examen de la note de calcul et cohérence avec le contre-calcul.

Lors de l'examen, la typologie suivante est appliquée :

(C) = Charge;
(EXE) = Remarque non significative sur la vérification ELU/ELS, à corriger au plus tard lors du projet d'exécution;
(R) = Recommandation et/ou éventuelle optimisation possible.

~~couleur gris et barrées~~ = Les charges/remarques/recommandations désormais obsolètes ou prises en compte par APR;
couleur bleu = Les charges/remarques/recommandations mises à jour.

3.1 Mise à jour

La mise à jour de ce rapport se concentre sur la vérification de la prise en compte, dans les derniers documents de l'APR, des éléments relevés dans les versions précédentes du rapport d'expertise.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

4 Examen de la CU et de la BP

4.1 Convention d'utilisation

La convention d'utilisation (CU) est globalement bien rédigée, complète et bien construite.

Il est tout de même relevé :

CU-1 §8 - Signature
(EXE) La convention d'utilisation n'est pas signée.

4.2 Base de projet

La base de projet (BP) est globalement bien rédigée, complète et bien construite.

Il est tout de même relevé :

BP-1 ~~3.3 et §5.1.1 - Coefficients de poussée des terres~~
~~(EXE) Indiquer les valeurs numériques de Ko et Kp considérées. Clarifier et corriger les formulations et utilisation, selon également les remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~

BP-2 §4.1.1 - Description du Système statique
~~(C) Confirmer la hauteur pérenne du remblais, selon également les remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~
(EXE) Corriger la phrase "La zone entre les butons 3 et 4 est composée de 2 murs sans appuis intermédiaires, appuyés sur les murs du ruisseau de la Sorge." : les 2 murs ne sont en réalité pas considérés par l'APR comme appuyés sur les murs du ruisseau de la Sorge. Noter également que ces murs du ruisseau de la Sorge ne sont pas vérifiés par l'APR.
+ Noter que la hauteur de remblai est prévue à 3m dans certaines zones définies par l'APR (notamment entre axes 3 et 7).

BP-3 ~~§4.1.2 - Conditions d'appui~~
~~(EXE) Pour les ressorts des sols sous semelles,~~ **~~expliciter la provenance des valeurs Kx, Ky, Kz~~** ~~considérées. Nommer le géotechnicien du projet et référencer les documents servant de base aux hypothèses.~~

BP-4 §4.1.2 - Conditions d'appui
~~(C)~~ (EXE) Pour les caractéristiques des sols sous semelles et contre pieux, donner les valeurs de résistances (ELS/ELU) (contraintes admissibles, déformations admissibles).
Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "En situation accidentelle (ELU), le dimensionnement vise principalement à garantir le maintien de l'intégrité et de la fonction de l'ouvrage, ainsi qu'à limiter ses déplacements (...) Des vérifications de glissement et de résistance/rupture du terrain ont été réalisées sous l'action accidentelle. Les contraintes et déformations admissibles sont ainsi à apprécier en cohérence avec ces vérifications et avec les critères de déplacement nécessaires pour garantir que le mur impacté ne vienne pas interférer avec une des piles P30 et P90."
Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi. Nous relevons cependant que les valeurs fournies par l'Institut Géotechnique ne semblent valables que pour des largeurs de sollicitation de 3.00m à 5.00m. Il nous semble que ces valeurs devront être mises à jour pour considérer les largeurs considérées par l'APR (au §7.1 selon [3] : "Pour la vérification, nous tenons compte d'une reprise du choc ferroviaire par les murs, butons et terrain, sur une largeur de 3 travées" ce qui représente une largeur de 15 à 18m.
Rappel de la remarque de l'expert géotechnique ([9]) : "Pour la phase d'execution, Il est recommendé

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

de revérifier et valider les hypothèse des calculs de stabilité au glissement en fonction de l'emplacement effectif des butons et la phasage de construction, et si besoin de réaliser des calculs complementaires."

BP-5 ~~§5.1.3 - Actions exceptionnelles sur piles de ponts existantes~~
~~(C) L'hypothèse de l'APR communiquée le 13/07/2026 "nous avons considéré que le choc de train agissait directement sur un élément de bord, sans impacter la partie centrale" doit être explicitée dans la base de projet, pour bonne prise de connaissance et acceptation par le MO/l'OFT.~~

BP-6 §10 - Signature
(EXE) La base de projet n'est pas signée.

4.3 Conception

La conception soulève les questions suivantes :

CO-1 Appui sur murs du tunnel de la Sorge
(R) Nous notons que la zone de murets de guidage existants passant au-dessus de la Sorge sont modélisés sans appuis vertical ni appui horizontal, alors qu'en réalité il y a les murs du tunnel de la Sorge et des connecteurs (barres Dywidag" et barres scellées Hilti) liant les murets de guidage au haut des murs du tunnel. Il pourrait être utile de noter que les murs du tunnel ne sont pas vérifiés par l'APR et qu'une intervention sur ceux-ci serait à prévoir en cas d'accident sollicitant les murets de guidage : en effet un tel accident créerait vraisemblablement une rupture de la liaison existante entre murs du tunnel et murets de guidage, avec potentiellement des dégâts sur les murs du tunnel.

CO-2 Résistances du sol
~~(C) Les résistance du sol au frottement et à la butée doivent être vérifiées, avec des hypothèses d'appui cohérentes et en prenant en compte les remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~
(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "Pris en compte dans les réponses à l'expert géotechnique."
Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

5 Examen des plans

Les plans transmis sont, à ce stade, suffisants pour la compréhension générale du projet.

Il est tout de même relevé :

PL-1 Remblais

~~(C) Le remblais prévu entre les murs de guidage doit être bien défini, avec hauteurs minimum et remarques importantes correspondant aux exigences statiques, en lien aussi avec les remarques de l'expert géotechnique ([6]). Par exemple à la coupe du Profil km 5.517, corriger la hauteur qui semble moindre que 2m. Et ajouter le remblais aux profils km 5.551, km 5.543 et km 5.612.~~

(EXE) La hauteur de remblai de 2,0 m "à garantir en tout temps, non excavable sans mesures compensatoires" selon [7], devra continuer à figurer de manière explicite sur les futurs plans.
Les profils km 5.537, 5.517 et 5.528 devront être corrigés avec une hauteur de remblais de 2,0m minimum entre les murs de guidage.
Les profils avec hauteur de remblai de 3,0 m selon Page 55 de la note de calculs [3] doivent être corrigés.

PL-2 Mise en page-divers

(R) Ajouter une échelle du dessin aux Profils. L'horizon des Profils km 5.517 et km 5.502 pourrait être posé à 410.00 (idem autres profils) pour plus de clarté. Dans la situation générale, les traits des ponts au-dessus de la zone pourraient être affinés ou "grisés" pour plus de clarté.
L'indice du plan et la date doivent être corrigés (l'indice du plan du 23.09.2029 devrait être indice C au lieu de "-" et la date 23.09.2026 au lieu de 28.09.2026).

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

6 Examen de la note de calcul

6.1 Murs de guidage et piles de pont existantes

6.1.1 Contre-calcul de l'expert

Le contre-calcul a été réalisé à l'aide de calculs manuels et numériques, ainsi qu'un contre-modèle FEM 3D (Dlubal RFEM version 6.14) pour déterminer les efforts internes. La structure a été modélisée en modèle plaques pour les murs de guidage et barres pour les piles de pont existantes.
Les valeurs géotechniques des fondations (valeurs des ressorts pour "sol 1", "sol 2", "sol 1bis", "sol 2bis" et "Sol 3") sont reprises des documents de l'APR telles quelles, sans vérifications de notre part. Et il est admis qu'aucune rupture locale du sol de fondation ne se produit. Ainsi, seuls la ruine des éléments structurels (murs de guidage et piles de pont existantes) pour les états-limites de type 2 sont vérifiés.
~~Les valeurs géotechniques doivent être redéfinies/consolidées par l'APR selon les remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~
Les valeurs géotechniques sont définies par l'APR selon les remarques de l'expert géotechnique.

Les éléments suivants ont été vérifiés dans le contre-calcul :

- Murs de guidage existants (avec rehaussement) et nouveaux (ELU 2), avec les hypothèses géotechniques de l'APR;
- Pieux sous nouveaux murs de guidage à l'Est (ELU 2);
- Piles de pont existantes, P30 et P90 (ELU 2);

Les résultats obtenus ont été comparés (vérification par pointage) avec ceux obtenus par l'APR.
Les résultats du contre-calcul montrent une concordance des ordres de grandeur entre les efforts internes déterminés par l'APR et ceux de l'expert. Cependant la grande variabilité des paramètres géotechniques considérés peuvent amener à des différences sensibles dans les résultats. Il est recommandé d'affiner, pour l'appel d'offres, les hypothèses géotechniques et ainsi de mieux circonscrire les résultats, en particulier les rigidités des ressorts sous semelles (avec potentiellement un plateau plastique) et les déplacements correspondants des murs de guidage.

~~Il est ainsi relevé :~~

CC-1 ~~Valeurs géotechniques~~
~~(C) En cas de redéfinition des valeurs géotechniques, l'ensemble des ELU Type 1, 2 et 3 doivent être re-vérifiés.~~
~~(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "Pris en compte dans les réponses à l'expert géotechnique." Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi.~~

CC-2 ~~Efforts flexionnel longitudinaux dans murs de guidage~~
~~(C) Dans le modèle avec le sol 1 (Kx=Ky=600 kN/m/m²), les moments agissant peuvent localement dépasser la résistance. Une meilleure définition des Kx et Ky pour l'ELU est donc nécessaire, et en cas de redistribution plastique des efforts hyperstatiques, ceci doit être explicité.~~
~~(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "Voir réponse à la charge [6] de l'expert géotechnique." Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi.~~

CC-3 ~~Partie centrale de la pile 30~~
~~(C) La partie centrale pourrait subir divers efforts selon l'hypothèse de charge considérée (choc sur partie centrale et/ou transfert de charge d'une extremité à l'autre de la pile). En cas de non-acceptation par le MO de l'hypothèse de la remarque **??**, l'APR devra vérifier cet élément.~~

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

6.1.2 Note de calcul de l'APR

De manière générale, la note de calcul est suffisamment structurée et compréhensible.

Il est tout de même relevé :

NDC-1 §2.1.1. Géométrie des semelles
(EXE) Indiquer la largeur des semelles sous les murs de guidage (140cm).

NDC-2 §6.2 armatures
(EXE) L'utilisation de barres d'armature de diamètre 24 n'est pas usuel, les calculs et indications devraient être corrigées avec diamètres usuels (également au §6.2.2 - Page 55 de la note de calculs [3]).

NDC-3 ~~§6.2.1 bis~~
~~(R) Le paragraphe "§6.2.1 Butons" de la page 35 est incorrectement numéroté, il devrait être : §6.2.3.~~

NDC-4 ~~§6.2.2 bis~~
~~(R) Le paragraphe "§6.2.2 Etude des déplacements au cas de choc ferroviaire – zone murs sur semelles" de la page 37 est incorrectement numéroté, il devrait être : §6.2.4.~~

NDC-5 §6.3.3 et §6.3.4 Eléments de liaison ROR
~~(C)~~ (EXE) Il manque ici une vérification à l'arrachement/effort normal de traction (cet effort doit exister dans le modèle par éléments finis, et est en tout cas nécessaire pour la stabilité globale de l'ouvrage).
Il manque ici également une justification du choix de la résistance du béton f_{cc}, qui serait plus proche de 30 que de 50.
(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "La vérification à l'effort normal de traction (...) pourra être réalisée lors de la phase 41."

NDC-6 ~~6.3.1 bis~~
~~(R) Le paragraphe "§6.3.1. Dimensionnement des éléments de liaison entre butons existants et rehaussements de butons" de la page 42 est incorrectement numéroté, il devrait être : §6.3.4.~~

NDC-7 §7.1 Vérification au glissement
~~(C) Dans les calculs de vérification, la participation des butons est surestimée, en particulier dans le cas d'un choc depuis le Sud (voie 501) car dans ce cas la fondation du buton est en pente dans la direction de la charge. Les calculs de participation du sol entre butons doivent être consolidés (garantir hauteur du remblai, et consolider valeurs δ=tan30° avec les remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~
~~(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "Pris en compte dans les réponses à l'expert géotechnique."~~
Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi ([9]) : "Pour la phase d'execution, Il est recommendé de revérifier et valider les hypothèse des calculs de stabilité au glissement en fonction de l'emplacement effectif des butons et la phasage de construction, et si besoin de réaliser des calculs complementaires."

NDC-8 ~~§8.1 Rupture du sol~~
~~(C) Section à reprendre selon remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~

NDC-9 ~~§8.2 Appuis surfaciques des semelles~~
~~(C) Les facteurs partiels 0.8 / 1.2 doivent être homogénéisés dans la note de calcul (selon remarques de l'expert géotechnique ([6]).~~
~~(EXE) Nous prenons note de la réponse de l'APR du 17.08.2026 : "Pris en compte dans les réponses à l'expert géotechnique."~~
~~Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi.~~

NDC-10 §8.2 Appuis surfaciques des semelles - extrémité ouest
~~(C) Le calcul de τ_{Rd} est incorrect, il doit intégrer la largeur de semelles : avec une largeur de 1.4 m, on obtient $\tau_{Rd} = 366/1.4 = 261\ kN/m^2$. Avec les facteur partiels la vérification n'est pas satisfaite.~~

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

~~(EXE) Nous prenons note des corrections de l'APR du 08.09.2026. Les vérifications de §8.2 doivent être validées par l'expert géotechnique afin d'assurer qu'en tous points les sollicitations du sol ne dépassent la résistance élastique, faute de quoi les hypothèses de ks (§2.2) sont incorrectes et l'analyse est à reprendre.~~

Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi ([9]) : "Pour la phase d'execution, Il est recommendé de revérifier et valider les hypothèse des calculs de stabilité au glissement en fonction de l'emplacement effectif des butons et la phasage de construction, et si besoin de réaliser des calculs complementaires."

NDC-11 §8.2 Appuis surfaciques des semelles - extrémité est

~~(C) Le calcul de τ_{Rd} est incorrect, il doit intégrer la largeur de semelles : avec une largeur de 1.4 m, on obtient $\tau_{Rd} = 224/1.4 = 160\ kN/m^2$, et la résistance est inférieure à la sollicitation. La vérification n'est pas satisfaite (d'autant moins avec les facteurs partiels).~~

~~(EXE) Nous prenons note des corrections de l'APR du 08.09.2026. Les vérifications de §8.2 doivent être validées par l'expert géotechnique afin d'assurer qu'en tous points les sollicitations du sol ne dépassent la résistance élastique, faute de quoi les hypothèses de ks (§2.2) sont incorrectes et l'analyse est à reprendre.~~

Ce sujet étant lié à la géotechnique et à la résistance des sols, la position de l'expert géotechnique fait foi ([9]) : "Pour la phase d'execution, Il est recommendé de revérifier et valider les hypothèse des calculs de stabilité au glissement en fonction de l'emplacement effectif des butons et la phasage de construction, et si besoin de réaliser des calculs complementaires."

NDC-12 ~~10.2.7 Charges accidentelles sur piles~~

~~(C) L'hypothèse de l'APR communiquée le 13/07/2026 "nous avons considéré que le choc de train agissait directement sur un élément de bord, sans impacter la partie centrale" doit être explicitée dans la base de projet, pour bonne prise de connaissance et acceptation par le MO/l'OFT. (dito **??**)~~

NDC-13 ~~10.11 Vérifications Pile 30~~

~~(C) L'hypothèse de l'APR communiquée le 13/07/2026 "Pour la pile P30, les vérifications statiques vis à vis du choc ferroviaire ont été réalisées pour un seul élément de bord" n'est pas concrétisée dans la note de calcul. Le M_Y provenant du choc ne devrait pas être divisé par 2. Ou alors il manque une vérification de la capacité de la partie centrale à transférer les efforts sur les 2 éléments de bord.~~

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

7 Conclusion

L'examen du dossier conduit à la conclusion suivante : le projet est **techniquement réalisable**.
Les points indiqués (EXE) dans le présent rapport devront être corrigés lors de la phase SIA 4 et/ou SIA 5.

7.1 Charges

~~Les charges suivantes (déjà préalablement indiquées dans le rapport) sont émises :~~
~~L'ensemble des charges de l'expert géotechnique sont à prendre en compte par l'APR.~~
Pour les éléments de structure, aucune charge n'est émise.

OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

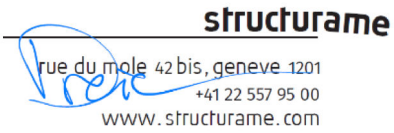
8 Signature

structurame sa
Rue du Môle 42 bis
CH-1201 Genève
info@structurame.com

Genève, 30 septembre 2026

Le(s) auteur(s) du contrôle

Damien Dreier
Dr ès. sc. EPFL, MSc Ing. Civil EPFL
associé du bureau structurame sa
Directeur de projet, Expert



Adrien Salvo
MSc Ing. Civil EPFL
Expert adjoint



OpenSign™ DocumentId: vHG57h3gGn

A Annexes

A.1 Expertise géotechnique de Lombardi SA

A.1.1 Rapport du 28.09.2026

OpenSign™ DocumentId: v1HG57b3gGn

2025.0097.006 Expertise CFF Murs de guidage
23.07.2026 Groupement ExCel / Lombardi - Kja / Els

Type [C] Charge [R] Reconm.	N°	DOC	Expert (Lombardi SA)	Traitement (Réponse de l'auteur, RP de InfraW le 17.08.2026)	Position de l'expert (Lombardi SA) Examen de la réponse le 28.08.2026	Examen de la note de calcul V4 (08.09.2026) (Lombardi SA, 14.09.2026)	Traitement (Réponse de l'auteur, RP de InfraW le 22.09.2026)	Examen des documents V5 (22.09.2026) (Lombardi SA, 24.09.2026)
Observations Générales								
[C]	[1]	Dossier	Hauteur du remblai entre les deux files de murs de guidage – contradiction 2.0 m / 1.5 m La Base du projet (ch. 4.1.1, p. 13) et les Calculs statiques (ch. 7.1 et 8.2) retiennent un remblai de 2.0 m de hauteur entre les files de murs, dont le poids constitue l'essentiel des résistances au glissement et de la capacité horizontale des appuis. Le courriel de l'Institut Géotechnique du 23.06.2026 mentionne, « selon vos indications », un remblayage d'environ 1.5 m. Avec h = 1.5 m, les vérifications au glissement local passent de n = 1.07 à n = 0.90–0.94 (< 1) et la capacité horizontale à l'extrémité est n'est plus vérifiée (sRd = 189 < tEd = 210 kN/m²). Demande : Confirmer la hauteur pérenne du remblai, harmoniser l'ensemble des pièces et, si 2.0 m est retenu, l'inscrire comme condition d'exploitation garantie (remblai non excavable sans mesure compensatoire) dans la convention d'utilisation.	Nappe et hauteur de remblai 2,0m considérés dans l'annexe de calcul du Kv. Paragraphe ajouté dans la CU, ch 6.1, indiquant que le remblai n'est pas excavable sans mesure compensatoire (risque structurel).	En ordre. CU V2 ch. 6.1 : remblai de 2,0 m à garantir en tout temps, non excavable sans mesures compensatoires. Annexes IG refaites avec la nappe et h = 1.40 m. Contradiction levée, hypothèse contractualisée. À noter que la hauteur de remblai de 2,0 m évoquée dans la réponse n'apparaît pas dans les annexes IG (encastrement t = 1,00 m, surcharge latérale nulle, stratigraphie inchangée par rapport à la version de juin), sans incidence sur la détermination de Kv.	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	-
[R]	[2]	Dossier	Nappe phréatique non considérée dans les vérifications géotechniques La Base du projet (ch. 3.2) situe la nappe à 409.3–409.4 msm (mesures 2019), soit environ 0.5–1.0 m sous le niveau de fondation présumé (encastrement t = 1.0 m), donc dans la zone d'influence de la portance. La vérification de la rupture du sol (Calculs statiques, ch. 8.1) utilise γ = 20 kN/m³ sans poids déjaugé, la prise en compte de la nappe dans le modèle ZSoil et dans les calculs de l'Institut Géotechnique n'est pas documentée. Demande : Intégrer la nappe dans la vérification de la portance (γ' dans le terme en N_γ), définir un niveau de nappe de calcul et vérifier l'existence de mesures plus récentes que 2019.	Aucunes mesures disponible pour la nappe plus récentes que celles indiquées au ch. 3.2 de 2019. La vérification à la rupture du sol a été reprise au ch. 8.1 de la NDC -> n=0.67 < 1 en tenant compte de la présence de la nappe.	En ordre. Nappe intégrée au ch. 8.1 et dans les annexes IG (0,50 m sous le niveau de fondation). Résultat vérifié : n = 0.65. Deux points de forme à corriger à l'occasion d'une prochaine édition : γ' = 10 kN/m³ est appliqué au terme de surcharge alors que ce sol est hors nappe, et l'encastrement est pris à 2,0 m au lieu des 1,00 m des annexes IG. Les deux écarts se compensent ((10 × 2,0) = (20 × 1,0)), avec la formulation correcte, qd = 253 kN/m² et n = 0,63. Conclusion inchangée. Le taux annoncé dans la réponse (0,67) diffère de celui de la NDC (0.65).	En ordre. Calcul mis à jour. Aucun incidence sur le résultat.	En ordre.	-
[R]	[3]	Dossier	Étiquetage des états limites non conforme au découpage SIA 260 Les Calculs statiques classent la rupture du sol (ch. 8.1) et la stabilité de fouvrage global (ch. 8.3) sous « EL type 2 – résistance ultime », alors qu'ils relèvent respectivement du type 3 (résistance du terrain) et du type 1 (équilibre global). La Base du projet (tab. 18) définit pourtant correctement les situations A1/A2/A3. Demande : Rectifier les intitulés des chapitres 7 et 8 des Calculs statiques pour assurer la traçabilité des vérifications vis-à-vis de la Base du projet et du contre-calcul.	Ok, réalisé.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Ch. 8.1 (EL type 3) et ch. 8.3 (EL type 1) conformes. Le ch. 7.1 reste intitulé « EL type 2 » alors que le glissement d'une fondation reliée de la résistance du terrain, soit du type 3 (SIA 260 ch. 4.4.3.4, SIA 267 ch. 8.5) ; l'intitulé est également en contradiction avec le titre du chapitre 7 lui-même. Demande : corriger en EL type 3.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Le ch. 7.1 est désormais intitulé « Vérification au glissement – EL type 3 », dans le corps comme dans la table des matières. Reste : le paragraphe ajouté en fin de p. 48 mentionne encore « des vérifications au glissement EL type 2 réalisées dans ce chapitre ». À harmoniser avec le nouveau titre.	Texte corrige.	En ordre.
[1] 5887 – Base du projet V1 (29.06.2026)								
[R]	[4]	[1] Base du projet	Confusion K0 / Kp dans les actions permanentes des nouveaux murs Le tableau 15 (p. 23) indique « Poussée au repos, répartition en triangle… » avec la formule eh = Kp·q, alors que le tableau 9 (murs existants) utilise eh = K0·q. Par ailleurs, les valeurs numériques de K0 et Kp utilisées dans les modèles ne figurent nulle part dans le dossier (annexe 10.1.4 des Calculs statiques = figure sans valeurs). Demande : Corriger la formulation (K0 vs Kp), documenter les valeurs numériques des coefficients de poussée/butée et leur base normative (SIA 261 ch. 4.3 / SIA 267 ch. 12.4.3).	Seule une poussée au repos K0 est considérée dans les modèles AxisVM (déplacements possibles dans une faible mesure) et agit sur 1,0 m de hauteur en pied de mur du côté de V300, en direction du remblai entre mur. Valeur de référence normative précisée au ch. 10.1.4 de la NDC + ch 3.3 et 5.1.1 et 5.2.1 de la BP. N.b. : une poussée active majorée pourrait éventuellement être considérée pour la vérification de la sécurité structurale, mais la prise en compte de la poussée étant un cas de charge triangulaire appliqué sur le mur, et l'effort du choc du train (4000 kN) sollicitant étant tellement important par rapport à la résistance supplémentaire occasionnée par la majoration de la poussée K0 vers (K0+Ka)/2, (différence de 1,9 kN/m² de mur entre valeur avec K0 et valeur avec (K0+Ka)/2), la prise en compte de K0 est maintenue.	En ordre. Poussée au repos retenue de façon cohérente dans la BP et la NDC, avec valeur et cas de charge documentés. L'application du seul côté V300 est correcte et conservative, et l'argumentaire sur l'écart K0 / (K0+Ka)/2 est recevable. Corrections de forme à apporter : la référence du tab. 3 de la BP indique « SIA 262 ch. 4.3.1.4 » (norme béton), il s'agit vraisemblablement de SIA 261 ch. 4.3, comme indiqué dans le texte d'introduction du même chapitre ; γ = 22 kN/m³ au lieu de 20,5 kN/m³ retenu ailleurs ; unité en kN/m² au lieu de kN/m² ; la hauteur d'application (1,0 m) est contredite par la description qui la fait partir du sommet du remblai.	Non vérifiable. La BP n'a pas été retransmise, à contrôler à réception.	Texte corrigé dans la BP et document transmis dans le nouvel envoi.	En ordre Recommendation pour la phase actuelle: Remarque de forme: Tab. 9 et 15 : γ = 22 kN/m³ au lieu de 20,5 kN/m³, et le résultat exprimé en kN/m² au lieu de kN/m². Écarts conservateurs et sans effet sur les vérifications ; à corriger à l'édition finale.
[R]	[5]	[1] Base du projet	Modèle de sol KM 5.543 (tableau 2) – cotes et épaisseurs incompatibles Le remblai est donné avec une épaisseur de 0.6 m pour un toit vers 411.10 msm, ce qui laisse l'intervalle d'environ 410.5 à 409.0 msm (toit du fluvio-glaciaire à faciès fin) sans couche définie. Demande : Corriger le tableau 2 (épaisseur ou cotes) afin de rendre le modèle stratigraphique cohérent.	Ok corrigé dans tab. 2	En ordre. Tab. 2 corrigé (2,1 à 4,7 m), cohérent avec les cotes des couches. Aucune suite.	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	-
[R]	[6]	[1] Base du projet	Ressorts horizontaux des semelles – enveloppe Sol 1 / Sol 2 incomplète et non traçable Le ch. 4.1.2 (p. 14) retient Kx = Ky = 600 (Sol 1) à 4'000 kN/m³ (Sol 2) pour la résistance, alors que le détail de calcul aboutit à ks,h = 2'546 et 15'279 kN/m³ ; la réduction opérée (facteur = 4) n'est pas justifiée. Surtout, la borne haute de l'enveloppe (4'000) ne couvre pas la fourchette de l'Institut Géotechnique (5'000–7'000 kN/m³) : un sol horizontalement plus raide peut augmenter localement certaines réactions et efforts. Le « Détail du calcul des ressorts » correspond à la conversion du module de plaque (ksd = MEdp = 5'000/0.3 = 16'667 kN/m³) avec réduction de taille ks,v = ks/((f mi) × 16'667/(1.6×3) = 2'472 kN/m³ ; l'origine des facteurs f = 1.6 et m = 3 et de la colonne K = 2'094 kN/m³ n'est pas documentée. Demande : Justifier la dérivation des valeurs choisies (notamment ks,h 2'546 → 600), documenter la méthode et ses facteurs, et compléter l'enveloppe de dimensionnement par un cas Kh = 7'000 kN/m³ (ou démontrer son caractère non déterminant).	# Caractéristiques sol 1 et 2 selon modèle Axis initial : - Sol 1 : ks,v = 3'000 kN/m³/m2 ; ks,h = 600 kN/m³/m2 - Sol 2 : ks,v = 20'000 kN/m³/m2 ; ks,h = 4'000 kN/m³/m2 # Caractéristiques sol selon Institut Géotechnique - en date du 12/08/2026 : - ks,v = 5'000-6'000 kN/m³/m2. - ks,h = 4'793 à 6'800 kN/m³/m2 selon largeur de fondation sollicitée (de 3 m à 5 m). > Sol 1bis selon IG : ks,v = 5'000 kN/m³/m2 ; ks,h = 4'790 kN/m³/m2 > Sol 2bis selon IG : ks,v = 6'000 kN/m³/m2 ; ks,h = 6'800 kN/m³/m2 Remarque : le sol 1b d'IG est couvert par le sol 1 du modèle AxisVM de MBGE. Le sol 2b d'IG a une valeur ks,h plus importante que le sol 2 du modèle AxisVM de MBGE. Ainsi un nouveau modèle a été créé, avec : ks,v = 6'000 kN/m³/m2 ; ks,h = 6'800 kN/m³/m2 -> il s'avère que les sollicitations sont "enveloppées" en grande partie par le modèle de sol 2, et que localement des sollicitations très légèrement supérieure à celles du modèle de sol 2 sont constatées, au droit des butons (+1 à 2%). La plus-value de modifier l'ensemble des calculs, captures d'écran du rapport pour un si faible impact semble disproportionné.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) La démarche est recevable : le modèle complémentaire (ks,v = 6'000 / ks,h = 6'800 kN/m³/m²) montre des dépassements locaux de 1 à 2 % seulement au droit des butons, ce qui ne justifie pas la reprise des vérifications. Cette analyse n'apparaît toutefois dans aucune pièce du dossier. Demande : la formaliser en une demi-page dans la NDC (jeu testé, grandeurs comparées, écarts, conclusion), afin qu'elle soit opposable et reprise par le contre-calcul.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Aucune trace de l'analyse de sensibilité des ressorts (modèle complémentaire ks,v = 6'000 / ks,h = 6'800 kN/m³/m²) dans la NDC V4. Demande maintenue.	Une étude de sensibilité et une argumentation ont été présentée dans un nouveau ch. 10.15 de la NDC.	En ordre.
[R]	[7]	[1] Base du projet	Ressorts de pieux – nature ponctuelle et calage sur ZSoil non documentés Les appuis des pieux (p. 15) sont des ressorts ponctuels en kN/m (Kx = Ky = 6'000 ; Kz = 3'500, pas de 1.0 m), alors que les ressorts des semelles sont surfaciques en kN/m/m², avec la même notation Kx/Ky/Kz : risque de confusion d'unités pour le contre-calcul. Les valeurs sont « ajustées de sorte à correspondre » au modèle ZSoil, mais la note de calage n'est pas dans le dossier ; ni les déplacements Axis (6.8 cm, CS p. 25) différent d'un facteur × 2 de ceux de ZSoil (≈ 2.9 cm, cas 1). Demande : Expliciter la nature et les unités de chaque jeu de ressorts et transmettre la note de calage Axis/ZSoil (grandeurs cibles, écarts acceptés).	Annotations des ks,h et ks,v modifiées au ch. 4.1.2. de la BP. Les appuis ponctuels des pieux ont été entrés de sorte à suivre le comportement en terme de déplacements de sollicitations des pieux du modèle Zsoil de Geomod. Dans les différentiations des pieux, les sollicitations proviennent du modèle Zsoil. Concernant les déplacements, ceux-ci sont assez faibles dans la zone sur pieux. Leur mesure est déterminante au droit des 2 piles de sorte à ce que le mur de guidage n'entre pas en contact avec la pile en cas de choc ferroviaire ; pour cela, les pieux étant distant d'une quinzaine de mètre de la pile P30, l'exactitude des ressorts des pieux n'a pas une grande influence sur le déplacement.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Notations ks,h(X) / ks,h(Y) / ks,v(Z) distinguées dans la BP et rappelées au ch. 2.2.1 de la NDC : risque de confusion d'unités levé. Le note de calage Axis/VM / ZSoil n'est pas fournie. La réponse indique que les sollicitations des pieux proviennent de ZSoil, or le tableau du ch. 6.1.2 (Axis/VM) donne des efforts axiaux Z7 à 7 fois supérieurs à ceux utilisés dans les vérifications géotechniques de la page suivante (398 contre 149 kN en traction, 445 contre 60 kN en compression). Ce choix de source doit être justifié dans la note (voir observation [12]).	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	En ordre.
[2] 5887 – Calculs statiques V1 (29.06.2026)								
[C]	[8]	[2] Calculs statiques	Ch. 8.2 – Capacité horizontale des appuis : absence de facteurs partiels sur les résistances La vérification du ressort horizontal (p. 51–52) cumule le frottement des murs et le poids du remblai sans aucun facteur partiel (sRd = 224 vs tEd = 210 kN/m² à l'extrémité est, n = 1.07), alors que le ch. 7.1 applique 0.8/1.2 aux mêmes mécanismes. En appliquant le format du ch. 7.1, l'extrémité est n'est plus vérifiée (sRd = 149 < 210 kN/m²). Demande : Reprendre les vérifications des ch. 7.1 et 8.2 avec un jeu de facteurs partiels homogène et documenté (γφ = 1.2 selon SIA 267 ; origine du facteur 0.8 à expliciter), et statuer sur l'extrémité est.	Le chapitre 8.2 vise à valider les ressorts considérés pour les appuis surfaciques des semelles. Les vérifications au glissement, tenant compte des facteurs partiels, sont présentées au chapitre 7.1.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) La finalité du chapitre est désormais explicitée et la distinction avec le ch. 7.1 est acceptée : il s'agit d'un contrôle de plausibilité des ressorts, non d'une preuve de sécurité. À ce titre, l'absence de facteurs partiels est cohérente et la charge est levée. Reste une incohérence de paramétrie entre deux chapitres traitant du même mécanisme : le ch. 7.1 retient δd = 25° et le ch. 8.2 conserve tan(30°). Avec δd = 25°, sRd passe de 224 à 181 kN/m² à l'extrémité est, soit une valeur inférieure à tEd = 210 kN/m². La sollicitation dépasserait alors la résistance disponible, ce qui interroge la validité d'un ressort à raideur constante dans cette zone. Demande : reprendre le ch. 8.2 avec δd = 25° et commenter le résultat obtenu à l'extrémité est.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Les essais avec convertes en force par mètre courant (F'(Ed) = t(Ed) × 1.40 kN), ce qui lève une incohérence d'unités entre sollicitation et résistance : les contraintes sont relevées sur une combinaison unique et non plus sur l'enveloppe ; la contribution des butons est ajoutée à l'extrémité est. Le paramètre δ n'a pas été harmonisé : le ch. 8.2 conserve tan(30°) alors que le ch. 7.1 retient δd = 25°. La marge à l'extrémité est ressort à 1,7 % (F(Rd) = 242 kN/m' pour F(Ed) = 238 kN/m') ; avec δd = 25°, F(Rd) tomberait à 195 kN/m'. La sécurité au glissement étant démontrée au ch. 7.1 (n = 1,07 avec δd = 25°), le point n'empêche pas la validation, mais la cohérence entre les deux chapitres reste à établir.	En ordre. Le chapitre 8.2 a été modifié en tenant compte des valeurs sur les angles de frottements identiques à ceux présentés dans le ch. 7.1 (γ'k = 30 °, γ'D = 25 °). Pour l'extrémité est, la vérification est réalisée selon une valeur moyenne de réaction Ry (réalisée) alors qu'elle est réalisée pour une valeur locale pour l'extrémité ouest (défavorable mais sécuritaire).	En ordre. Recommendation pour la phase d'execution: Le recours à une réaction moyenne relevée entre les butons 4 et 7 à l'extrémité est, en lieu et place d'une valeur locale, est admis ; ce chapitre est un contrôle de plausibilité du ressort et non une preuve de sécurité, la résistance étant établie sur le même périmètre que la sollicitation. La cohérence entre les deux chapitres est rétablie. Pour la phase d'exécution, il est recommendé de reviérifier et valider les hypothèse des calculs de stabilité au glissement en fonction de l'implacement effectif des butons et la phasage de construction, et si besoin de réaliser des calculs complémentaires.
[R]	[9]	[2] Calculs statiques	Ch. 7.1 – Glissement local : marges minimales et hypothèses non justifiées Les deux vérifications locales (butons 17–20 et 4–8) donnent n = 1.07, marge très sensible à la hauteur de remblai (cf. remarque [1]) et au choix δ = tan 30° pour toutes les interfaces (béton–sol et soil–soil), non justifié (remblai-γ'k = 32°, faciès fin 27–30°). La p. 47 contient en outre des lignes de calcul dupliquées et contradictoires (FRd = 427/350 kN puis 931/931 kN pour les mêmes murs). Demande : Justifier δ et le facteur 0.8, corriger la rédaction de la p. 47, et présenter une étude de sensibilité (h remblai, δ) démontrant la robustesse des marges.	Rédaction du calcul corrigée p. 47. Nouvelle rédaction des calculs du glissement au ch. 7.1. γR=1.2 selon 8.5.2.1 SIA 267 ; δd=25° selon tab.1 et 8.4.1.1 SIA 267.	En ordre. Rédaction reprise et référencement normatif fourni (γR = 1,2 selon SIA 267 ch. 8.5.2.1 ; δd = 25° selon tab. 1 et ch. 8.4.1.1). Calculs vérifiés. La sensibilité demandée est fournie et vérifiée. Demandes résiduelles de forme : intégrer le tableau à la NDC, et corriger p. 48 les trois résistances toutes libellées « F(Rd,butons) » (mur V501 : 431 kN, mur V300 : 354 kN, butons : 754 kN).	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Les deux demandes de forme sont restées sans suite : le tableau de sensibilité n'est pas intégré à la NDC, et les trois résistances de la p. 48 sont toujours libellées « F(Rd,butons) », celles de la p. 50 sont, elles, correctes. À reprendre à l'édition finale.	Le texte a été corrigé dans le ch. 7.1. Deux tableaux d'analyse de sensibilité des hauteurs de remblai et de l'angle de frottement sur les vérifications au glissement sont présentés au ch. 10.16.	En ordre.
[R]	[10]	[2] Calculs statiques	Ch. 8.1 – Rupture du sol : simplifications à lever La vérification (σV,d = 160 ≤ qu/R = 303 kN/m²) appelle quatre réserves : (i) nappe ignorée (cf. remarque [2]) ; (ii) pas de prise en compte de l'inclinaison/excentricité de la résultante au choc (la décomposition V/H entre ch. 8.1 et 8.2 doit être explicitée comme hypothèse) ; (iii) B = 1.2 m alors que le calcul de l'Institut Géotechnique retient b = 1.30 m ; (iv) la démarche Rd est issue du seul modèle Sol 3 – un sol plus raide (Sol 2) concentre les réactions. Demande : Compléter la vérification (γ' sous nappe, largeur effective B', facteurs d'inclinaison ou justification de la décomposition V/H), harmoniser la largeur de semelle et envelopper la demande avec les jeux Sol 1/Sol 2/Sol 3.	Dans le cas présent, la prise en compte des facteurs réducteurs liés à l'inclinaison de la charge (iq, ic, iγ) pour la vérification de la capacité portante ne paraît pas pertinente. L'effort horizontal du choc ferroviaire important est repris au niveau global par le système de fondation et vérifié au glissement. Compte tenu de la forte rigidité de l'ensemble murs–longrines, cet effort génère principalement un moment de renversement, repris par une redistribution des réactions verticales entre les deux fondations. A mon avis, la vérification de la portance doit donc être basée sur les réactions verticales et les moments de contact résultants, plutôt que sur une réduction de la capacité portante liée à une charge inclinée. La vérification à la rupture du sol a été adaptée pour tenir compte du poids du sol déjaugé et largeur de semelle 1,40 m.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Vérification reprise avec le poids déjaugé et B = 1,40 m, harmonisée avec les annexes IG : n = 0,65. L'argumentaire sur la non-prise en compte des facteurs d'inclinaison est accepté : la pression relevée dans le modèle correspond à la réaction de bord et intègre déjà la redistribution due au moment de renversement, ce qui est conservateur par rapport à une approche par largeur effective. Demande : intégrer cet argumentaire au ch. 8.1 de la NDC, l'hypothèse de décomposition V / H devant être opposable. La demande reste par ailleurs issue du seul modèle Sol 3 ; au vu du taux d'utilisation, une phrase de justification suffit.	En ordre. L'argumentaire sur la non-prise en compte des facteurs d'inclinaison a été intégré au ch. 8.1 (p. 51), dans les termes convenus. La demande reste issue du seul modèle Sol3, sans incidence au vu du taux d'utilisation (n = 0,65).	OK	-
[R]	[11]	[2] Calculs statiques	Ch. 8.3 – Stabilité au renversement : marge de 5 % et incohérences rédactionnelles Mstab = 20'240 kNm·m Mdest = 19'200 kNm (n = 1.05), avec poids stabilisants à γ = 1.0. Ce choix, défendable en situation accidentelle, doit être justifié vis-à-vis de γG,stab = 0.8 (EL type 1). Le libellé « extrémité ouest » pour les butons 4–10 est incohérent avec la numérotation (butons 1–3 = zone pieux, est) ; « Vérifié sur 5 travées » ne correspond pas au titre « butons 4 et 10 ». Demande : Justifier le format de sécurité retenu, corriger la localisation et vérifier si d'autres zones (p. ex. entrave réduit) sont plus défavorables.	Justification du coefficient de 1,00 sur le poids propre, au cas de charge accidentel, indiquée au ch. 8.3 de la NDC. Correction des incohérences de numérotation de butons et des localisations est/ouest au ch. 8.3.	En ordre. Justification du coefficient 1,00 sur le poids propre fournie et correctement référencée (SIA 260 ch. 4.4.3.5), notations et localisation corrigées. La zone retenue correspond à l'entrave le plus faible, donc au cas le plus défavorable. Aucune suite.	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	-
[C]	[12]	[2] Calculs statiques	Ch. 6.1.2 – Pieux : vérification en compression manquante Seule la résistance à l'arrachement est vérifiée (RUd = 170 kN ≥ NEd = 149 kN, γ = 1.4). L'effort de compression maximal NEd = 445 kN (combinaison 25, p. 24) n'est l'objet d'aucune vérification de la résistance externe (pointe + frottement, SIA 267). Demande : Compléter la vérification géotechnique des pieux en compression.	Paragraphe ajouté au ch. 6.1.2.	Ouvert Les efforts retenus (149 kN en traction, cas 2 ; 60 kN en compression, cas 1) ont été pris sur les planches Geomod correspondant aux cas les plus défavorables du modèle ZSoil, le choc frontal (cas 1) donnant des valeurs inférieures. La mention de la source ne justifie toutefois pas le choix du modèle : les armatures du même pieu sont dimensionnées avec les efforts AxisVM du tableau de la page précédente (445 kN en compression, 398 kN en traction). Deux jeux d'efforts sont donc utilisés pour le même élément, avec un écart d'un facteur 3 à 7 qui n'est pas expliqué. Demande : justifier dans la NDC que les sollicitations géotechniques des pieux sont issues du modèle ZSoil et expliquer l'écart avec AxisVM. À défaut, la vérification devra être reprise avec les efforts AxisVM, auquel cas elle ne serait pas satisfaite (445 kN pour 335 kN au maximum, résistance de pointe comprise).	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Le tableau AxisVM (398 kN en traction, 445 kN en compression) a été remplacé par les valeurs ZSoil des cinq cas de charge, et le texte précise que « les pieux sont dimensionnés sur la base des sollicitations présentées dans les résultats du modèle ZSoil ». Les 445 kN ne figurent plus dans la note. Le choix d'une source unique répond à la demande et va dans le bon sens, ZSoil étant le modèle le plus représentatif pour l'interaction sol/pieu. Les armatures étant inchangées (6 Ø 34) pour des efforts désormais inférieurs (Mz 173 → 120 kNm ; Vy 207 → 149 kN), le pieu reste couvert structurellement. La vérification en compression retient N(Ed) = 96 kN (cas 3) pour R(a,s,d) = 161 kN, soit n = 0,60. Reste que l'écart entre les deux modèles n'est pas expliqué et que les murs sur pieux (ch. 6.1.1) demeurent dimensionnés sur AxisVM avec des valeurs inchangées : deux modèles cohabitent dans le même sous-ensemble sans démonstration d'équilibre. Si les pieux reprennent moins que ne le prédit AxisVM, la part correspondante se reporte sur les murs et les butons. Demande résiduelle : confirmer que le dimensionnement des murs sur pieux reste couvert, par une comparaison des efforts entre les deux modèles ou par une justification qualitative.	Une description détaillée du calage du modèle AxisVM sur le modèle ZSoil est présentée dans la nouvelle version de la NDC au ch. 10.14. Les pieux restent dimensionnés selon le modèle ZSoil, et les sollicitations obtenues dans les modèles AxisVM sont tout de même présentées. Les taux d'utilisation des pieux sont compris entre 35% et 65% comme présenté au ch. 10.9.1, garantissant une marge confortable dans la vérification.	En ordre.
[R]	[13]	[2] Calculs statiques	Ch. 6.1.2 – Frottement latéral des pieux : origine et choix des valeurs non documentés Les valeurs qs = 0 / 10–20 / 45–65 kN/m² (remblai / fluvio-glaciaire fin / sableux) ne sont référencées à aucune source (ni Institut Géotechnique, ni Geomod). Le choix dans les fourchettes n'est pas homogène (5 = borne haute du remblai ; 10 = borne basse du faciès fin ; 55 = milieu du faciès sableux). Demande : Faire valider les qs par le géotechnicien du projet et adopter un choix cohérent (bornes basses ou valeurs caractéristiques justifiées).	Ajout d'une annexe 10.13.4 avec les valeurs de frottement qs transmises par le Institut Geotechnique SA + adaptation des vérifications avec résistance de frottement et de pointe au ch. 6.1.2.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Annexe 10.13.4 ajoutée : la source des qs est tracée. Trois points à régler : - le tableau de la vérification en traction (p. 25) affiche encore les anciennes valeurs (0–5 / 10–20 / 45–65 kN/m²), en contradiction avec l'annexe qui vient d'être ajoutée ; - les valeurs introduites (10 et 55 kPa) sont les bornes hautes des fourchettes IG, pour un taux d'utilisation en traction de 0,93 ; - l'IG subordonne ces valeurs à un forage tubé ou sous fluide de soutènement, cette condition n'apparaît ni dans la BP ni dans la CU ni sur les plans.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Le tableau de la vérification en traction affiche désormais les valeurs de l'annexe IG (0 / 0–10 / 45–55 kN/m²) : l'incohérence avec l'annexe est levée. Restent : les valeurs introduites dans le calcul (10 et 55 kPa) sont toujours les bornes hautes, pour n = 0,93 en traction ; et la condition d'exécution imposée par l'IG (forage tubé ou sous fluide de soutènement) est à vérifier dans le BP, non retransmis.	Informations ajoutées au tab. 8 de la BP concernant la mise en oeuvre des pieux par forage tubé ou par utilisation de fluide de soutènement.	En ordre. Recommendation pour la phase d'execution: Etudier la nécessité des vérifications complementaires en fonction de la méthode et la condition d'exécution proposée par l'entreprise.
[R]	[14]	[2] Calculs statiques	Stabilité générale (grand glissement) non traitée Aucune vérification de stabilité d'ensemble (glissement général au sens de l'EL type 1) ne figure dans le dossier. La plateforme est quasi horizontale et le mécanisme est vraisemblablement non déterminant, mais l'absence doit être justifiée, notamment vis-à-vis du talus vers la Sorge et des états provisoires (fouilles de réalisation des semelles et longrines). Demande : Produire un justificatif court (screening) ou une vérification de stabilité générale.	Des vérifications au glissement EL type 2 sont réalisées dans le ch. 7.1, aux extrémités est et ouest des murs sur semelles, sur 3 et 4 travées de murs appuyés sur des butons. Une vérification au glissment "global", basée sur les poids frottants résistants des murs, butons et sols, serait réalisée sur l'ensemble de l'ouvrage et serait par conséquent elle aussi largement vérifiée. En phase provisoire (période de 4 à 8 semaines), l'action du choc ferroviaire sur l'ouvrage n'a pas lieu d'être prise en compte. Aucune autre charge, qui aurait un impact conséquent sur cette vérification au glissement, n'a non plus lieu d'être considérée en phase provisoire.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) L'argumentation est acceptée : les vérifications locales portent sur les configurations les plus défavorables et une vérification d'ensemble mobiliserait davantage de résistance pour la même action, l'absence de choc en phase provisoire est également recevable. Demande : reporter ces quelques lignes au ch. 7 de la NDC, de sorte que la non-vérification du grand glissement soit une position tracée et non une omission.	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	-
[R]	[15]	[2] Calculs statiques	Référence croisée erronée vers la Base du projet (« chapitre 4.1.1 ») Les Calculs statiques renvoient à plusieurs reprises (p. 20, 25, 37) au « chapitre 4.1.1 « Conditions d'appui » de la Base du projet », alors que les conditions d'appui et les valeurs de ressorts figurent au ch. 4.1.2 (le ch. 4.1.1 est la description du système statique). En outre, les valeurs de ressorts des semelles ne sont re-citées nulle part dans les Calculs statiques (seules celles des pieux le sont, ch. 2.1.2), ce qui nuit à la traçabilité. Demande : Corriger les renvois (4.1.1 → 4.1.2) et rappeler dans la note de calcul les valeurs de ressorts utilisées pour les semelles (Sol 1 / Sol 2 / Sol 3).	Renvoi au 4.1.2 de la BP corrigé. Rappel des valeurs des ressorts ajouté au ch. 2.2.1.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Rappel des valeurs de ressorts ajouté au ch. 2.2.1. La correction des renvois est partielle : six occurrences du renvoi au « chapitre 4.1.1 » subsistent aux p. 26, 38 (deux fois), 51, 52 et 53.	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation) Les six renvois erronés ont été corrigés : les p. 26, 38, 51, 52 et 53 renvoient désormais au ch. 2.2.1 de la NDC. Coquille de renumérotation : le ch. 2.2.1 renvoie aux « annexes 10.13.1 à 10.13.3 » alors que les feuilles de l'Institut Géotechnique sont désormais numérotées 10.12.1 à 10.12.3.	Texte corrigé.	En ordre Recommendation pour la phase actuelle: Eemerque de forme: Ch. 2.2.1 de la NDC et au ch. 4.1.2 de la BP un renvoi aux « annexes 10.13.1 à 10.13.3 » alors que les feuilles de l'Institut Géotechnique sont numérotées 10.12.1 à 10.12.3 – le ch. 10.14 les référence d'ailleurs correctement. À corriger à l'édition finale.
[3] 5887 – Étude géotechnique Geomod – ZSoil V1 (29.06.2026)								
[R]	[16]	[3] Geomod – ZSoil	Statut du document : jeu de planches « DOCUMENT DE TRAVAIL » sans rapport formalisé Le document (M1539, 11.05.2026) ne contient ni description du maillage, ni paramètres d'interface mur–sol, ni conditions aux limites, ni position de la nappe, ni jeu complet de paramètres HSM (m, pref, Rf, ψ ; seuls E50 = ME et Eur = 4 E50 sont indiqués), ni justification du chargement statique équivalent (4'000 kN sur 3 m), ni conclusions. Demande : Établir un rapport formalisé reprenant l'ensemble des hypothèses, avec une analyse de sensibilité sur c' du faciès fin (5 kPa vs 0) et une position sur l'effet de groupe des pieux (entraxe 2.0 m = 5D).	Le rapport Géomod a été annexé à la NDC, ch. 10.14. Geomod a mis à jour son document, avec description du maillage, paramètres HSM des 2 couches de sol considérées, position de la nappe, une comparaison des résultats en déplaces d'un modèle de sol avec cohésion nulle et cohésion c=5kPa, une comparaison des déplacements entre modèle « piles » et modèle « pieux en éléments continus » (tenant compte de l'effort de groupe des pieux) pour justifier de la prise en compte d'un modèle "piles".	En ordre. Rapport Geomod v5 annexé au ch. 10.14, complet sur tous les points demandés : maillage, nappe, paramètres HSM, sensibilité à la cohésion (28,9 contre 29,0 mm) et comparaison modèle « piles » / éléments continus (61 contre 64 mm, soit 5 %). Aucune suite.	En ordre. Aucune demande résiduelle.	OK	-
[R]	[17]	[3] Geomod – ZSoil	Cas de charge 5 annoncé mais résultats non transmis La planche 5 liste cinq cas de charge ; les résultats ne sont présentés que pour les cas 1 à 4. Le cas 5 (Q = 27000 kN sur 1,5 m, à l'amont, sur le mur sans pieux) concerne la zone sur semelles adjacente et peut être déterminant pour celle-ci. Demande : Transmettre les résultats du cas de charge 5 (déplacements, efforts).	La demande initiale faite à à Geomod étant d'étudier uniquement la partie mur sur pieux, nous avions, à simple titre de comparaison, demandé les déplacement pour un cas de charge 5 sur la partie mur sur semelle, pour avoir une idée de l'influence des charges sur la partie sur pieux. Les sollicitations/déplacements générés par ce cas de charge 5 ne sont pas présentées dans le nouveau rapport de Geomod. Elles sont reprises	En ordre avec réserve - à traiter dans la phase actuelle (n'empêche pas la validation)<br