

DOSSIER D'APPROBATION DES PLANS

GARE DE LA TINE ET VOIE DE GARAGE AU LANCIAU

Projet partiel :

Référence projet :

Objet(s) :

MZ 12.54, MZ 13.02

Rapport technique de la voie ferrée

Pièce n°

11.1

Référence : 20114-R011b-Rapports voie ferrée - Tine-Lanciau.docx



Ligne : Montreux - Zweisimmen

PK : Km 24.405 à 26.606

Commune : Rossinière (VD)

Echelle : - Format : A4

Statut : **VERSION FINALE**

Auteur du plan

MONOD-PIGUET + Associés

Ingénieurs Conseils SA

Avenue de Cour 32
1007 Lausanne



STRATA ARCHITECTURE

Route de Saint-Julien 40
1227 Carouge Genève



**COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER
MONTREUX OBERLAND BERNOIS SA**

Rue de la Gare 22 – CP 1426
1820 Montreux 1

Service :



Furrer+Frey AG

Thunstrasse 35
3000 Bern 6



GESTE ENGINEERING SA

Rue de la Gare de Triage 5
1020 Renens



| Version | Date | Etabli par | Contrôlé par | Modifications |
|---------|------------|------------|--------------|---|
| - | 01.07.2022 | Abe/SGr | NSi | Version initiale |
| A | 29.04.2024 | ABE | NSi | Mise à jour selon examen exhaustivité du 06.12.2023 |
| | | | | |
| | | | | |

Maître de l'ouvrage :

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER MONTREUX OBERLAND BERNOIS SA

Yves Pittet

Resp. Domaine Infrastructure

Alain Morand

Resp. Département Projets

Jennifer Desponds

Cheffe de projet

Auteur du projet :

Nicolas Simon

Chef de projet

Date :

Montreux, le

Gare de la Tine et voie de garage au Lanciau
Pièce 12.1 – Rapport technique de la voie ferrée

| Impressum | | | | |
|------------------|-------------|--|-------------|---|
| Auteur | | MONOD-PIGUET + ASSOCIES IC S.A. | | |
| Diffusion | | | | |
| | | Compagnie du chemin de fer Montreux Oberland bernois | | |
| Interne | | | | |
| N° interne | | 20114-R011b-Rapports voie ferrée - Tine-Lanciau.docx | | |
| Révisions | | | | |
| Version | Date | Auteur | Visa | Concerne |
| - | 01.07.2022 | ABE/SGR | NSI | Version initiale V0 |
| A | 29.04.2024 | ABE | NSI | Mise à jour selon examen exhaustivité du 06.12.2023 |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

TABLE DES MATIERES

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | DOCUMENTS DE BASE | 4 |
| 1.1 | Bases générales | 4 |
| 1.2 | Bases spécifiques au projet | 5 |
| 2 | Données de base | 6 |
| 2.1 | Cadre | 6 |
| 2.1.1 | Situation géographique | 6 |
| 3 | Géomatique | 7 |
| 3.1 | Vitesse et PEL selon la géométrie projetée | 7 |
| 3.2 | Entraxes, dégagement de service | 7 |
| 3.2.1 | Gare de la Tine | 7 |
| 3.2.2 | Voie de garage au Lanciau | 8 |
| 3.3 | Profil en long | 9 |
| 3.4 | Dynamique | 10 |
| 4 | Voie ferrée | 11 |
| 4.1 | Situation actuelle | 11 |
| 4.2 | Situation projetée | 12 |
| 4.2.1 | Généralités | 12 |
| 4.2.2 | Superstructure | 13 |
| 4.2.3 | Heurtoir | 14 |
| 4.2.4 | Banquette | 14 |
| 4.2.5 | Passage à niveaux | 14 |
| 5 | Infrastructure | 15 |
| 5.1 | Hypothèses | 15 |
| 5.1.1 | Groupe de charges des voies | 15 |
| 5.1.2 | Typologie d'infrastructure | 15 |
| 5.1.3 | Conditions géotechniques | 16 |
| 5.1.4 | Niveau de la nappe | 18 |
| 5.2 | Projet de réfection de l'infrastructure | 19 |
| 5.2.1 | Lit de ballast | 19 |
| 5.2.2 | Limite de déformabilité | 19 |
| 5.2.3 | Couche d'imperméabilisation et couche de fondation | 20 |
| 5.2.4 | Dimensionnement de l'infrastructure selon les limites de déformabilité | 21 |
| 5.2.5 | Dimensionnement de l'infrastructure au gel | 23 |
| 5.2.6 | Voie bétonnée au Lanciau | 25 |
| 5.3 | Conclusion : Composition de l'infrastructure ferroviaire | 26 |

1 DOCUMENTS DE BASE

1.1 Bases générales

Bases légales

- [1] Loi fédérale sur les chemins de fer LCdF (01.01.2022)
- [2] Ordonnance sur la construction et l'exploitation des chemins de fer OCF (01.01.2021)
- [3] Disposition d'exécution de l'ordonnance sur les chemins de fer DE-OCF (01.11.2020)

Directives et règlements

- [4] Directive sur la procédure d'approbation des plans pour les installations ferroviaires
OPAPIF (01.11.2014)
- [5] Directive OFT et OFEV sur l'évacuation des eaux des installations ferroviaires (aout 2018)
- [6] R RTE 21110 de l'union des transports publics "Infrastructure et ballast" (01.09.2015)
- [7] D RTE 22540 de l'union des transports publics "Guide pratique voie ferrée métrique" (15.01.2011)
- [8] FB 400-0204 - Prescriptions d'exécution et de qualité (PEQ) des banquettes des CFF (01.03.2021)

Normes

- [9] VSS 70 140b (2019) Gel

1.2 Bases spécifiques au projet

Rapports

- [10] Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - La Tine, établi par le bureau K&F SA, 30 septembre 2021
- [11] Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - Lanciau, établi par le bureau K&F SA, 22 mars 2021
- [12] Etude géotechnique accotement Tine-Rossinière établie par le bureau K&F SA, 15 décembre 2020

Plans

- [13] Relevé du géomètre exécuté par le bureau Geosolutions SA le 18 novembre 2020
- [14] Pièce 11.2.1 – La Tine – Plan de projet de voies
- [15] Pièce 11.2.2 – La Tine – Profil en long voie 1 – 21
- [16] Pièce 11.2.3 – La Tine – Profil en long voie 11 – 2 – 62
- [17] Pièce 12.2.4 – La Tine – Profils types ferroviaires
- [18] Pièce 11.3.1 – Lanciau – Plan de projet de voies
- [19] Pièce 11.3.2 – Lanciau – Profil en long voie 82 - 92
- [20] Pièce 11.3.3 – Lanciau – Profil en long voie 93
- [21] Pièce 12.3.3 – Lanciau – Profils types ferroviaires

Annexes

1. Détail type heurtoir

2 Données de base

2.1 Cadre

Dans le cadre du renouvellement de la gare de la Tine, le tracé ferroviaire est modifié du km 24.612 au km 25.435, et une voie de garage est aménagée du km 26.181 au km 26.328, voir pièces 12.2.1 et 12.3.1 du présent dossier PAP.

Les impacts sur l'infrastructure ferroviaire existante sont les suivants :

La Tine

- Km 24.612 au km 24.674 : Ripage de la voie sans modification de l'infrastructure
- Km 24.674 au km 25.435 : Nouvelle géométrie des voies, réfection globale de l'infrastructure ferroviaire

Lanciau

- Km 26.181 au km 26.328 : Nouvelle voie avec création de l'infrastructure

L'objectif du présent document est de décrire et justifier le dimensionnement de l'infrastructure et de la superstructure ferroviaire sur le tronçon impacté.

2.1.1 Situation géographique

La gare de la Tine et la zone du Lanciau sont situées à une altitude de 850 m dans un flanc de montagne avec peu d'ensoleillement journalier, voir extrait de google earth ci-dessous.



Figure 1 : Situation de la gare de la Tine - Source Google Earth

3 Géomatique

3.1 Vitesse et PEL selon la géométrie projetée

| La Tine | | | Lanciau | | |
|-----------------|-------|---------|------------|-------|---------|
| N° de voie | PEL | Vitesse | N° de voie | PEL | Vitesse |
| Voie 1-21 | OCF A | 40 km/h | Voie 82-92 | OCF B | 55 km/h |
| Voie 11 – 2- 62 | OCF A | 50 km/h | Voie 93 | OCF A | 20 km/h |
| | OCF B | 40 km/h | | | |
| Voie 20 | OCF A | 20 km/h | | | |

Tableau 1 : PEL et vitesses

Le profil d'espace est un OCF B avec l'utilisation de bogies transporteurs uniquement. La valeur de H (différence de hauteur entre les PDR de la voie normale et de la voie métrique) est de 225 mm.

Le PEL B de la voie 11-2-62 au droit de la gare de la Tine est limité à 40 km/h pour des raisons de zone sûre au droit des quais.

3.2 Entraxes, dégagement de service

3.2.1 Gare de la Tine

| La Tine | | | |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|
| Entraxe voies | PEL et vitesse déterminants | Entraxe min : | Entraxe projet |
| Voie 1 Voie 2 | OCF A - 40 km/h OCF A - 50 km/h | $3.20 + e + e + 0.6 \approx 3.80$ m | Variable jusqu'à 8.20 m |
| Voie 20 Voie 11-21 | OCF A - 20 km/h OCF A - 40 km/h | $3.20 + e + e + 0.7 \approx 3.90$ m | Variable entre 5.89 à 3.95 m |

Tableau 2 : Entraxes et dégagement de service à la Tine

Gare de la Tine et voie de garage au Lanciau Pièce 11.1 – Rapport technique de la voie ferrée

Le plan schématique indiquant les espaces de sécurité et leur largeur est présenté ci-dessous.

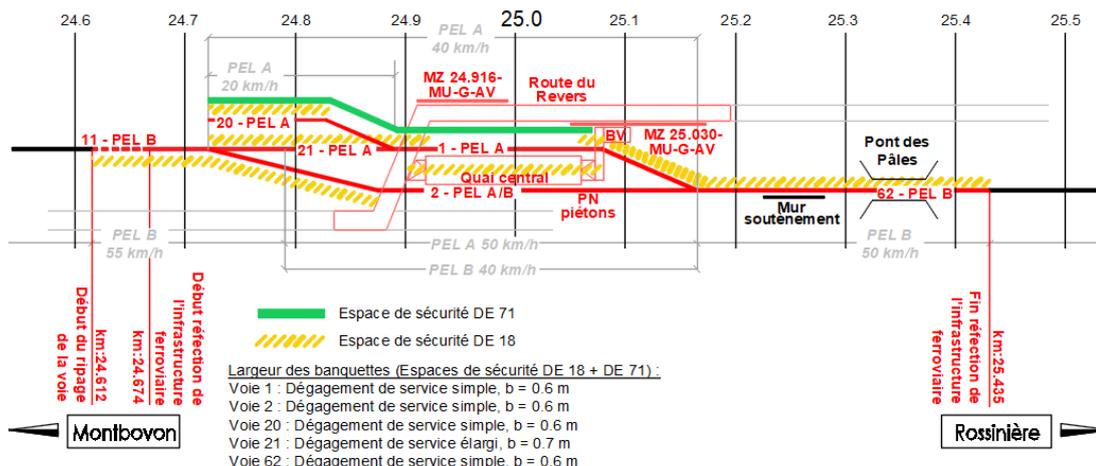


Figure 2 : Plan schématique des voies et zones intermédiaires de sécurité à la Tine

3.2.2 Voie de garage au Lanciau

| Lanciau | | | |
|-----------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Entraxe voie | PEL et vitesse déterminants | Entraxe min : | Entraxe projet |
| Voie 82-92 Voie 93 | OCF B - 55 km/h OCF A - 20 km/h | 3.250 + e+e+0.6 ≈ 3.85 m | Variable jusqu'à 9.30 m |

Tableau 3 : Entraxes et dégagement de service au Lanciau

Le plan schématique indiquant les espaces de sécurité et leur longueur est présenté ci-dessous.

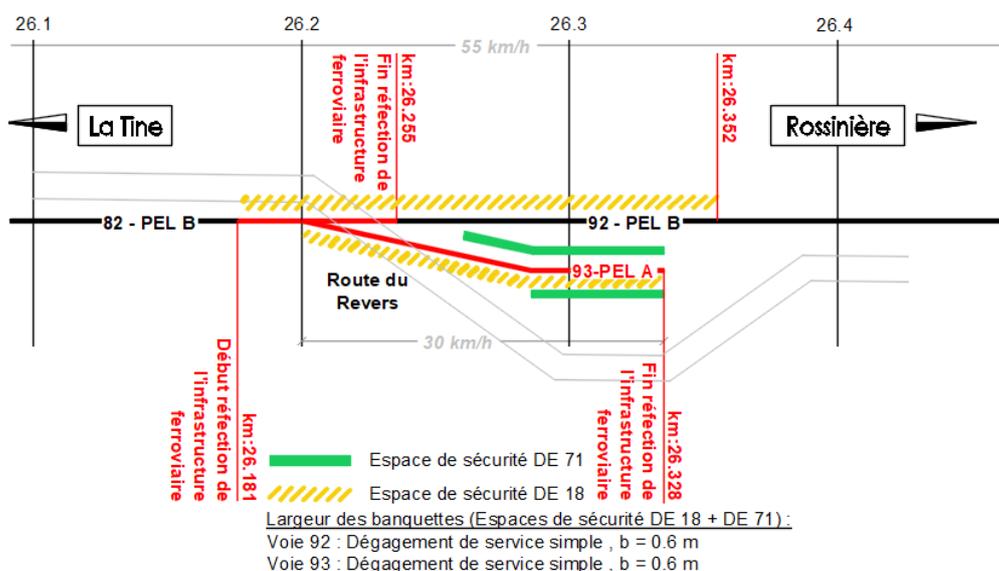


Figure 3 : Plan schématique des voies et zones intermédiaires de sécurité au Lanciau

3.3 Profil en long

| La Tine | | |
|--------------|----------------------|---------|
| N° de voie | KM | Pente ‰ |
| Voie 1-21 | Voie 2 - 24.698 | 17.18 |
| | 24.698- 24.749 | 7.65 |
| | 24.749 - 24.782 | -2.69 |
| | 24.782- 25.047 | 0.00 |
| | 25.047 - voie 2 | 15.74 |
| Voie 11-2-62 | Pleine voie - 24.717 | 17.80 |
| | 24.717 - 25.048 | 0.00 |
| | 25.048 - 25.314 | 15.74 |
| | 25.314 - pleine voie | 27.20 |
| Voie 20 | 24.715 - 24.861 | 0.00 |
| | 24.858 - 24.875 | 3.11 |
| | 24.875 - voie 1 | 0.00 |
| Lanciau | | |
| N° de voie | KM | Pente ‰ |
| Voie 82-92 | Pleine voie – 26.171 | -4.50 |
| | 26.171 - 26.285 | -10.80 |
| | 26.285 - pleine voie | -7.30 |
| Voie 93 | Voie 82 - 26.212 | -9.66 |
| | 26.212 - 26.231 | -8.67 |
| | 26.231 - 26.242 | -5.78 |
| | 26.242 - 26.328 | -1.00 |

Tableau 4 : Déclivité des voies

Ces valeurs respectent la valeur limite de la déclivité longitudinale des voies de circulation en cas normal selon DE-OCF de 40 ‰.

3.4 Dynamique

Le tracé des voies projeté présente les caractéristiques dynamiques suivantes :

| Description | Valeur maximale selon géométrie projetée | Valeur limite en cas normal selon DE-OCF | Référence DE-OCF ad art. 17, |
|--|--|--|------------------------------|
| Longueur minimale des éléments | 1 s | 1 s | Feuille 3M |
| Insuffisance du dévers | 85 mm | 86 mm | Feuille 6M, |
| Dévers | 74 mm | 90 mm (Bogies) | Feuille 4M |
| Gauche | 2.00 ‰ | 2.00 ‰ | Feuille 7M |
| Variation du dévers en fonction du temps | 30.44 mm/s | 40 mm/s | Feuille 8M |
| Variation de l'insuffisance du dévers en fonction du temps | 35.65 mm/s | 55 mm/s | Feuille 8M |
| Variation brusque l'insuffisance du dévers | 62 mm | 72 mm | Feuille 9M |
| Rayon horizontal minimal de la voie | 137 m | 80 m | Feuille 17M |
| Rayon horizontal minimal de la voie dans la zone de quai | 188 m | 130 m | Feuille 21M |
| Rayon vertical convexe minimal | 2000 m | 1500 m | Feuille 14M |
| Rayon vertical concave minimal | 1000 m | 1000 m | Feuille 14M |

Tableau 5 : caractéristiques dynamiques et valeurs limites selon la DE-OCF

Pour les calculs dynamiques voir les pièces suivantes :

- Pièce 11.2.2 – La Tine – Profil en long voie 1 – 21
- Pièce 11.2.3 – La Tine – Profil en long voie 11 – 2 – 62
- Pièce 11.3.2 – Lanciau – Profil en long voie 82 - 92
- Pièce 11.3.3 – Lanciau – Profil en long voie 93

Les valeurs du projet respectent les valeurs limites en cas normal selon DE-OCF.

4 Voie ferrée

4.1 Situation actuelle

Le plan schématique indiquant la position des appareils de voies (AV) et des voies existantes est précisé dans la Figure 4 ci-dessous.

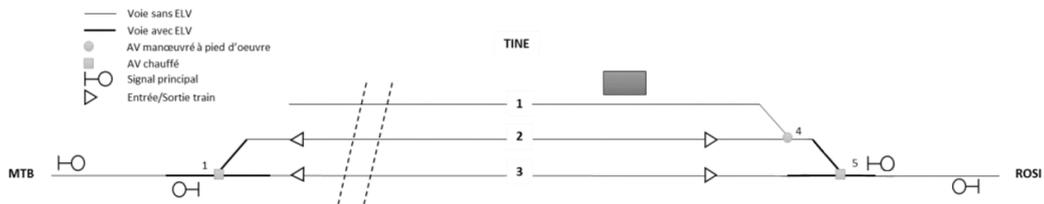


Figure 4 : Schéma de la situation actuelle à la Tine

Le type de superstructure actuelle figure dans le tableau ci-dessous.

| La Tine | | |
|--|---|---|
| N° de voie | KM | Matériel |
| Voie 1 | 24.880 - 25.034 | Traverses bois et rails 46E1. |
| Voie 2 et 3 et pleine voie (sauf AV) | 24.612 – 25.435 | Traverses béton UTP E M-2 et rails 54E2 |
| N° d'AV | Type | Matériel |
| 1 | BS I 80 M O 1:7 B,G,S | Traverses bois et rails 46E1 |
| 4 | BS I 80 M C 1:7 B,D,S | Traverses bois et rails 46E1 |
| 5 | BS I 130 M C 1:7 B,D,S Branchement simple droite | Traverses bois et rails 46E1 |
| Ballast | | |
| Ballast ferroviaire 32/50, qualité 1 selon norme SN 670'110 (rénové en 2019) | | |
| Lanciau | | |
| N° de voie | KM | Matériel |
| Voie 82-92 | 26.181 – 26.255 | Traverses béton UTP E M-2 et rails 54E2 |
| Ballast | | |
| Ballast ferroviaire 32/50, qualité 1 selon norme SN 670'110 | | |

Tableau 6 : Superstructure existante

4.2 Situation projetée

4.2.1 Généralités

Plan schématique indiquant la position des AVs et le type de superstructure est présenté dans la Figure 5 ci-dessous.

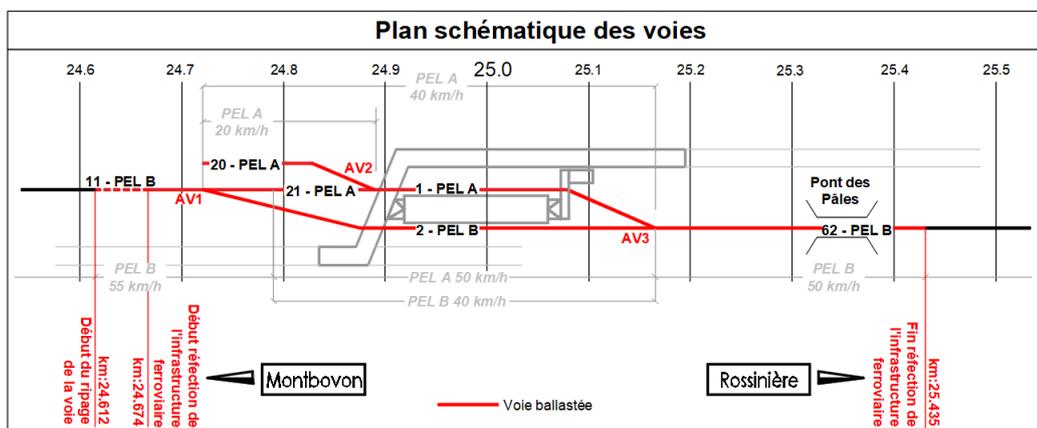


Figure 5 : Plan schématique des voies projetées à la Tine

Plan schématique indiquant la position de l'AV et le type de superstructure est présenté dans la Figure 6 ci-dessous.

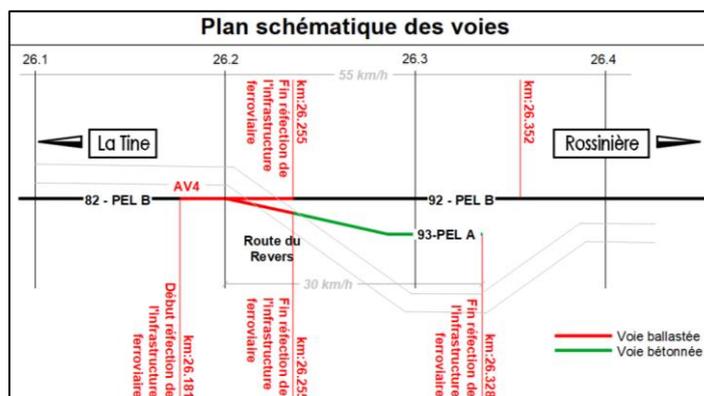


Figure 6 : Plan schématique des voies projetées au Lanciau

4.2.2 Superstructure

| La Tine | | |
|--|--|---|
| N° de voie | KM | Matériel |
| Gare de la Tine | 24.674- 25.435 | Rails 54E2 |
| N° d'AV | Type | Matériel |
| 1 | BS IV – 500 M - O - 1:14- Bé,G,S | Rails 54E2 |
| 2 | BS IV - 130-159/126.04 M - C - 1:7- Bé,D,S | Rails 54E2 |
| 3 | BS IV - 250M - O - 1:12- Bé,G,S | Rails 54E2 |
| Traverses | | |
| Traverses monobloc en béton type VöV-E M2 partout pour les nouvelles traverses | | |
| Ballast | | |
| Ballast ferroviaire 32/50, qualité 1 selon norme SN 670'110 avec 15 cm de ballast recyclé (criblé) issu du ballast existant. | | |
| Lanciau | | |
| N° de voie | KM | Matériel |
| Voie 82-92 | 26.181 - 26.255 | Rails 54E2 |
| Voie 93 | Voie 82 - 26.255 | Rails 54E2 |
| Voie 93 | 26.255 – 26.328 | Voie bétonnée Rails 54E2 avec rails encastré |
| N° d'AV | Type | Matériel |
| 4 | BS IV – 250 M – C – 1:9.5-Bé, D | Rails 54E2 |
| Traverses | | |
| Traverses monobloc en béton type VöV-E M2 partout pour les nouvelles traverses | | |
| Ballast | | |
| Ballast ferroviaire 32/50, qualité 1 selon norme SN 670'110 avec 15 cm de ballast recyclé (criblé) issu du ballast existant. | | |

Tableau 7 : Superstructure projetée

4.2.3 Heurtoir

Le type de heurtoirs prévus à la Tine et au Lanciau sont des Rawie 8 ZEB/6. La charge maximale considérée est de 230 to à une vitesse de 20 km/h dans une pente de 1.00%.

La distance de freinage est de 3.40 m.

Le détail du heurtoir est consultable en annexe 1 du présent rapport.

4.2.4 Banquette

La banquette doit être aménagée du côté aval de la voie à une distance de minimum 2 m + surlargeurs et à une altitude idéale de – 0.45 sous PDR. La largeur minimale de la banquette doit être de 0.60 m.

Lorsque l'altitude du TN est inférieure à -0.45 m sous PDR et dans les zones en interface avec des ouvrages existants, le niveau de la banquette peut être situé entre – 0.45 et – 0.11 m sous PDR (niveau de la traverse).

Afin de minimiser les emprises sur les parcelles avales et optimiser les coûts de travaux, des systèmes de retenue de banquette type Rügleri sont projetés . Le tableau ci-dessous présente leurs position et typologie :

| La Tine | KM | Type |
|----------------|-----------------|----------------|
| Voie 11 | 24.650 - 24.684 | Rügleri h=50cm |
| Voie 62 | 25.157 - 25.216 | Rügleri h=70cm |
| Lanciau | KM | Type |
| Voie 92 | 26.332 – 26.352 | Rügleri h=50cm |

Tableau 8 : position et typologie des Rügleri

La pente avale de chaque système Rügleri étant > 10%, les Rügleri doivent être fichés dans le sol avec des profilés types ROR ou sur d'anciens rails. Le système prévoit 2 à 4 pieux par tronçon de 5 m selon la hauteur du Rügleri. La profondeur minimale d'enfoncement est de 2.00 m depuis la grille + 20 cm dépassant de celle-ci. Par conséquent, la longueur totale du pieu est de 2.20 m.

Les détails des banquettes sont représentés dans la Pièce 12.2.4 – La Tine – Profils types ferroviaires et la Pièce 12.3.3 – Lanciau – Profils types ferroviaires.

4.2.5 Passage à niveaux

Les passages à niveaux seront réalisés en Strail avec les rails 54E2.

5 Infrastructure

5.1 Hypothèses

5.1.1 Groupe de charges des voies

Le groupe de charge a été défini en fonction du tableau ci-dessous (chapitre 2.2 DE 25 – DE -OCF)

Groupes de charges des voies : nouvelle construction (NC) et projets de maintenance (PM):

| Désignation | Future sollicitation | ou future vitesse de projet (catégorie de train R) |
|-------------|----------------------|--|
| NC1, PM1 | > 30 000 TB/j | ou $V \geq 160$ km/h |
| NC2, PM2 | 15 000 – 30 000 TB/j | ou $V \geq 80$ km/h |
| NC3, PM3 | 5000 – 15 000 TB/j | – |
| NC4, PM4 | < 5000 TB/j | – |

Voies principales (NC2) et (PM2)

Voies de garage (NC3)

Remarque : les traverses projetées sur des voies de garage (voie 20 et voie 93) étant en béton, les valeurs minimales du groupe de charges des voies NC3 sont appliquées au lieu des valeurs du groupe de charges des voies NC4.

Voies principales à La Tine (voie 21 – 1 et voie 11 – 2 - 62)

- Charges futures sur les voies principales : 23 000 to/jour
- Groupe de charge appliqué : **NC2**
- Utilisation de produits phytosanitaires sur le long terme

Voie principale au Lanciau (82 – 92)

- Charges futures sur les voies principales : 23 000 to/jour
- Groupe de charge appliqué : **PM2**
- Utilisation de produits phytosanitaires sur le long terme

Voies de garage à La Tine (voie 20) et au Lanciau (voie 83)

- Groupe de charge appliqué : **NC3**

5.1.2 Typologie d'infrastructure

La Tine :

- Voies principales (21 – 1 et 11 – 2 - 62) : : **Souple**
- Voie de garage (voie 20) : **Souple**

Lanciau :

- Voies principales (82-92) : **Souple**
- Voie de garage (93) jusqu'au km 25.255 : **Souple**
- Voie de garage (93) du km 25.255 au km 26.328 : **Rigide**

5.1.3 Conditions géotechniques

La Tine :

Une campagne d'investigations géotechniques a été réalisée en octobre 2020, la position des sondages est présentée dans la Figure 7 ci-dessous.

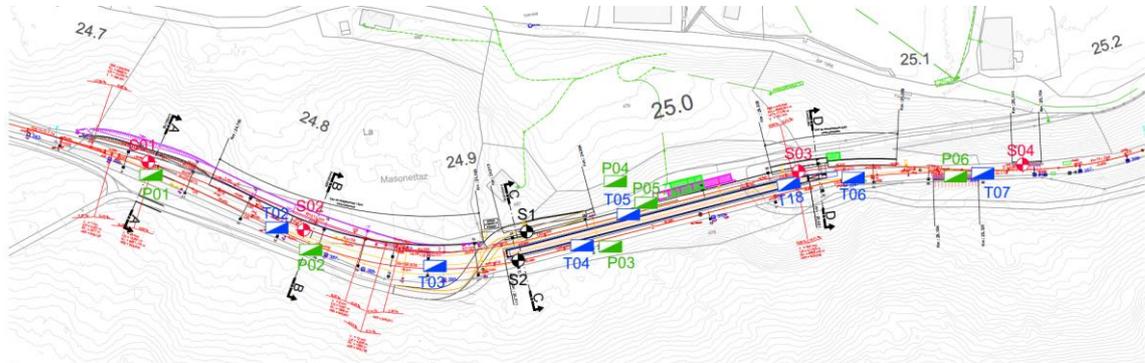


Figure 7 : Situation des sondages – Source : Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - La Tine, établi par le bureau K&F SA, 30 septembre 2021

Selon les archives de projets étudiés entre le km 25.200 et 25.439, la typologie du sol peut être analysée par analogie avec les données relevées dans le sondage T07. Des sondages seront effectués avant réalisation pour confirmer ou infirmer les hypothèses prises en compte.

Les caractéristiques géotechniques (issues du rapport géotechnique) sont présentées dans le tableau ci-dessous

| Fouille | Type de traverses existantes | Prof. De la fouille [cm] | Epaisseur ballast [cm] | Epaisseur infra. [cm] | Classification USCS du sol d'assise | Degré de gélivité (*) | ME ₁ [MN/m ²] (**) | Prof. essai portance [cm] |
|----------|------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---|---------------------------|
| P01(***) | Béton | 135 | 45 | 10 | CH | G2 | 6.0 | 95 |
| T02 | Bois | 80 | 30 | 25 | GW | G1-G2 | 42.0 | 70 |
| T03 | Béton | 100 | 25 | 20 | GM | G2-G3 | 19.7 | 65 |
| T04 | Béton | 105 | 40 | 40 | GM | G2-G3 | - | - |
| T05 | Bois | 100 | 30 | - | GW | G1-G2 | 19.0 | 70 |
| T18 | Bois | 80 | 40 | 20 | GC | G3-G4 | 22.6 | 70 |
| T06 | Bois | 80 | 40 | 10 | GP-GC | G2-G3 | 36.7 | 80 |
| T07 | Béton | 100 | 40 | - | GP-GM | G2-G3 | 34.8 | 80 |

(*) L'échelle de gélivité classe les sols en quatre catégories comme suit (selon la norme VSS 70 140b):
 G1 = très peu gélif, G2 = peu gélif, G3 = gélif, G4 = très gélif.

(**) Les valeurs de ME₁ sont estimées. L'appareil de mesure fournit un module dynamique (E_{vd}) duquel est tiré le module ME₁.

(***) La fouille P01 a été réalisée au bord de la voie et non entre les traverses de chemin de fer.

Tableau 9 : Caractéristiques des sols existants – Source : Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - La Tine, établi par le bureau K&F SA, 30 septembre 2021

Les hypothèses de portance seront confirmées via des essais lors des travaux.

Gare de la Tine et voie de garage au Lanciau Pièce 11.1 – Rapport technique de la voie ferrée

Lanciau :

Une campagne d'investigation géotechnique a été réalisée en octobre 2020, la position des sondages est présentée dans la Figure 8 ci-dessous.

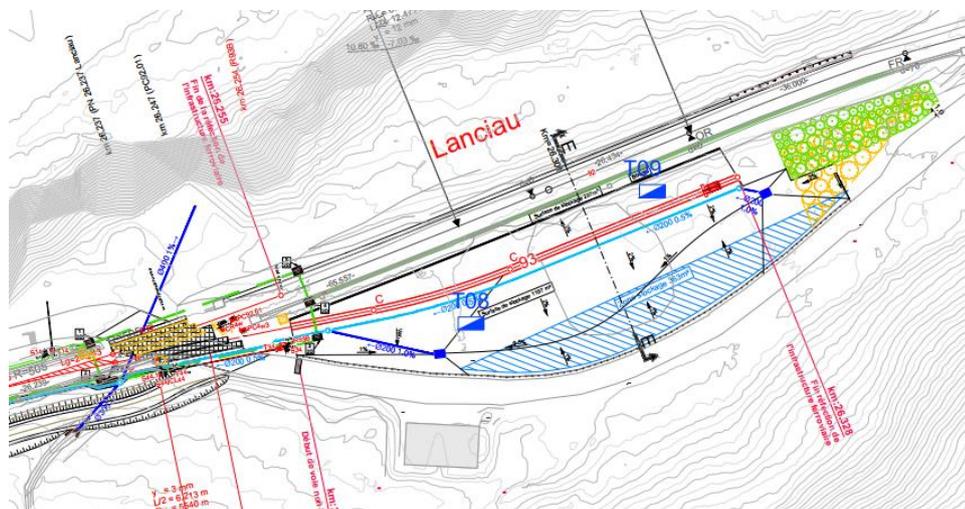


Figure 8 : Situation des sondages - Source : Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - La Tine, établi par le bureau K&F SA, 30 septembre 20212

Les caractéristiques géotechniques (issues du rapport géotechnique) sont présentées dans le tableau ci-dessous

Les couches rencontrées dans les sondages sont représentées dans la Figure 9 ci-dessous.

| Couches idéalisées | γ | c_{uk} | ϕ'_{k} | c'_{k} | E | Classe de gélivité (**) | K |
|--------------------|----------------------|----------------------|-------------|----------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
| | (kN/m ³) | (kN/m ²) | (°) | (kN/m ²) | (MN/m ²) | | |
| Remblais | 21.0 – 22.0 | 0 | 32 – 34 | 0 | 15 – 20 | G1 – G2 | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| Colluvions | 17.5 – 18.0 | 50 – 70 | 25 – 27(*) | 10 – 15(*) | 4 – 6 | G3 | $3.6 \cdot 10^{-5}$ |

(*) Pour les calculs de stabilité générale, de capacité portante des fondations ou de poussée contre les ouvrages, on considèrera les couples (ϕ'_{k} , c'_{k}) extrêmes, c'est-à-dire cohésion minimale avec angle de frottement maximal et inversement.

(**) Classification selon norme VSS 70 140b

Tableau 10 : Caractéristiques des sols existants - Source : Pièce 8.1 - Rapport géotechnique - La Tine, établi par le bureau K&F SA, 30 septembre 2021

Il est à noter que l'épaisseur de la couche de remblais de bonne capacité est très variable entre 80 cm et 1.60 m.

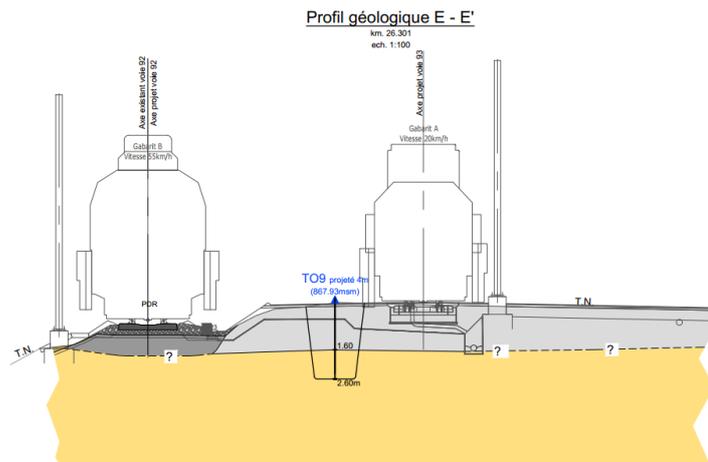


Figure 9 : Situation des sondages - Source Rapport géotechnique de karakas&Français

Ce faisant à la suite du texte de la page précédente, il est pris en compte dans le cadre du projet uniquement la couche de colluvions pour le dimensionnement de l'infrastructure au Lanciau.

Les hypothèses de portance seront confirmées via des essais lors des travaux.

5.1.4 Niveau de la nappe

Selon le rapport géotechnique, aucune nappe n'a été mise en évidence lors de la campagne d'investigation.

Le niveau de la nappe est estimé globalement **inférieur à 2 m** sous le niveau de la voie projetée.

Toutefois la problématique d'écoulement des eaux de la nappe en période de hautes eaux dans le secteur des Pâles (km 25.220 – 25.350) décrite en pièce 10.3 – Concept d'évacuation des eaux du présent dossier PAP pourrait générer un niveau de la nappe à une profondeur supérieur à 2 m sous le niveau de la voie projetée.

Afin de confirmer les hypothèses de projet avant l'exécution, un piézomètre et un suivi du niveau de la nappe dans le secteur des Pâles ont été commandé. Dans l'intervalle, la voie sera étanchéifiée afin d'éviter toute remontée de la nappe dans la grave.

5.2 Projet de réfection de l'infrastructure

5.2.1 Lit de ballast

L'épaisseur minimale du lit de ballast a été définie en fonction du tableau ci-dessous (chapitre 3.2 DE 25 – DE -OCF)

| Groupe de charges des voies | V [km/h] | Epaisseur minimale du lit de ballast [m] |
|-----------------------------|----------|--|
| NC1, PM1 | > 160 | 0,35 |
| | ≤ 160 | 0,30 |
| NC2, PM2 | – | 0,30 |
| NC3, PM3 | – | 0,30 |
| NC4 | – | 0,25 |
| PM4 | – | 0,20 |

Voies principales
(NC2) et (PM2)

Voies de garage (NC3)

L'épaisseur maximale du lit de ballast sera appliquée à 70 cm conformément à la réglementation en vigueur.

5.2.2 Limite de déformabilité

La limite de déformabilité a été définie en fonction du tableau ci-dessous (chapitre 4.2.4 DE 25 – DE -OCF)

| Groupes de charges des voies | Sur la surface de la couche de base | | | | Sur la plate-forme |
|------------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| | déformabilité maximale | | déformabilité minimale | | déformabilité maximale |
| | M _{E1} [MN/m ²] | d [1/100 mm] | M _{E1} [MN/m ²] | d [1/100 mm] | M _{E1} [MN/m ²] |
| NC1, NC2 | 60 | 140 | 150 | 40 | 15 |
| NC3 | 40 | 170 ¹⁾ | 150 | 40 | 15 |
| NC4 | 15 | - | 150 | - | 15 |
| PM1, PM2 | 40 | - | 150 | - | 6 ²⁾ |
| PM3 | 30 | - | 150 | - | 6 ²⁾ |
| PM4 | 15 | - | 150 | - | 6 ²⁾ |

Voies principales
à la Tine (NC2)

Voies de garage (NC3)

Voie principale
au Lanciau (PM2)

¹⁾ déterminant seulement si une couche d'imperméabilisation bitumineuse est posée (cf. tableau ch. 4.3.2)

²⁾ correspond à une valeur corrélée du California Bearing Ratio CBR d'env. 3 %

5.2.3 Couche d'imperméabilisation et couche de fondation

L'épaisseur de la couche d'imperméabilisation et de fondation ont été définies en fonction du tableau ci-dessous (chapitre 4.3.2 DE 25 – DE -OCF)

| Groupe de charges des voies | Déformabilité sur la plate-forme | Construction | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|
| | M _{E1} [MN/m ²] | Matériau | Épaisseur minimale [cm] |
| NC1 | 15 à 30 | S: couche d'imperméabilisation bitumineuse F: grave | 7 ¹⁾ 40 |
| | supérieure à 30 | S: couche d'imperméabilisation bitumineuse F: grave | 7 ¹⁾ 25 |
| NC2 | supérieure à 15 | S: couche d'imperméabilisation bitumineuse F: grave | 7 ¹⁾ 25 |
| NC3 | | S: couche d'imperméabilisation minérale F: grave | 5 25 |
| NC4 | supérieure à 15 | S: couche d'imperméabilisation minérale | 5 |
| | | F: grave | 20 |
| | | F: grave | 25 |
| PM1 | 6 à 8 | S/F: grave PSS | 40 |
| PM2 | 8 à 10 | S/F: grave PSS | 35 |
| | supérieure à 10 | S/F: grave PSS | 30 |
| PM3 | 6 à 8 | S/F: grave PSS | 30 |
| | | S: couche d'imperméabilisation minérale F: grave | 5 25 |
| | | F: grave | 30 |
| | supérieure à 8 | S/F: grave PSS | 30 |
| | | S: couche d'imperméabilisation minérale F: grave | 5 20 |
| | | F: grave | 25 |
| PM4 | au moins 6 | S/F: grave PSS | 25 |
| | | S: couche d'imperméabilisation minérale | 5 |
| | | F: grave | 20 |
| | | F: grave | 20 |

Voies principales à la Tine (NC2) et voies de garages (NC3)

Voie principale au Lanciau (PM2)

¹⁾ dans le cas d'une couche d'imperméabilisation bitumineuse, l'expérience montre qu'il est indiqué de poser entre la grave et la couche d'imperméabilisation une couche de compensation de 3 cm d'épaisseur en granulés d'asphalte bitumineux 0/16 conforme à la SN EN 13108-8⁵. Cela augmente l'épaisseur participante de la couche d'imperméabilisation bitumineuse ainsi que l'élasticité de l'infrastructure.

5.2.4 Dimensionnement de l'infrastructure selon les limites de déformabilité

5.2.4.1 Plateforme

Le Tableau 11 ci-dessous résume l'analyse de la déformabilité au niveau de la plateforme.

| | Sondage | Km | Me mesuré [MPa] | Profondeur mesurée [m] | ME min selon DE-OCF | Analyse |
|----------------|---------|--------|-----------------|------------------------|---------------------|-----------|
| La Tine | P01 | 24.742 | 6 | 0.95 | 15 | KO |
| | T02 | 24.820 | 42 | 0.70 | 15 | OK |
| | T03 | 24.870 | 19.7 | 0.65 | 15 | OK |
| | T05 | 24.965 | 19 | 0.70 | 15 | OK |
| | T18 | 25.040 | 22.6 | 0.80 | 15 | OK |
| | T06 | 25.065 | 36.7 | 0.80 | 15 | OK |
| | T07 | 25.130 | 34.8 | 0.80 | 15 | OK |
| Lanciau | T08 | 26.280 | 5 | 1.05 | 15 | KO |
| | T09 | 26.310 | 5.8 | 2.0 | 15 | KO |

Tableau 11 : Analyse déformabilité de la plateforme

Les plateformes au niveau du sondage P01 ainsi qu'au Lanciau ne présentent pas une valeur de déformabilité suffisante. Il est proposé de compenser ce déficit par une épaisseur de grave plus conséquente que sur les autres parties du tronçon, voir chapitre 5.2.4.2 du présent document.

5.2.4.2 Couche de base

Les méthodes de dimensionnement empiriques suivantes ont été appliquées afin d'estimer la valeur du ME sur la couche de base :

- ME sur couche de base 1 : + 10 Mpa tous les 0.10 m de grave
- ME sur couche de base 2 : ME x 2 tous les 0.20 m

La valeur minimale tirée des 2 méthodes est ensuite analysée.

| | Sondage | Km | Me mesuré [MPa] plateforme | Ep grave Min [m] | ME min selon DE-OCF Couche de base | ME sur couche de base 1 | ME sur couche de base 2 | Analyse | Ep grave projetée [m] |
|----------------|---------|--------|----------------------------|------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------|-----------------------|
| La Tine | P01 | 24.742 | 6 | 0.70 | 60 | 76.00 | 67.88 | OK | 0.70 |
| | T02 | 24.820 | 42 | 0.25 | 60 | 67.00 | 99.89 | OK | 0.40 |
| | T03 | 24.870 | 19.7 | 0.40 | 60 | 59.70 | 93.71 | OK | 0.40 |
| | T05 | 24.965 | 19 | 0.40 | 60 | 59.00 | 90.38 | OK | 0.40 |
| | T18 | 25.040 | 22.6 | 0.40 | 60 | 62.60 | 90.40 | OK | 0.40 |
| | T06 | 25.065 | 36.7 | 0.25 | 60 | 61.70 | 87.30 | OK | 0.40 |
| | T07 | 25.130 | 34.8 | 0.30 | 60 | 64.80 | 98.43 | OK | 0.40 |
| Lanciau | T08 | 26.280 | 5 | 0.60 | 40 | 65 | 40 | OK | 0.60* |
| | T09 | 26.310 | 5.8 | 0.60 | 40 | 66 | 46.4 | OK | 0.60* |

Tableau 12 : Analyse déformabilité de la couche de base

* Dans la zone du Lanciau, en fonction de l'épaisseur effective de la couche de remblai de bonne capacité portante, il sera possible de limiter l'épaisseur de grave à mettre en place. On évitera donc d'évacuer au maximum du matériaux graveleux de bonne portance non gélif. Ceci pourra être défini qu'uniquement lors de la réalisation.

Au vu des résultats très proches de la valeur seuil, il est proposé de projeter 0.40 m de grave dans les zones situées à proximité des sondages T03 et T05 sous réserve d'essais ME concluant durant les travaux.

Les caractéristiques géotechniques de la voie depuis le km 25.130 au km 25.435 étant encore à confirmer, il est proposé, à ce stade des études de projeter une épaisseur de grave de 0.40 m au lieu de 0.30 m et optimiser ensuite l'épaisseur en fonction des valeurs d'essais qui seront récoltées avant les travaux.

5.2.5 Dimensionnement de l'infrastructure au gel

5.2.5.1 Nécessité du dimensionnement

La démarche de justification du dimensionnement de l'infrastructure au gel selon la DE-OCF est synthétisée ci-dessous.

| | Sondage | Km | Type de voie | Gélimité du sol selon rapport géotechnique | Gélimité appliquée | Prof tranché e > 3.00 m ? | Niveau nappe sous PDR < 2.00 m ? | Eau sous pression dans le sol ? | Analyse |
|----------------|---------|-----------------|--------------|--|--------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------|
| La Tine | P01 | 24.742 | NC2 | G2 | G2 | _* | _* | _* | OK |
| | T02 | 24.820 | NC2 | G1-G2 | G2 | _* | _* | _* | OK |
| | T03 | 24.870 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| | T04 | 24.945 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| | T05 | 24.965 | NC2 | G1-G2 | G2 | _* | _* | _* | OK |
| | T18 | 25.040 | NC2 | G3-G4 | G4 | NON | NON | NON | OK |
| | T06 | 25.065 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| | T07 | 25.130 – 25.220 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| | | 25.220 – 25.304 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | OUI | NON | KO |
| | | 25.314 – 25.435 | NC2 | G2-G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| Lanciau | T08 | 26.280 | NC3 | G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |
| | T09 | 26.310 | NC3 | G3 | G3 | NON | NON | NON | OK |

Tableau 13 : Analyse déformabilité de la couche de base

*Analyse non nécessaire, gélimité du sol non contraignante

Sous réserve des résultats du suivi du niveau de la nappe dans le secteur des Pâles (km 25.220 à 25.304) le niveau de la nappe est considéré comme < 2.00 m sous la voie. Un dimensionnement au gel sera donc nécessaire dans ce tronçon.

Un dimensionnement au gel de l'infrastructure dans les autres zones du périmètre de projet selon la DE-OCF n'est pas nécessaire.

5.2.5.2 Dimensionnement au gel

Il est nécessaire, en tenant compte des hypothèses de dimensionner au gel l'infrastructure du km 25.220 au km 25.304.

La condition pour la mesure du gel selon la DE-OCF est la suivante : $z \geq X$

Avec :

- z : Epaisseur de comparaison

$$z = f_s d_s + f_b d_b + f_k d_k$$

Facteurs de correction :

- Ballast : $f_s = 0,5$ (0,8 en cas de conditions climatiques locales favorables)
- couche d'imperméabilisation bitumineuse : $f_b = 0,7$
- grave : $f_k = 1,0$

Épaisseur des couches [m] : d_i (s: ballast, b: couche d'imperméabilisation bitumineuse, k: grave)

- X : Profondeur de gel :

$$X = 0,00077 FI + 0,53$$

FI : indice de gel selon la norme VSS 70 140.

Aucune donnée spécifique étant à disposition pour déterminer analytiquement le paramètre FI, il est proposé de le définir via la carte ci-dessous

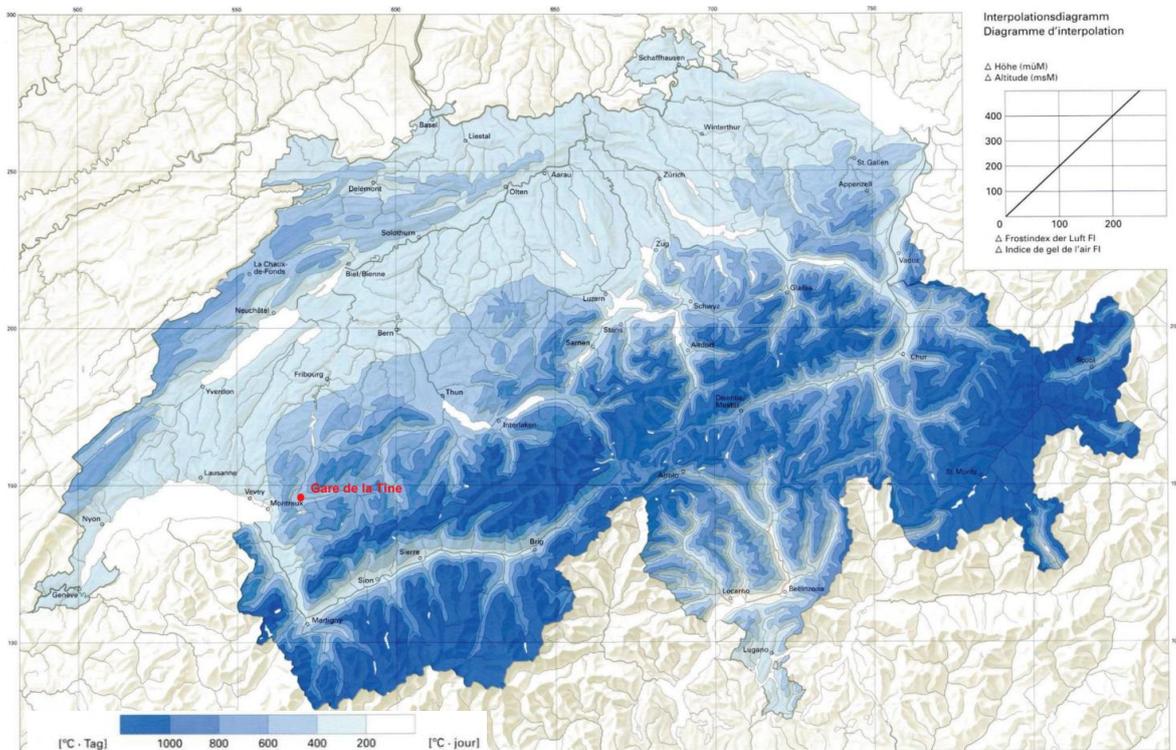


Figure 10 : indice du gel de l'air - source VSS 70 140

Gare de la Tine et voie de garage au Lanciau Pièce 11.1 – Rapport technique de la voie ferrée

L'indice du gel est défini à **500 °C jour**

La profondeur de gel est définie à :

$$0.00077 \times 500 + 0.53 = \mathbf{0.915 \text{ m}}$$

L'épaisseur de comparaison est définie avec :

$$0.5 \times 0.3 \text{ (ballast)} + 0.7 \times 0.1 \text{ (AC Rail)} + d_{k \text{ min}} \times 1.0$$

L'épaisseur minimale de la grave $d_{k \text{ min}}$ pour satisfaire la condition de mesure au gel $z = X$ est de 0.695 arrondie à **0.70 m**.

5.2.6 Voie bétonnée au Lanciau

La Figure 11 ci-dessous présente la composition de la voie bétonnée au Lanciau.

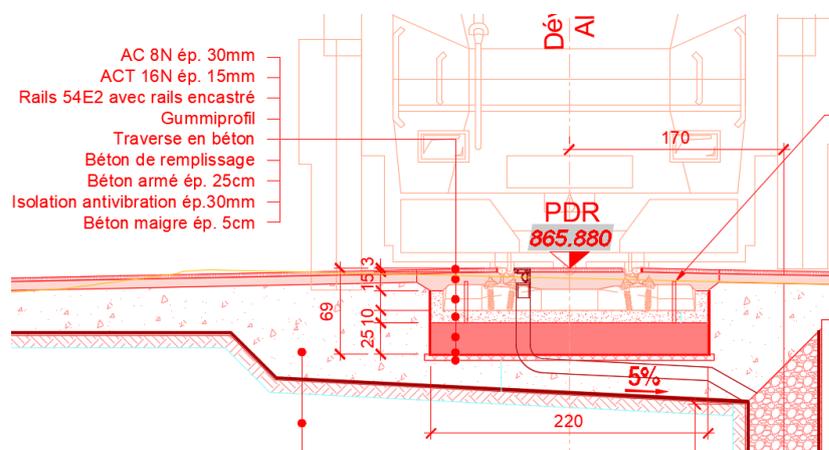


Figure 11 : extrait de la Pièce 12.3.3 – Lanciau – Profils types ferroviaires

La transition entre la voie ballastée et la voie rigide se fera à l'aide d'une dalle de transition en escalier de 1 m de long.

5.3 Conclusion : Composition de l'infrastructure ferroviaire

La réfection de l'infrastructure ferroviaire de la gare de la Tine présentera les couches d'infrastructure suivantes :

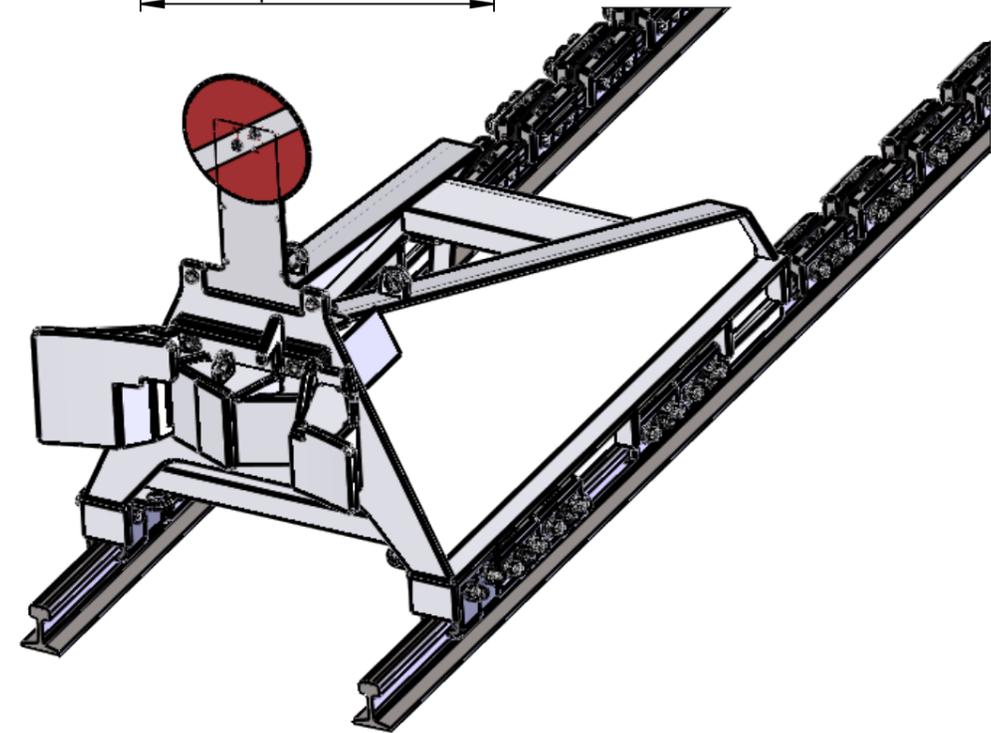
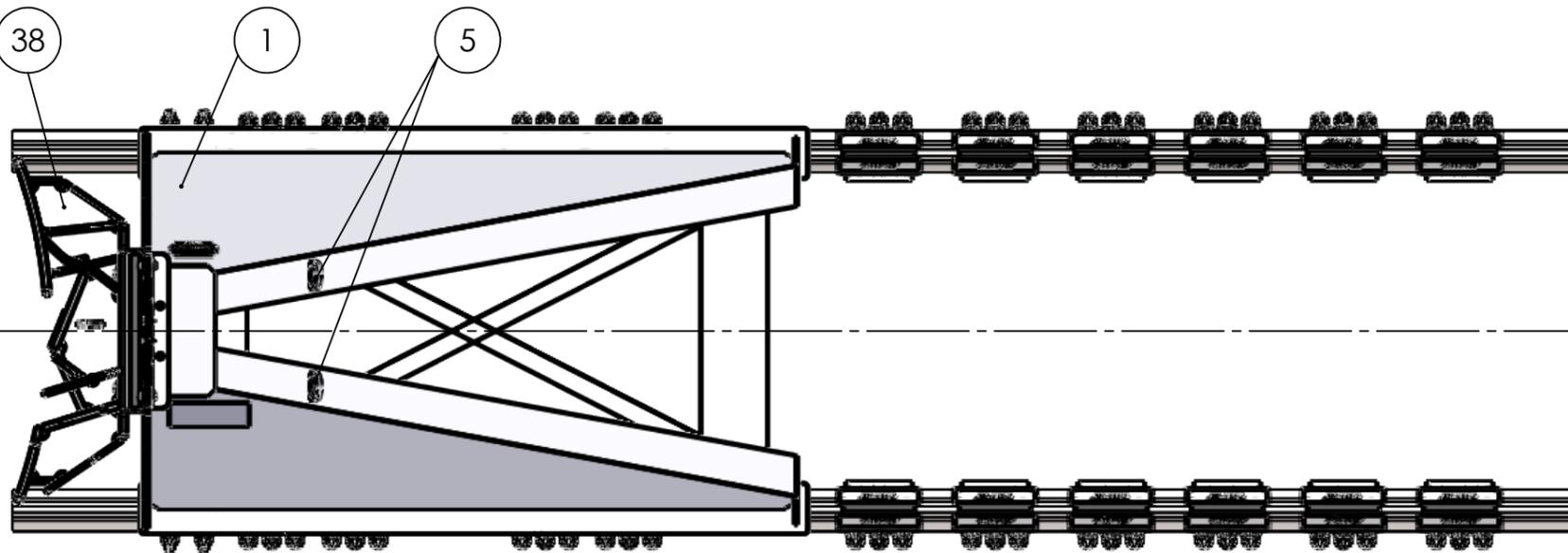
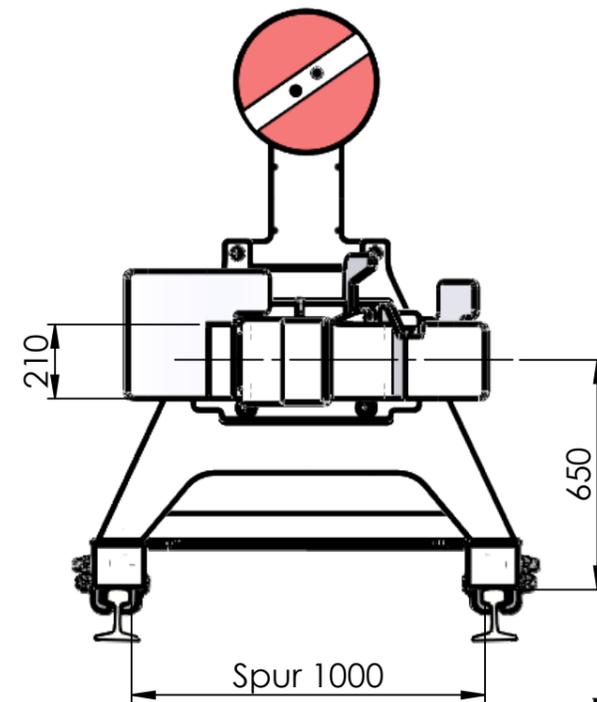
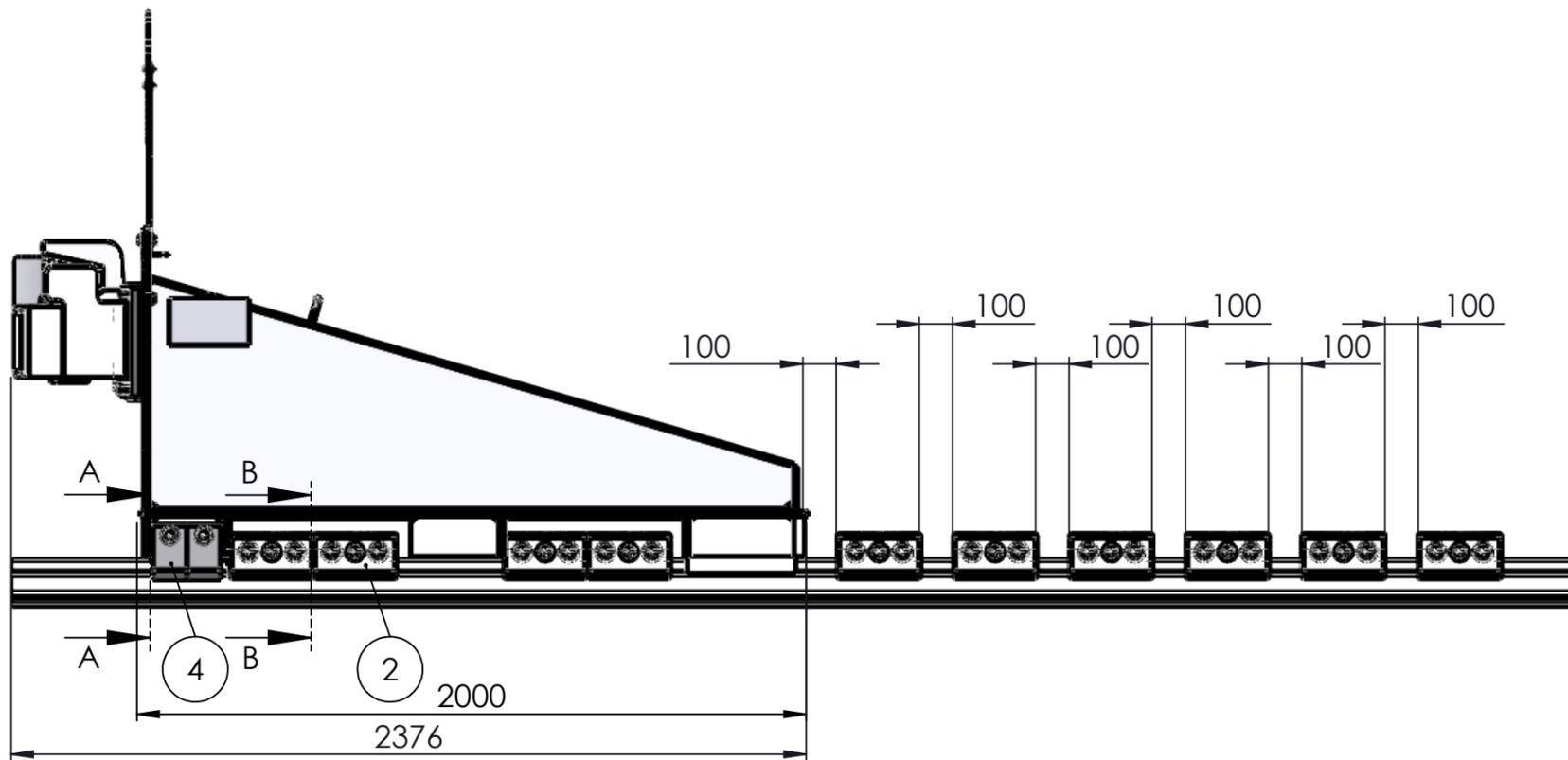
| | Km début | Km Fin | Voie | Type de voie | Grave ep [m] | AC F ep. [m] | Ballast ep min [m] |
|----------------|----------|--------|-------------|--------------|--------------------|--------------|--------------------|
| La Tine | 24.674 | 24.780 | 11 - 2 - 62 | NC2 | 0.70 | 0.10 | 0.30 |
| | 24.780 | 25.220 | 11 - 2 - 62 | NC2 | 0.40 | 0.10 | 0.30 |
| | 25.220 | 25.304 | 11 - 2 - 62 | NC2 | 0.70 | 0.10 | 0.30 |
| | 25.314 | 25.439 | 11 - 2 - 62 | NC2 | 0.40 | 0.10 | 0.30 |
| | 24.723 | 25.143 | 21 - 1 | NC2 | 0.40 | 0.10 | 0.30 |
| | 24.715 | 24.886 | 20 | NC3 | 0.40 | 0.10 | 0.30 |
| Lanciau | 26.181 | 26.255 | 82 - 92 | PM2 | 0.60 | 0.10 | 0.30 |
| | 26.231 | 26.255 | 93 | NC3 | 0.60 | 0.10 | 0.30 |
| | 26.255 | 26.328 | 93 | NC3 | Voie non ballastée | | |

Tableau 14 : Composition de l'infrastructure ferroviaire proposée

Les hypothèses appliquées dans la présente phase d'étude devront être confirmées par des essais de portance durant les travaux pour être sûr de pouvoir atteindre les valeurs de portances requises pour la couche de base.

Annexe 1

Détail type du heurtoir

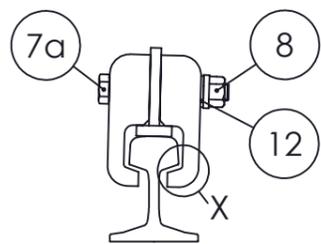


A-A
1:10

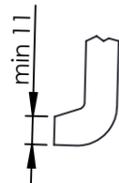
X
1:5

B-B
1:10

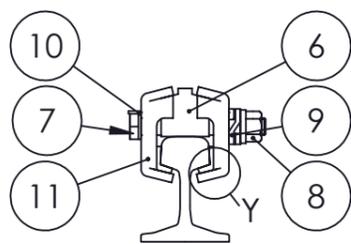
Y
1:5



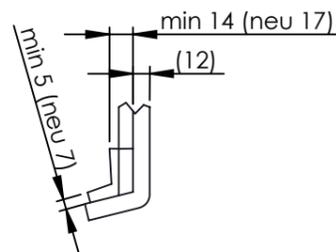
Führungsklaue 4



abgenutzt



Bremseselement 2



abgenutzt

Diese Unterlage ist unser Eigentum und vertrauliches Dokument und derart zu behandeln, daß davon kein Gebrauch zu unserem Nachteil gemacht werden kann, insbesondere darf sie ohne unsere Zustimmung weder vervielfältigt noch Dritten zugänglich gemacht werden. Zuwiderhandlungen sind strafbar und verpflichten zu Schadensersatz. Technische Änderungen ohne Ankündigung vorbehalten. Außerdem behalten wir uns alle Rechte für den Fall einer Patenterteilung oder einer Gebrauchsmustereintragung auf den technischen Inhalt dieser Unterlage vor (Gesetz betr. Urheberrecht; Gesetz gegen den unlauteren Wettbewerb; Patentgesetz; Gebrauchsmustergesetz).

ALL RIGHTS RESERVED IN THE CASE OF PATENTS AND/OR REGISTERED DESIGNS. THIS DOCUMENT REMAINS THE PROPERTY OF A. RAWIE GmbH & CO KG AND IS CONFIDENTIAL AND MUST NOT BE COPIED NOR PASSED TO OTHERS WITHOUT OUR WRITTEN CONSENT. TECHNICAL ALTERATIONS MAY BE MADE WITHOUT NOTICE OR WRITTEN CONSENT.

Bremsprellbock Typ 8 ZEB/6

Technische Änderungen vorbehalten /
TECHNICAL DESIGN CHANGES MAY BE NECESSARY

| Rev. | Änderung / MODIFICATION | Name / NAME | Datum / DATE | Datum | Name | Werkstoff / MATERIAL: | Gewicht / WEIGHT: | Art.-Nr.: |
|------|----------------------------|----------------|-----------------|-------------------|------------|---|----------------------------|------------------------------|
| | | | | Bearb. 2020-01-02 | fahrenheit | | 1187.83 kg | |
| | | | | Gepr. 2020-08-27 | KLU | Zeichnungsnummer / DRAWING NO.: | | Rev.: |
| | | | | | | RAWIE® | 10-995-000 | a |
| | | | | | | A. RAWIE GmbH & Co.KG Dornierstrasse 11 D-49090 Osnabrück | | |
| | | | | | | Format: DIN A3 | Blatt / PAGE: 1 von / OF 1 | Maßstab / SCALE: 1:20 |